

Segurança Nuclear: a Resposta Brasileira

Emília Teixeira de Paula Machado ^a

Resumo: O conhecimento sobre medidas e procedimentos de segurança em casos de acidentes nucleares e radiológicos no Brasil tem sido pouco explorado. Este artigo tem como objetivo apresentar o sistema brasileiro de proteção e resposta, destacando a atuação da Marinha do Brasil, com início marcado pelo acidente com o Césio-137 em 1987, em Goiânia. A pesquisa envolveu revisão bibliográfica e entrevistas com Sônia F. Rocha, especialista no tema. A resposta eficaz da CNEN, do HNMD e de outros órgãos ao acidente evidenciou a preparação para emergências nucleares. Constatou-se que o SIPRON, conduzido pela Administração Naval, segue o preceito constitucional de risco integral e responsabilidade da União, estando adequadamente estruturado. Destaca-se que se trata de uma capacitação de uso dual, visto ter sido desenvolvida para atender as necessidades da Marinha, mas tem, como ocorreu na prática, emprego no âmbito civil.

Palavras-chave: segurança nuclear; resposta à emergência radiológica; Césio-137 em Goiânia; CNEN; Programa Nuclear Brasileiro.

1 INTRODUÇÃO

São muitos os argumentos que surgem no debate acerca da participação da energia nuclear na composição da matriz elétrica brasileira. O setor voltado para a produção de energia elétrica analisa variáveis como armazenamento, sazonalidade, confiabilidade, entre outras, na procura de contabilizar os atributos das possíveis fontes de energia para

o Brasil e saber quando e como a energia nuclear pode ser, de fato, considerada uma opção competitiva. Outros setores objetivam interesses além da diversificação da matriz elétrica brasileira e pensam no propósito para a medicina, no desenvolvimento tecnológico e nas oportunidades comerciais para o país.

Com empenho e comprometimento com o uso pacífico da energia nuclear, o Brasil é um

^a Mestre em Segurança Internacional e Defesa.



país que avança no campo da pesquisa nuclear e que, atualmente, possui infraestrutura e capacidade para fornecer combustível tipo Haleu¹ para os reatores de pesquisa atuais (IEA-R1) e futuros (Reator Multipropósito Brasileiro - RMB) de forma regular. A posse desse conhecimento e tecnologia também significa uma oportunidade comercial para atendimento nacional ou até mesmo internacional da demanda por Haleu.

Enfim, é possível encontrar uma diversidade de argumentos na defesa da fonte nuclear no Brasil: (i) o fato de o país dominar o ciclo do combustível; (ii) possuir a sétima maior reserva de urânio do mundo (com apenas um terço do território prospectado); (iii) ser reconhecido pela *World Association of Nuclear Operators* (WANO) pelo excelente desempenho na operação das usinas existentes; além de iv) garantir a atualização contínua diante da evolução tecnológica de um recurso energético importante.

A argumentação contrária ao uso da energia nuclear fundamenta-se, principalmente, na percepção do risco de acidentes nas usinas e na manipulação de material radioativo, além dos riscos relacionados ao descarte dos resíduos radioativos.

Apesar da percepção de insegurança comumente associada à energia nuclear, esta é a quarta maior fonte geradora de eletricidade do mundo². No final de 2017, um total de 448 reatores nucleares estavam em operação em 30 países no mundo. É possível notar que mesmo países com histórico em acidentes em suas usinas continuam com usinas em operação. A Ucrânia, por exemplo, também mantém usinas nucleares em funcionamento, embora tenha sido o país onde ocorreu o acidente de Chernobyl. Após o desastre, o reator afetado foi fechado, mas outras unidades nucleares continuam operando no país.

A sociedade brasileira ficou profundamente marcada quando, em 1987, apenas um ano após a



tragédia na usina de Chernobyl, ocorreu o acidente radiológico em Goiânia, envolvendo a remoção e violação de um cabeçote com o Césio-137. Desde então, percebe-se um grande receio sobre a capacidade de controle e resposta a um possível vazamento de elementos radioativos, e torna-se inevitável o questionamento a respeito do preparo do país para lidar com ocorrências de tal seriedade.

A relação do Brasil com o interesse e a pesquisa em energia nuclear teve início no final da década de 1930, impulsionada pelo almirante Álvaro Alberto, um pesquisador e entusiasta no campo emergente da física nuclear. Álvaro Alberto estava atento ao intenso desenvolvimento científico-tecnológico que ocorria após o término da Segunda Guerra Mundial, às políticas públicas norte-americanas voltadas para o incentivo e criação de centros de pesquisa em Ciência e Tecnologia (C&T), e, especialmente, ao projeto do USS *Nautilus*, o primeiro submarino com propulsão

nuclear do mundo. Foi graças ao papel fundamental desempenhado por Álvaro Alberto que a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) do Brasil foi criada, e ele se tornou o seu primeiro presidente. Sob sua liderança, a CNEN deu início ao programa de pesquisa nuclear do Brasil³.

O almirante tinha uma visão ampla para o programa nuclear do Brasil, englobando tanto suas aplicações civis quanto as militares. Ele acreditava que a energia nuclear poderia ajudar a suprir as necessidades energéticas do Brasil, ao mesmo tempo em que fornecia ao país uma capacidade de defesa independente.

Ciente da importância estratégica da energia nuclear, desde 1979 a Marinha do Brasil está empenhada no desenvolvimento de um submarino com propulsão nuclear. No avanço do programa, o país conquistou o domínio da fabricação de combustível nuclear, incluindo a tecnologia de enriquecimento do urânio, pelo processo da ultracentrifugação, desenvolvida pelo Centro Tecno-



lógico da Marinha de São Paulo (CTMSP), em parceria com o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN).

Cabe ressaltar que a segurança nuclear é um assunto de extrema importância, e as autoridades e organizações implicadas estão constantemente revisando e atualizando suas estratégias para garantir a proteção da população e do meio ambiente. Essas estratégias envolvem regulamentações, protocolos de segurança, salvaguardas e medidas preventivas para evitar acidentes, proliferação e exposição desnecessária à radiação⁴. As lições aprendidas com cada acidente são aplicadas para melhorar a segurança das usinas nucleares em todo o mundo.

A partir do que dispõem a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) e a CNEN, evidenciam-se duas perspectivas sobre emergências nucleares e radioativas. A perspectiva da agência internacional contempla o dano que possa resultar da liberação acidental do material

radioativo em situações transfronteiriças, em que outro Estado seja colocado em risco. A perspectiva da CNEN considera a exposição ou contaminação indevida da população brasileira e do meio ambiente atingidos.

No contexto brasileiro, o conhecimento sobre as medidas e procedimentos de segurança adotados pelo país para o gerenciamento de acidentes radiológicos e nucleares tem recebido pouca atenção nos debates relacionados ao uso da energia nuclear.

Com o propósito de abordar o preparo do país para enfrentar incidentes de natureza tão grave, o presente artigo tem como objetivo apresentar o planejamento e a implementação de medidas para proteção, mitigação e resposta em casos de acidentes radiológicos e nucleares. O foco recai na análise da participação da Marinha do Brasil no Sistema de Proteção do Programa Nuclear Brasileiro (SIPRON), dado o seu papel no avanço tecnológico do Ciclo de Combustível Nuclear



e Planta Nuclear Embarcada, que são componentes fundamentais no projeto e construção de submarinos de propulsão nuclear⁵.

Cabe destacar que a capacitação do Hospital Naval Marcílio Dias (HNMD) para o trato de vítimas de acidentes de radiação é um bom exemplo de iniciativas no campo militar que extravasam para o campo civil - processo usualmente denominado *spin off* - pois se trata de uma capacitação de emprego dual. A Marinha, particularmente a partir dos anos 1970, buscou desenvolver capacidade relacionadas à operação em ambientes sujeitos a contaminação NBQR, o que envolve procedimentos táticos e operacionais, adoção de equipamentos e recursos de construção naval e para tropa adequados, como é o caso das cidadelas pressurizadas dos navios, *prewetting*, instalações de descontaminação, vestimentas especiais, sensores etc⁶; além do interesse no desenvolvimento de um futuro submarino de propulsão nuclear. O segmento saúde, que é uma função logís-

tica, por certo, não poderia ficar de fora em um projeto íntegro. Daí a necessidade de uma grande unidade de referência, como é o caso do HNMD, ter sido preparado para tal tipo de emergência.

O presente estudo adota o acidente do Césio-137 ocorrido em setembro de 1987 como marco temporal inicial da pesquisa. Após essa contextualização, o texto é organizado em três seções que precedem as considerações finais. Na primeira seção, é apresentada uma breve revisão teórica sobre radiações nucleares e o elemento Césio-137, além de explorar as diversas áreas em que a tecnologia nuclear está presente. Em seguida, o estudo se concentra no caso específico de Goiânia, destacando as medidas de detecção, identificação, monitoramento e descontaminação implementadas em resposta ao acidente, bem como o preparo e as ações tomadas pelos órgãos responsáveis, como a CNEN, com ênfase no atendimento prestado pelo Hospital Naval Marcílio Dias.



No que diz respeito às informações relacionadas ao Hospital Naval Marcílio Dias, foi conduzida uma entrevista, utilizando um questionário semiestruturado, com a capitão-de-mar-e-guerra da Reserva da Marinha, Sônia Fonseca Rocha⁷. A oficial desempenhou o cargo de enfermeira-chefe no HNMD e fez parte da equipe responsável pelo atendimento dos pacientes envolvidos no acidente de Goiânia.

Na sequência, serão expostos os resultados da pesquisa acerca do SIPRON e da estrutura de resposta a emergências nucleares, os quais culminarão nas considerações finais.

Não serão abordados os batalhões de defesa nuclear, biológica, química e radiológica (NBQR), que são unidades especializadas criadas para responder a ameaças relacionadas a esses tipos de agentes, com particularidades que fogem do escopo do artigo.

2 O CÉSIO-137 E A IMPORTÂNCIA DA ENERGIA NUCLEAR

O Césio-137 é um isótopo radioativo do elemento químico Césio. Ele é produzido principalmente como um subproduto da fissão nuclear em reatores nucleares e é utilizado em diversas aplicações. Uma das principais aplicações do Césio-137 está na área da medicina, mais especificamente na radioterapia. A radioterapia é o tratamento com fontes de radiação utilizado no combate de certos tipos de câncer, por meio de fontes seladas que emitem radiação ionizante. Fontes radiativas (ou fontes de radiação) de Césio-137 e Cobalto-60 são usadas para destruir células de tumores, uma vez que estas são mais sensíveis à radiação do que os tecidos saudáveis. Atualmente, utiliza-se mais o Cobalto-60 por, entre outras razões técnicas, apresentar maior rendimento terapêutico. Essas fontes são manuseadas e administradas por profissionais especializados,



seguindo rigorosos protocolos de segurança para garantir que a exposição à radiação seja controlada e limitada aos pacientes que estão sendo tratados⁸.

Um isótopo radioativo é uma variante de um elemento químico que possui um número diferente de nêutrons em seu núcleo atômico em comparação com o isótopo estável desse elemento. A instabilidade dos átomos está associada a um excesso de energia acumulada, que tende a ser liberada sob a forma de radiação. Nesse processo denominado decaimento, o átomo livra-se do excesso de energia e torna-se mais estável. Os isótopos estáveis não sofrem decaimento radioativo, enquanto os isótopos radioativos são instáveis e passam por um processo de decaimento espontâneo ao longo do tempo. Os isótopos que decaem espontaneamente são denominados radioisótopos⁹.

2.1 A ENERGIA NUCLEAR E AS RADIAÇÕES

A radiação, conforme definição da CNEN

“[...] é a propagação de energia, na forma de ondas eletromagnéticas ou de partículas. A onda eletromagnética é uma forma de energia, constituída por campos elétricos e campos magnéticos, variáveis e oscilando em planos perpendiculares entre si, capaz de propagar-se no espaço [...]”.

As radiações podem ser originadas a partir de fontes naturais, como a radiação solar, ou produzidas pelo ser humano.

A radiação nuclear refere-se à energia emitida pelo núcleo dos átomos. Os átomos são compostos por diferentes arranjos de prótons, nêutrons e elétrons, e esses arranjos permitem a identificação dos diversos elementos químicos existentes. No entanto, um mesmo elemento pode existir em várias formas, nas quais o número de prótons é igual, mas o



número de nêutrons varia em seus núcleos, embora apresentem um comportamento químico idêntico. Essas variantes são conhecidas como isótopos.

Portanto, um elemento é um isótopo de outro elemento quando seus átomos possuem o mesmo número de prótons, mas diferente número de nêutrons, o que resulta em átomos mais ou menos instáveis. Muitos isótopos apresentam uma importante característica: são capazes de emitir algum tipo de radiação, sendo, por isso, chamados de isótopos radioativos ou radioisótopos¹⁰.

Com a propriedade de emitirem radiações, os radioisótopos têm a capacidade de interagir com a matéria à sua volta, alterando sua estrutura. As células expostas a essas radiações podem ser destruídas ou alteradas. Células cancerígenas ou microrganismos nocivos podem ser anulados pela absorção da energia das radiações. Os isótopos radioativos têm várias aplicações, como na medicina (radiote-

rapia, diagnóstico por imagem), na pesquisa científica (datação de fósseis e rochas, estudos de reações químicas), na produção de energia (usinas nucleares) e em outras áreas.

No entanto, devido à sua natureza radioativa e aos riscos associados à exposição à radiação ionizante, o manuseio e a utilização de isótopos radioativos exigem precauções rigorosas de segurança, e são regulamentados por agências e órgãos de controle nucleares. Por essa razão as equipes de assistência a acidentes adotam os cuidados de radioproteção quando atendem pessoas contaminadas. Além de se protegerem das altas taxas de radiação, evitam se converter em fonte de contaminação para outras pessoas.

Ressalta-se para a diferença entre irradiação e contaminação. A irradiação ocorre quando a fonte de irradiação se encontra em local externo ao corpo do indivíduo e ele é atingido somente pela radiação emitida pela fonte, sem a necessidade de um



contato íntimo com o radionuclídeo. A pessoa irradiada não apresenta riscos para quem a atende, pois, a fonte de irradiação encontra-se fora do corpo do indivíduo. Por sua vez, a contaminação se dá quando o material radioativo é absorvido pelo corpo do indivíduo, por meios naturais ou artificiais. Nesse caso, não apenas o indivíduo passa a correr riscos, mas também as pessoas próximas¹¹.

2.1.1 Aplicações da Energia Nuclear

As aplicações da energia nuclear abrangem uma ampla variedade de campos e o contínuo avanço das técnicas de radiação nuclear tem trazido benefícios significativos para áreas como medicina, agricultura, produção de materiais médicos descartáveis, construção civil, entre outras.

Dentre as aplicações importantes destacam-se aqui aquelas que envolvem radioisótopos produzidos em aceleradores ou reatores dedicados. Esses radioi-

sótopos têm sido utilizados em diversas áreas, como diagnóstico médico, terapia, agricultura e preservação do meio ambiente. Além disso, na indústria, a geração de energia elétrica por meio de reatores nucleares de potência é uma das aplicações relevantes¹².

No setor de alimentos, autoridades de vigilância sanitária e segurança alimentar de vários países, incluindo o Brasil, têm aprovado a irradiação de diferentes tipos de alimentos, como especiarias, carne de frango, frutas e legumes. Essa técnica apresenta duas grandes vantagens: não altera a qualidade dos alimentos e não deixa resíduos tóxicos.

Além disso, equipamentos medidores de densidade de polpa comumente utilizados em empresas mineradoras para medir o fluxo de produção de minérios como Tântalo, Espodumênio, Feldspato e Estanho em lingotes, contêm uma fonte selada de Césio-137 revestida de aço inoxidável e blindada internamente com



chumbo e outra camada de aço inoxidável¹³.

Essas aplicações exemplificam a diversidade de usos da energia nuclear, mostrando como ela contribui para melhorar a qualidade de vida, impulsionar o avanço científico e promover o desenvolvimento sustentável em diversos setores.

2.1.2 Conceito de acidente radiológico e nuclear

O Glossário da IAEA apresenta definições distintas para termos básicos, dependendo se estão sendo utilizados em um contexto científico ou regulatório. O adjetivo "radioativo" é um exemplo importante nesse contexto de proteção e segurança. Do ponto de vista científico, algo é descrito como radioativo se exibir o fenômeno da radioatividade ou, de forma mais geral, se contiver qualquer substância que exiba radioatividade. Portanto, do ponto de vista estritamente científico, qualquer material, incluindo resíduos, pode ser considerado radioativo.

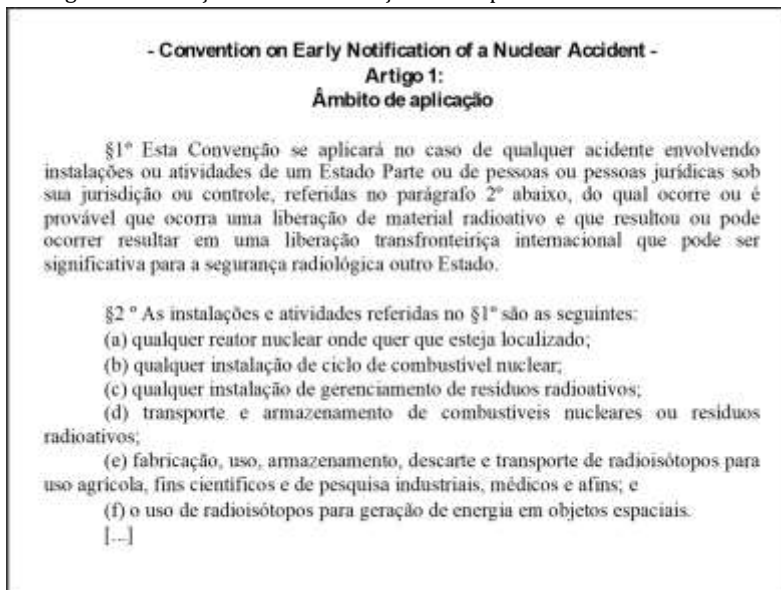
No entanto, é comum estabelecer definições regulatórias que separam materiais e resíduos radioativos daqueles que representam um risco radiológico e estão sujeitos a regulamentação. Embora as especificações exatas possam variar entre os países, geralmente isso exclui materiais e resíduos com baixas concentrações de radionuclídeos e aqueles que contêm apenas concentrações "apropriadas" de radionuclídeos naturais.

No que diz respeito à definição de acidente nuclear, o Glossário ressalta que seu significado está relacionado ao escopo de aplicação da Convenção sobre Notificação Antecipada de Acidente Nuclear (INFCIRC/335), como ilustrado na figura 1.

A história da INFCIRC/335 está intimamente ligada à criação do Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares (TNP), um acordo internacional que tem como objetivo prevenir a proliferação de armas nucleares e promover a cooperação no uso pacífico da energia nuclear. A IAEA é



Fig. 1 – Convenção sobre Notificação Antecipada de Acidente Nuclear



Fonte: Tradução livre, disponível em

<https://www.iaea.org/sites/default/files/infirc335.pdf>. Acesso em 28 mai. 2023.

a agência responsável pela implementação das salvaguardas nucleares, garantindo que os materiais nucleares sejam utilizados exclusivamente para fins pacíficos.

Nesse contexto, a IN-FCIRC/335 foi elaborada para fornecer orientações aos Estados-Membros e fortalecer a cooperação internacional no desenvolvimento e uso seguro da

energia nuclear, além de reconhecer a importância de fornecer informações relevantes sobre acidentes nucleares o mais cedo possível, a fim de minimizar as consequências radiológicas transfronteiriças.

Portanto, o Glossário da IAEA define um acidente nuclear como qualquer acidente envolvendo instalações ou atividades que possa resultar em uma libe-



ração de material radioativo, com potencial para uma liberação transfronteiriça internacional significativa que tenha importância radiológica para a segurança de outro Estado. No entanto, deve-se observar que essa terminologia se baseia na Convenção, que tem um escopo de aplicação limitado, e não é razoável considerar um acidente nuclear apenas como um acidente que resulta ou pode resultar em uma liberação transfronteiriça significativa internacional.

No caso do Brasil, o Glossário da CNEN define diversos acidentes pertinentes ao seu escopo de atuação, dentre eles:

Acidente (es-AR: Accidente; en-US: Accident):

1) desvio inesperado e substancial das condições normais de operação de uma instalação que possa resultar em danos à propriedade e ao meio ambiente ou em exposição de trabalhadores e de indivíduos do público acima dos limites primários de dose equivalente estabelecidos pelo órgão regulador;

2) qualquer evento não intencional, incluindo erros de operação e falhas de equipamento, cujas consequências reais ou potenciais são relevantes sob o ponto de vista de proteção radiológica ou segurança nuclear.

[...]

Acidente nuclear (es-AR: accidente nuclear; en-US: nuclear accident): fato ou sucessão de fatos da mesma origem, que cause dano nuclear.

[...]

Acidente radiológico (es-AR: accidente radiologico; en-US: radiological accident): qualquer acidente envolvendo instalações ou atividades na qual ocorra liberação de material radioativo (ou exista a probabilidade de ocorrer), a qual pode resultar em exposição ou contaminação indevida de pessoas e do meio ambiente.

14

O acidente de Goiânia é um exemplo de acidente radiológico grave fora da indústria nuclear, e não foi único em sua escala, de fato, há fortes semelhanças com o acidente de Ciudad Juarez, no México em 1983. Em sua Revisão de Segurança Nuclear de 1987, a



AIEA examinou brevemente os acidentes radiológicos fatais e constatou que, até aquele momento, a maioria dos acidentes radiológicos fatais tinham ocorrido fora da indústria nuclear.

3 O ACIDENTE DO CÉSIO-137 EM GOIÂNIA

De acordo com a publicação da IAEA, apesar de acidentes radiológicos serem ocorrências infrequentes, uma série de acidentes semelhantes ao de Goiânia ocorreram no mundo: Cidade do México (1962), Argélia (1978), Marrocos (1983) e Ciudad Juarez, no México (1983). Não obstante, cabe considerar que dado o número de fontes radioativas em uso em todo o mundo em aplicações médicas, agrícolas e industriais, a baixa ocorrência desses acidentes atesta a eficácia das normas e medidas de segurança em vigor.

Contudo, o fato de serem incomuns não justifica qualquer complacência. Nenhum acidente

radiológico é aceitável, e um que ameace uma contaminação generalizada é realmente alarmante. O acidente em Goiânia foi um dos acidentes radiológicos mais graves ocorridos até hoje. Ele resultou na morte de quatro pessoas e ferimentos por radiação em muitas outras, também levou à contaminação radioativa de diversas partes da cidade, conforme a fonte da IAEA, de 1988.

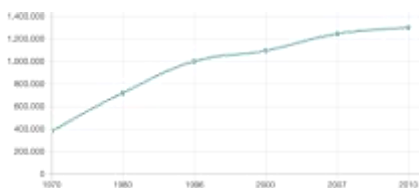
Os eventos que ocorreram podem ser mais bem entendidos à luz do contexto em que tudo aconteceu. No final da década de 1980, o Brasil estava passando por um período de intensas mudanças sociais, políticas e econômicas. O Planalto Central e, em particular, o estado de Goiás despontava como importante polo do setor agropecuário brasileiro, e Goiânia como uma capital de quase um milhão de habitantes.

Ao se comparar a população e os dados de ocupação domiciliar da cidade de Goiânia nas décadas de 1970 e 1980, percebe-se que a população praticamente



dobrou e que o número de domicílios triplicou, no mesmo espaço temporal (gráficos 1 e 2). Com o passar dos anos, particularmente no período compreendido entre 1980 e 2000, o estado de Goiás ampliou a sua estrutura produtiva, sobretudo em relação a maior participação do setor industrial na economia. Essa ampliação tem como consequência natural o surgimento de diversificados complexos agroindustriais, o que ajuda a explicar o aumento da concentração urbana em Goiânia¹⁵.

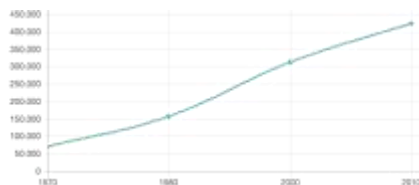
Gráfico 1 - Série histórica – População de Goiânia



Fonte:

<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/goiania/pesquisa/43/30281?ano=2010&indicador=30282&tipo=grafico>

Gráfico 2 - Série histórica – Domicílios de Goiânia



Fonte:

<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/goiania/pesquisa/43/30281?ano=2010&indicador=30282&tipo=grafico>

Os dados de crescimento populacional e concentração urbana apresentados fornecem um contexto relevante para a compreensão do relato do acidente com o Césio-137, em 1987:

Localizado na região central da cidade de Goiânia, em um terreno próximo ao Hospital Santa Casa de Misericórdia, funcionou o Instituto Goiano de Radiologia (IGR), que se transferiu para outro endereço, em 1985. Na mudança, um equipamento, um cabeçote usado em radioterapia contendo uma cápsula com 1375 Ci de Césio-137, permanece no prédio antigo, sem nenhum tipo



atenção ou controle por parte do operador. Nada é comunicado às autoridades, no caso, a CNEN¹⁶.

Em 1987, esse mesmo prédio do antigo IGR passou por uma demolição inicial que, no entanto, não destruiu todos os cômodos. Em meio às ruínas da construção parcialmente demolida, sem portas e janelas, se encontrava o aparelho de radioterapia abandonado.

Em 13 de setembro de 1987, dois rapazes, do bairro popular adjacente ao Instituto, são atraídos pelas ruínas e lá encontram os despojos do equipamento. Consideram naquele artefato de ferro e chumbo a possibilidade de conseguir algum rendimento monetário. Então, eles decidem carregar para casa o cabeçote do aparelho de radioterapia com a intenção de desmontá-lo para vendê-lo a um ferro velho.

Em casa, os dois rapazes iniciam o processo de desmonte do aparelho rompendo o invólucro de chumbo e perfurando a placa de lítio que faz o isolamento das partículas radioativas do contato

com o ambiente. Assim, liberam um pó azul reluzente que estava encapsulado dentro do cilindro e guardado pela peça de chumbo. A fonte radioativa estava na forma de sal de Cloreto de Césio, que é altamente solúvel e facilmente dispersível.

O brilho do pó azul maravilhou a todos na vizinhança. E parcelas do pó foram levadas para os lares, entregues a crianças para brincar e até guardadas como enfeite. Dois dias depois, a carcaça do cabeçote foi levada de ônibus para um ferro-velho, na região central da cidade de Goiânia. Assim, por transmissão imediata ou mediata, com maior ou menor intensidade, foi aumentando o encadeamento do contato com o elemento radioativo.

Quinze dias se passaram e várias pessoas já apresentavam sintomas gastrointestinais decorrentes da exposição à radiação da fonte. Porém, os sintomas não foram inicialmente reconhecidos como sendo devido à irradiação, até que a mulher do dono do ferro-velho percebeu que as



peças adoentadas coincidiam com aquelas que tinham estado em contato com o misterioso pó azul, e levou os remanescentes do cabeçote para a Secretaria de Saúde pública da cidade. Esta ação iniciou uma cadeia de eventos que levaram à descoberta do acidente e, no dia 29 de setembro, na Vigilância Sanitária, se confirmou a presença de material radioativo. Iniciou-se uma primeira reconstituição do acidente para levantamento dos locais contaminados. Além disso, foi deixado de sobreaviso o Hospital Naval Marcílio Dias (HNMD), no Rio de Janeiro, único no país com uma enfermaria especializada em contaminados por material radioativo, pois era possível que algumas pessoas necessitassem de tratamento especializado.

Pouco depois de ter sido reconhecida a ocorrência de um grave acidente radiológico, especialistas — entre eles físicos e médicos — foram enviados do Rio de Janeiro e de São Paulo para Goiânia. Enquanto isso, em

Goiânia, um estádio havia sido designado como uma área de detenção temporária onde pessoas contaminadas e mesmo feridas poderiam ser identificadas. Foi realizada triagem médica, da qual foram identificadas 20 pessoas com necessidade de tratamento hospitalar. Quatorze dessas pessoas foram posteriormente internadas no HNMD. Os seis pacientes restantes foram atendidos no Hospital Geral de Goiânia (HGG)¹⁷.

3.1 PROCEDIMENTOS EM GOIÂNIA

Ter em mente o contexto ajuda a compreender os eventos que ocorreram em Goiânia. No setor da saúde, a população brasileira possuía acesso limitado a informações sobre os riscos relacionados à radiação, além de apresentar uma falta de conhecimento sobre a manipulação de materiais radioativos. Ademais, as regulamentações e medidas de segurança no manuseio de materiais nucleares eram insuficien-



tes nesse período. O incidente desencadeou uma revisão das políticas de segurança e regulamentação nuclear no país.

3.1.1 Focos de contaminação e processo de descontaminação

Dados meteorológicos indicavam que, no período provável da abertura da fonte, em 13 de setembro, até o dia em que foi reconhecida a existência do acidente, em 29 de setembro, houve forte precipitação de chuvas com ventos fortes, o que facilitou a disseminação da contaminação. A grande distância, mais de mil quilômetros dos principais centros capacitados em proteção radiológica, prejudicou a pronta caracterização do quadro de emergência¹⁸.

O Cloreto de Césio (CsCl) é altamente solúvel e sua dispersão da cápsula da fonte quebrada para o meio ambiente foi aumentada pela chuva. Inicialmente, pensou-se que, por causa da alta precipitação, a contaminação teria sido arrastada para o solo argiloso e retida ou drenada. Este

não foi o caso, no entanto. As altas temperaturas secaram o solo e os ventos fortes causaram a sua dispersão. De fato, a escala do efeito foi uma surpresa. Para algumas casas, a contaminação depositada nos telhados foi a que mais contribuiu para as taxas de dosagem dentro de casa, e as telhas tiveram que ser removidas. Para além destes processos naturais, verificou-se também o transporte de materiais radioativos por pessoas que transitavam pelos locais contaminados, bem como ocorrências de deposição de resíduos domésticos contaminados em jardins não utilizados.

O processo de emergência se instaurou em três fases principais:

- Fase primeira: reconstituir o acidente de maneira mais fiel possível, com o propósito de levantamento de todos os focos de contaminação a fim de controlar e isolar os focos mais intensos de radiação;
- Fase segunda: recuperação dos locais afetados e escolha de local para os resíduos conta-



minados. Dois tipos de rastreamento foram realizados, um aéreo, com um detector acoplado em um helicóptero, e outro rastreamento radiométrico, com o uso de um veículo com o detector instalado em sua traseira. Ao todo foram monitorados 67 km² de área e assinalados 42 focos de contaminação, dentre os quais, alguns eram os focos principais, como a casa onde a cápsula contendo a fonte foi aberta, o lugar de maior contaminação, o ferrovelho, e assim por diante. Foi definido um plano de gerenciamento de rejeitos radioativos, que também incluiu fatores de ordem política, e a partir dessa definição, iniciou-se o trabalho de descontaminação.

- Fase de descontaminação: foram identificadas e descontaminadas 46 casas e 45 lugares públicos. Árvores foram cortadas, muitas áreas tiveram o solo removido e recoberto com cerca de 30 a 50 cm de solo limpo. Nos locais de maior grau de contaminação, como no ferrovelho, o solo recebeu uma cama-

da de areia, uma de brita, outra de argila e, ainda, uma camada de concreto.

Os rejeitos radioativos foram inicialmente classificados de acordo com norma CNEN-NE-6.05 e, em 25 de outubro de 1987, começa o transporte dos rejeitos radioativos, de acordo com a norma CNEN-NE 5.01. A tarefa termina em 19 de dezembro.

Para acondicionamento dos rejeitos radioativos foram utilizados 4.137 tambores metálicos de 200 litros, 1.342 caixas metálicas de 1,2 m³, 10 contêineres marítimos de 32 m³ e 8 VBAs, embalagens de concreto, que são as usadas na Central Nuclear Álvaro Alberto - Angra I, todos dispostos em seis plataformas de concreto de 60 m x 18 m x 0,20 m de altura, especialmente construídas, com sistema de recolhimento de água para controle da contaminação eventualmente provenientes dos embalados armazenados. Cada unidade recebeu um número de identifica-



ção e um formulário para descrição, visando ao inventário e sua colocação nas plataformas especialmente construídas para sua deposição. A classificação foi feita de acordo com a sua atividade específica de decaimento (tempo de decaimento).

3.1.2 Identificação e atendimento da população atingida

A Tarefa de Identificação se constituiu de triagem, através de medidas preliminares de monitoração, avaliação clínico-laboratorial e descontaminação externa.

A partir da triagem foi definido três níveis de atendimento médico-hospitalar:

- Nível 1 - atendimento primário na FEBEM, onde permaneceram apenas os pacientes que apresentavam baixos níveis de contaminação interna e externa;

- Nível 2 - atendimento secundário no HGG, onde permaneceram os pacientes com contaminação interna e externa de moderada a severa, com com-

prometimento hematológico de leve a moderado (1 a 3 Gy), e radiodermites de moderadas a severas;

- Nível 3 - atendimento terciário no HNMD para onde foram transferidos os pacientes com contaminação externa e interna de moderada a muito severa, com comprometimento do sistema hematopoiético de moderado a muito severo, bem como aqueles que apresentavam radiodermites de severas a muito severas.

Para a definição das rotinas de identificação e nivelamento foram empregadas a Resolução CNEN-06/73, bem como as recomendações dos relatórios NCRP-37 (*Precautions in the management of patients who have received therapeutic amounts of radionuclides*) e NCP.P-48 (*Radiation Protection for medical and allied health personnel*)¹⁹.



3.2 ATENDIMENTO NO HOSPITAL NAVAL MARCÍLIO DIAS (HNMD)

O serviço de Medicina Nuclear foi incorporado ao atendimento do HNMD em 1972, quando as primeiras equipes médicas e paramédicas foram preparadas com cursos de adestramento básico na área de radioproteção, ministrados pela Eletrobrás Furnas (Furnas). Em razão de sua capacitação, desde 1978 a Marinha mantém convênio com Furnas para o atendimento a acidentados graves, principalmente os portadores da Síndrome Aguda da Radiação, que requerem cuidados diferenciados, como no caso das vítimas do acidente em Goiânia.

Os critérios utilizados para a transferência para o HNMD basearam-se no nível de envolvimento de cada vítima com a fonte de Césio-137, da gravidade das radiodermites, e da intensidade da contaminação interna e externa. Por essa razão, foi de essencial importância o trabalho de tria-

gem e identificação desenvolvido por médicos especialistas e pessoal de radioproteção que a CNEN deslocou para Goiânia, para obter a história clínica e estabelecer o grau de envolvimento que cada um tivera com o elemento radioativo²⁰.

Assim que a CNEN entrou em contato e pediu autorização ao HNMD para que o Serviço de Medicina Nuclear prestasse apoio médico e internação para as possíveis vítimas, iniciou-se a seleção dos profissionais que fariam parte da equipe multiprofissional. Foram recrutados mais de 100 profissionais especializados, todos militares. Somente na área da enfermagem, atuaram dez oficiais enfermeiras e 60 praças, todos com curso de radioproteção e preparo específico para o atendimento aos pacientes²¹.

Apenas um dia após o contato da CNEN com o HNMD, chegaram ao Rio de Janeiro os primeiros seis pacientes. A transferência de Goiânia foi feita em distintas etapas:



- dia 01/10/87 - seis primeiros pacientes;
- dia 03/10/87 - quatro pacientes;
- dia 21/10/87 - dois pacientes;
- dia 31/10/87 - dois pacientes.

Durante os três meses de internação, a equipe dedicada à assistência aos pacientes de Goiânia demonstrou profissionalismo, agilidade e dedicação incansáveis. Esse trabalho foi realizado com o apoio incondicional dos médicos, físicos e técnicos em radioproteção disponibilizados pelo CNEN ao hospital.

Toda a rotina hospitalar foi afetada nos primeiros dias da internação dos pacientes. Por exemplo, foi necessário suspender cirurgias, uma vez que todo o material esterilizado para utilização no Centro Cirúrgico foi contaminado. Além disso, itens como toalhas e roupas de cama, assim como qualquer objeto que entrasse em contato com as vítimas, precisaram ser removidos. Atendimentos clínicos e exames de outros pacientes que utiliza-

vam o Centro de Medicina Nuclear ou estavam em proximidade com a área também tiveram que ser suspensos. Diante dessa situação, um pequeno laboratório de análises clínicas foi montado próximo à enfermaria dos pacientes irradiados²².

A equipe do hospital enfrentou desafios significativos, incluindo o cuidado de uma criança extremamente debilitada e altamente contaminada, a ponto de se tornar uma "fonte de radiação"²³. No entanto, a necessidade de garantir a segurança radiológica da equipe impossibilitou a proximidade e o tempo desejado para proporcionar conforto à criança²⁴. Essas situações exemplificam os desafios enfrentados pela equipe hospitalar durante o período, destacando a dedicação e o compromisso em lidar com as complexidades da emergência radiológica.



3.2.1 Entrevista com Sonia Fonseca Rocha, enfermeira-chefe do HNMD na ocasião do acidente

Sônia Fonseca Rocha CMG (RM1-S) estava como enfermeira-chefe do HNMD e desempenhou um papel crucial no atendimento e cuidado dos acidentados. Ela foi uma das primeiras profissionais de saúde a entrar em contato com os pacientes contaminados. Sua atuação foi essencial para garantir que os acidentados recebessem os cuidados médicos adequados e que as medidas de segurança fossem adotadas para evitar uma maior propagação da radiação.

Ela se destacou por sua coragem, compaixão e dedicação em lidar com uma situação extremamente desafiadora. Como enfermeira chefe, Sônia organizou a equipe de enfermagem, coordenou os esforços de atendimento e supervisionou os procedimentos de descontaminação dos pacientes e do ambiente hospitalar. Ela demonstrou uma grande capacidade de liderança e empatia ao lidar com uma situa-

ção de alto risco e com consequências de saúde graves, como relatou quando questionada para este artigo:

1) Além do que você descreveu no seu artigo para a Revista *Navigator*, em 2008, o que mais poderia relatar da chegada dos acidentados de Goiânia?

Sônia Rocha (SR): “Entre a recepção dos acidentados, aqui no Rio de Janeiro, e as idas à Goiânia, eu fiquei quase um ano inteiro envolvida com o atendimento ao acidente. Fica difícil captar apenas um aspecto. Eu poderia falar muito mais sobre os pacientes, pelo tempo que fiquei envolvida com eles. Mas aí, são outras histórias.

Na questão da chegada dos acidentados, recordando que a história ainda estava se revelando e não tínhamos o exato conhecimento do grau de contaminação daquelas pessoas, então, o que era a minha equipe? Na fotografia da capa da revista, você pode me ver recebendo o primeiro acidentado a descer do avião



(que acabou por falecer) e ladeada por outros três rapazes. Eles parecem, mas nenhum deles era médico ou enfermeiro, um era físico da radioproteção, e os outros dois, técnicos da radioproteção. Essa era toda a minha equipe naquele momento. Depois, foram eles que nos monitoraram o tempo todo. Foram verdadeiros Anjos da Guarda.”

2) Agora, após tantos anos, como você considera o preparo do HNMD para caso de acidentes nucleares e radioativos?

SR: “Como digo em meu artigo, e com segurança repito agora, o Hospital Naval Marcílio Dias continua sendo o hospital de referência para atendimento a radioacidentados. Agora há todo um complexo de enfermaria de pacientes irradiados. Tem centro cirúrgico, laboratório, e os quartos são versáteis, podem se transformar em unidades de terapia intensiva.”

3) O que você considera mais pertinente sobre o preparo

para situações de emergência como as que você viveu, em 1987?

SR: “Tudo veio se aprimorando muito. O apoio da CNEN foi e continua a ser fundamental. Se não fosse pelo curso que eu fiz, não sei como seria. A comissão (CNEN) continua com cursos e muito mais. Atualmente são conduzidos exercícios que são da maior importância para o treinamento e capacitação das equipes envolvidas no atendimento a vítimas de acidentes radioativos.

É triste falar, mas os acidentes ensinam de uma forma inigualável. Eles nos capacitam para muito além do que a teoria, por si só, é capaz. A experiência prática, experiência que tristemente devemos àqueles que, involuntariamente e vítimas de um conjunto de fatores, se contaminaram, nos permite um aprendizado mais apurado e dirigido para um melhor preparo.”

4) Além dos meios de atendimento de vítimas, o que mais



you would point out as advances derived from the 1987 accident?

SR: "Os exemplos são muitos, mas um que eu conto no meu artigo, foi sobre o desenvolvimento do Radiogardase (Azul da Prússia). Esse produto, que havia sido utilizado com êxito no tratamento das vítimas de Chernobyl, foi importado em caráter de emergência. Ao mesmo tempo, os farmacêuticos do Hospital Central da Marinha, que dispunha de um excelente laboratório, desenvolveram, testaram e começaram a fabricação de Azul da Prússia, tanto para aplicação superficial no corpo das vítimas como na superfície de materiais contaminados pelo Césio. O produto era testado no laboratório do Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD). Como eu digo, envolve todo um trabalho e uma dedicação em conjunto, e dessa forma desenvolveu-se a tecnologia de produção do Azul da Prússia pela Marinha do Brasil e pela CNEN, através do IRD."

5) Por toda a sua vivência, inclusive atualmente no campo das palestras que você ministra e te leva ter contato constante com os profissionais relacionados com o atendimento radiológico e nuclear, como é que você percebe a nossa atual estrutura de respostas a emergências nucleares, e em especial, o preparo da Marinha do Brasil?

SR: "Na Marinha, depois do acidente do Césio, tem treinamentos e simulações de acidente várias vezes no ano, também com o pessoal de Angra dos Reis. Sempre me fazem esse tipo de pergunta nas palestras, querem saber dos outros hospitais, então, eu explico que não adianta, que tem que ser um hospital militar porque a gente tem uma capacidade de mobilização muito grande e enfermaria toda blindada etc.

Diante de uma emergência, somente uma organização militar, com sua estrutura hierarquizada, tem condições de assumir. Soma-se a isto a capacidade de mobilização rápida, em termos



nacionais e não somente regionais, de equipes médicas e de enfermagem, todas com o mesmo treinamento básico. Distribuídas por várias unidades militares, estas equipes podem ser reunidas sempre que necessário.

Mas, infelizmente, ainda, quando eu leio notícias, como esse recente sumiço de uma fonte do medidor de densidade²⁵. Eu compreendo que não queiram causar pânico e, então, dizem que tem atividade menor. Mas não está certo - Césio-137 é Césio-137 - não existe isso de menor atividade. Basta alguém quebrar a proteção e teremos exatamente outro acidente muito parecido com o de 1987!

Como o acidente de Goiânia já tem 36 anos, muita gente mais jovem nem sabe o que aconteceu. Por isso é que eu vivo dando palestras por aí, para essa garotada saber.”

O trabalho incansável de Sônia e seu comprometimento com o cuidado dos pacientes afetados foram fundamentais para mini-

mizar os danos causados pelo acidente e oferecer apoio às vítimas. Ela também desempenha um papel importante na divulgação de informações e na conscientização pública sobre os riscos associados à radiação. Sua participação em entrevistas e relatos contribui para promover uma maior compreensão do acidente e das medidas de segurança e socorro.

4 REAÇÃO GOVERNAMENTAL

Um ano após o acidente em Goiânia, a nova Constituição Federal do Brasil foi promulgada. Durante a elaboração da Constituição brasileira de 1988, os meios de comunicação, especialmente a televisão, o rádio e os jornais, desempenharam um papel importante ao amplamente divulgar as discussões sobre eventos diversos, o que influenciou a redação do texto constitucional²⁶. Nesse sentido, percebe-se como os acidentes radioativos de Chernobyl, em 1986, e de Goi-



ânia, em 1987, reforçaram na opinião pública a percepção de desastre e destruição associados à energia nuclear.

Em consonância com a análise do autor, pode-se afirmar que, naquele momento, a opinião da população brasileira estava marcada pelos riscos e efeitos adversos relacionados à energia nuclear. Esse contexto levou à inclusão, no texto da Constituição de 1988, da responsabilidade da União por danos nucleares (CF, Cap. II, art. 21, inciso XXIII). Essa disposição refletiu a preocupação e a necessidade de proteção diante dos perigos e impactos da energia nuclear na sociedade.

A partir de 1993, após realização de estudos e de acordo com as práticas internacionais, a CNEN propôs a construção de dois repositórios para o destino dos rejeitos gerados durante o acidente em Goiânia. Para isso foram feitos o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto ao Meio Ambiente (RIA) submetidos ao Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Re-

ursos Renováveis - IBAMA. Mais tarde, em 2001, foi aprovada a Lei 10.308, que dispõe sobre a seleção de locais, a construção, o licenciamento, a operação etc.

Em 1996 foi criado e implementado, o Sistema Nacional de Averiguação de Eventos Radiológicos - SINAER - que tem como objetivo oferecer presteza na averiguação de denúncias envolvendo possíveis fontes de radiação ionizante. Para tanto, visa aumentar a estrutura de apoio externa, que são especialistas convidados, e outra interna à CNEN, de modo a oferecer presteza na averiguação de denúncias envolvendo possíveis fontes de radiação ionizante.

Em 2018, com a finalidade de orientar o planejamento, as ações e as atividades nucleares e radioativas no País, em observância à soberania nacional, com vistas ao desenvolvimento, à proteção da saúde humana e do meio ambiente, foi implantada a primeira Política Nuclear Brasileira, por meio do Decreto 9.600.



Os marcos legais acima apresentados ilustram a atuação constante dos governos em busca de garantir o mais seguro desenvolvimento da pesquisa e das técnicas em energia nuclear. Desde o mais tenro interesse pela ciência nuclear, o país teve como orientação o uso seguro e pacífico da energia nuclear, de modo a aprimorar e disponibilizar tecnologias nuclear e correlatas, visando ao bem-estar da população. Em 1956, quando foi criada a CNEN, mais tarde estruturada pela Lei 4.118, de 1962, o intuito foi dispor de um órgão superior de planejamento, orientação, supervisão e fiscalização de normas e regulamentos em radioproteção.

Até o momento, a CNEN, como autarquia federal vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), é a entidade responsável por regular, licenciar e fiscalizar a produção e o uso da energia nuclear no Brasil, também investe em pesquisa e desenvolvimento do setor nuclear.

4.1 O SISTEMA DE PROTEÇÃO AO PROGRAMA NUCLEAR BRASILEIRO E A ESTRUTURA DE RESPOSTA A EMERGÊNCIAS NUCLEARES

Desde o final da década de 1930, o almirante Álvaro Alberto trabalhava com o estudo e a pesquisa no campo da energia nuclear. No magistério, quando responsável pelo Departamento de Física e Química na Escola Naval, introduziu o estudo da Física Nuclear. Ele ficou atento ao desenvolvimento científico-tecnológico que despontou fortemente após o término da Segunda Guerra Mundial, particularmente nos Estados Unidos. A experiência da trajetória norte-americana, com as políticas públicas para incentivo e criação de centros de pesquisa em Ciência e tecnologia (C&T) e, em especial, com o projeto do USS *Nautilus*, o primeiro submarino com propulsão nuclear, foi um ponto chave para que o Almirante Álvaro Alberto concretizasse a criação do



Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), em 1951²⁷.

O Programa Nuclear da Marinha (PNM) vem sendo executado desde 1979, com o propósito de dominar o ciclo do combustível nuclear e desenvolver e construir uma planta nuclear de geração de energia elétrica. O PNM é considerado de grande relevância estratégica para o Poder Naval brasileiro, pois visa a independência do desenvolvimento tecnológico do Ciclo de Combustível Nuclear e Planta Nuclear Embarcada, fundamentais para o projeto e construção do submarino convencional com propulsão nuclear (SNCA), meio que conferirá nova dimensão à Defesa Nacional.

Além disso, o conhecimento que permite executar de forma autóctone as fases principais do ciclo do combustível nuclear bem como o protótipo para o reator do SNCA, e ainda a capacidade de projetar e fabricar no país uma variedade de materiais, componentes e equipamentos, concreti-

zam um efeito multiplicador do esforço tecnológico da Marinha.

Ressalta-se que o Estado brasileiro é comprometido com o Regime Internacional de Não-Proliferação de Armas Nucleares (RNPAN) como signatário do Tratado de Não-Proliferação de Armas Nucleares (TNP) e do Tratado Quadripartite (INFCIRC/435), entre outros com adesão ao TNP. Por conseguinte, o setor nuclear da Marinha do Brasil está sujeito às regulamentações nacionais e internacionais, incluindo acordos de não proliferação nuclear e salvaguardas nucleares estabelecidos pela AIEA.

A Marinha do Brasil, por meio da Direção Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha (DGDNTM) possui diversas responsabilidades relacionadas ao setor nuclear, tais como:

(a) projeto, construção, comissionamento, operação e manutenção dos reatores de água pressurizada (PWR) cujo combustível é Urânio (UO_2), que ope-



ram nas usinas de Angra 1, Angra 2 e, futuramente, Angra 3 e no SNCA;

(b) desenvolvimento e operação do Ciclo do Combustível Nuclear; e

(c) o programa de desenvolvimento de submarinos da Marinha (PROSUB), um empreendimento em três partes que compreende a construção de quatro submarinos convencionais e um submarino de propulsão nuclear, além da infraestrutura de apoio.

A DGDNTM além de atuar como a autoridade nuclear naval nacional, exercendo o comando executivo sobre as políticas e atividades nucleares da Marinha, também está envolvida com regulamentos, inspeções de segurança nuclear e controles de qualidade para o PROSUB, e o PNM. Para isso, desde 2018, ela conta com Agência Naval de Segurança e Qualidade Nuclear (AgNSNQ), que atua como órgão técnico-executivo de assessoria à autoridade nuclear naval em assuntos relativos à regulação e monito-

ramento de segurança de embarcações de propulsão nuclear (incluindo planos de emergência), bem como sua qualidade e dos padrões de medição.

Junto com a Marinha existe uma série de medidas e estratégias que visam ao preparo e resposta a acidentes nucleares. Essas medidas envolvem ações tanto dos governos quanto de organizações específicas, como a CNEN, a Defesa Civil, Corpo de Bombeiros etc. Por exemplo, em uma situação de emergência na Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA), além do Plano de Emergência Local (PEL), conta-se com os planos de outras organizações envolvidas, como:

- PSE – Plano para Situações de Emergência - CNEN
- PEE/RJ – Plano de Emergência Externo do Estado do Rio de Janeiro – Defesa Civil Estadual
- PEM – Plano de Emergência Municipal – Prefeitura Municipal de Angra dos Reis
- PEC – Planos de Emergência Complementares – Forças



Armadas, Concessionárias (água, energia, transporte público), INEA, IBAMA, entre outros.

Para assegurar o planejamento integrado dessas organizações, coordenar a ação conjunta e a execução continuada de providências que venham atender às necessidades de segurança do Programa Nuclear Brasileiro e de seu pessoal, bem como da população e do meio ambiente com ele relacionados, em 1980 instituiu-se o Sistema de Proteção ao Programa Nuclear Brasileiro (SIPRON)²⁸.

De acordo com a informação do Gabinete de Segurança Institucional do Governo, a atuação do SIPRON se faz por meio de seus Centros de Emergência, a seguir relacionados:

- Centro Nacional de Gerenciamento de Emergência Nuclear (CNAGEN) - integra a estrutura operacional responsável pelo gerenciamento das ações de resposta a uma emergência nuclear, no território brasileiro, e tem como Órgão Central o Gabi-

nete de Segurança Institucional da Presidência da República (GSI/PR);

- O Centro Estadual para Gerenciamento de uma Situação de Emergência Nuclear (CESTGEN) - possui a missão de implementar o Plano de Emergência Externo do Estado do Rio de Janeiro (PEE/RJ), prestar assessoria entre departamentos de defesa civil, secretarias do Estado educação, de segurança, de assistência social, corpo de bombeiros, ABIN etc. são mais de 20 representantes do CESTGEN no estado do Rio de Janeiro;

- Centro de Coordenação e Controle de Emergência Nuclear (CCCEN) - tem como missão coordenar a execução das ações que lhe são atribuídas no Plano de Emergência Externo (PEE), como a solicitação de apoio aos órgãos municipais, estaduais e federais, para as ações necessárias, na resposta a uma situação de emergência nuclear. Deve, também, manter o CIEN informado sobre a evolução da emergência nuclear;



- Centro de Informações de Emergência Nuclear (CIEN) - tem a missão de planejar, coordenar e promover, mediante a orientação do CCCEN, a difusão de informações ao público e à imprensa sobre a situação de emergência nuclear;

- Centro de Suporte Técnico (CST) - deve centralizar todas as informações necessárias para permitir uma avaliação contínua de emergência e a tomada de decisões;

- Centro de Suporte Operacional (CSO) - centraliza as decisões e determinações do Centro de Suporte Técnico;

- Centro de Emergência de Infraestrutura (CEI) - tem a missão de centralizar todas as informações e tomar as decisões, no que se refere ao apoio e aos serviços gerais necessários à remoção da população da Área de Propriedade da ELETRONUCLEAR (APE).

- Centro de Emergência do Escritório Central (CEEC), deve centralizar todas as informações

necessárias à comunicação com os órgãos externos, e executar a busca de recursos adicionais, nacionais ou estrangeiros, necessários à resposta à emergência;

- Centro de Emergência de Mambucaba (CEMB) - tem a missão de substituir o CEI quando da evacuação da APE, coordenar as atividades de remoção do pessoal e prestar apoio e assistência ao pessoal removido da APE.

- Centro de Medicina das Radiações Ionizantes (CMRI) - deve prestar atendimento aos acidentados com radiação e coordenar a remoção de acidentados para o HNMD;

- Centro de Operações (COP) - coordena as ações de Defesa Civil de Angra dos Reis, RJ;

- Divisão de Atendimento a Emergências Radiológicas e Nucleares (DIEME/IRD) - coordena, no âmbito da CNEN, a preparação, que engloba planejamento, infraestrutura logística e de recursos humanos, cursos, treinamento e exercícios, e o atendi-



mento das situações de emergência de origem radiológica e nuclear no território brasileiro. É responsável por manter operacional no IRD o ponto de alerta nacional conforme convenção da AIEA e, também, o centro colaborador da OMS para assistência em radioproteção e preparativos médicos em emergências com radiação.

Esses Centros de Emergência desempenham um papel fundamental na estrutura de resposta a emergências nucleares do Brasil, permitindo uma coordenação eficaz, compartilhamento de informações e tomada de decisões estratégicas para lidar com incidentes e garantir a segurança pública.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No contexto internacional, o Brasil é comprometido com o RNPAN e tem um programa nuclear voltado para fins pacíficos, incluindo a produção de energia

elétrica, aplicações na medicina nuclear, agricultura e indústria e pesquisa científica. O país possui uma longa história de cooperação com a AIEA e adere aos acordos e salvaguardas internacionais relacionados ao uso seguro e pacífico da energia nuclear. A cooperação internacional fortalece a capacidade do Brasil em prevenir, detectar e responder a emergências nucleares, além de promover a troca de experiências e melhores práticas.

O Brasil dispõe de uma estrutura de resposta a emergências envolvendo energia atômica, preparada para lidar com possíveis incidentes ou acidentes envolvendo materiais ou instalações nucleares. Essa estrutura inclui planos de emergência, capacitação de profissionais, equipamentos especializados e protocolos de ação para mitigar os efeitos de possíveis incidentes radiológicos e nucleares.

Apesar de todos os cuidados, podem ocorrer acidentes envolvendo material radioativo. Segue-se que a preparação para



responder a emergências radiológicas deve se estender não apenas aos acidentes nucleares, mas a toda a gama de possíveis acidentes radiológicos. Autoridades internacionais e nacionais fazem esforços significativos nos preparativos para responder a acidentes nucleares, no entanto, aprender com os acidentes é vital para fortalecer continuamente a segurança nuclear e radioativa.

A Marinha do Brasil tem responsabilidades em relação a acidentes radiológicos que ocorreram em suas instalações ou durante operações navais. A Marinha é responsável pela operação de usinas nucleares e submarinos nucleares, bem como por outras atividades que envolvem materiais radioativos ou mesmo operação em áreas contaminadas. No contexto da segurança, a cautela imposta pela Administração Naval no Sistema de Proteção ao Programa Nuclear Brasileiro está alinhada com o preceito constitucional do risco integral do dano nuclear de responsabilidade da União. Destaca-se, ain-

da, que o tema configura uma capacitação de uso dual, visto que o seu desenvolvimento para atender as necessidades da Marinha teve emprego consentâneo no âmbito civil e gerou um parceria importante com a CNEN.

Foi observado que a preparação da CNEN, do Hospital Naval Marcílio Dias e demais órgãos governamentais permitiu uma resposta eficaz, por ocasião do acidente do Césio-137, possibilitando efetividade na gestão de emergências nucleares e radiológicas. Constatou-se, ainda, que, em termos de segurança, a cautela aplicada pela Administração Naval no Sistema de Proteção ao Programa Nuclear Brasileiro está em conformidade com o preceito constitucional de risco integral e responsabilidade da União por danos nucleares, estando o sistema estruturado adequadamente.

BIBLIOGRAFIA

CARDOSO, Eliezer de M. *Aplicações da energia nuclear*. Comissão Nacional de Energia Nuclear



- CNEN. Rio de Janeiro: 2008. <https://www.gov.br/cnen/pt-br/aceso-rapido/centro-de-informacoes-nucleares/material-didatico>. Acesso em 28 abr. 2023.
- CARVALHO, Regina Pinto. *Aplicações da Energia Nuclear*. Vienna: International Atomic Energy Agency – IAEA, 2019.
- CNEN. *Glossário do Setor Nuclear e Radiológico Brasileiro*. Rio de Janeiro: Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN, 2021.
- FONSECA JÚNIOR, Sergio Borges; ROMANATTO, Edwiges. *Agropecuária Goiana: uma análise em perspectiva histórica*. Goiânia: Instituto Mauro Borges – IMB, 2017.
- GUIMARÃES, Leonam S.; PERROTTA, José Augusto. Haleu: o combustível nuclear do futuro? *Revista da Marinha do Brasil*, 2^o. T/2020. Rio de Janeiro, 2020.
- HUNT, John Graham; DENIZART S. O. Filho; RABELLO, Paulo Ney. *Aspectos de Proteção Radiológica no atendimento às vítimas do acidente Radiológico com Césio 137, em Goiânia*. Seminário de Segurança Industrial - Perspectiva da FEBEM e Hospital Geral de Goiânia. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Petróleo, 1988.
- IAEA. *The Radiological Accident in Goiânia*. STI/PUB/815. Viena: 1988.
- LAKATOS, Eva Maria. *Fundamentos de metodologia científica*. São Paulo: Atlas, 2003.
- MAZZILI, Barbara P. et al. *Noções Básicas de Proteção Radiológica*. Diretoria de Segurança Nuclear Divisão de Desenvolvimento de Recursos Humanos. IPEN: 2002. Disponível em: <https://portalidea.com.br/curso/s/0c7c17b22e04aaf7d55ac81e5ae666bd.pdf> Acesso em: 6 jun. 2023.
- MOREIRA, William de Sousa. Do Carvão ao Petróleo e à energia nuclear: a Marinha se transforma. In: *Marinha do Brasil: uma síntese histórica*. Rio de Janeiro: Diretoria do Patrimônio e Documentação da Marinha. 2018.
- PORTO, Walter C. A Coleção “Constituições Brasileiras”. In: CAVALCATI, Themístocles Brândão; BRITO, Luiz N.; BALEEIRO, Aliomar. 1967. *Coleção Constituições brasileiras*; v. 6. Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 2012.



QUINTELLA, Carlos O. de V. (Coord.). *Boletim de Conjuntura do setor Energético*. FGV ENERGIA. 2019. Edição disponível para download: fgv.br/energia. Acesso abr. 2023.

ROCHA, Sonia Fonseca. Acidente radioativo com o Césio 137: a participação da Marinha no atendimento às vítimas. *Navegador*. Rio de Janeiro: 2008.

SCHIRMER, H. P.; GOMES, C. A.; RECIO, J.C.A. *Documentário do Acidente Radiológico de Goiânia*. Rio de Janeiro: Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN, s/d.

TAVEIRA, Marcio G.M.A. et al. *O Sistema de Proteção ao Programa Nuclear Brasileiro e as missões da Agência Internacional de Energia Atômica para revisão da estrutura de resposta a Emergências Nucleares*. Trabalho de conclusão de curso em Altos Estudos de Defesa. Brasília: Escola Superior de Defesa, 2021.

VIEIRA, S. de A. Césio-137, um drama recontado. *Estudos Avançados*, [S. l.], v. 27, n. 77, p. 217-236, 2013. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav>

/article/view/53964. Acesso em 31maio2023.

NOTAS

¹ Conforme explica Guimarães (2020): “Em apoio à não-proliferação, a maioria dos Estados-Membros da IAEA está comprometida com o propósito de converter o combustível dos reatores de pesquisa e os alvos para produção de radioisótopos para alto teor de urânio e enriquecimento do isótopo 235 abaixo de 20% – *High-Assay Low-Enriched Uranium* (Haleu). Em conformidade com esse compromisso político, o combustível dos reatores de pesquisa brasileiros, em particular o IEA-R1 do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen), da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), localizado na cidade de São Paulo, o qual possuía, no passado, combustível com HEU, já realizou com sucesso essa transição para Haleu”. Ver GUIMARÃES, Leonam S.; PERROTTA, José Augusto. Haleu: o combustível nuclear do futuro? *Revista da Marinha do Brasil*, 2º. T/2020. Rio de Janeiro, 2020.

² Ver QUINTELLA, Carlos O. de V. (Coord.). *Boletim de Conjuntura do setor Energético*. FGV ENERGIA. 2019. Edição disponível para download: fgv.br/energia. Acesso abr. 2023.



³ Ver MOREIRA, William de Sousa. Do Carvão ao Petróleo e à energia nuclear: a Marinha se transforma. In: *Marinha do Brasil: uma síntese histórica*. Rio de Janeiro: Diretoria do Patrimônio e Documentação da Marinha. 2018.

⁴ Ver Agência Internacional de Energia Nuclear:

<https://www.iaea.org/topics/emergency-preparedness-and-response-epr>

⁵ Conforme PEM 2040, 2020.

⁶ Cidadela, em seu sentido original, é o nome que se dá a qualquer tipo de fortaleza ou fortificação construída em ponto estratégico de uma cidade, visando sua proteção ou dominação. Por extensão, passou a ser utilizada, na nomenclatura naval, para designar uma área protegida por couraça em um navio. Com a evolução tecnológica, o termo foi estendido às seções pressurizáveis, adotadas como defesa passiva contra-ataque nuclear, biológico ou químico. A tripulação é mantida nas cidadelas enquanto o navio transita por áreas contaminadas. Em função da tecnologia atualmente disponível, é possível continuar a combater em tais condições.

Preweting (Royal Navy) ou wash down (U. S. Navy) – trata-se de um sistema de borrifio de água em alta pressão, que forma uma nuvem a qual envolve o navio, de modo impedir que partícu-

las radioativas grudem no costado, conveses e superestrutura. O acúmulo de água é impedido pelo emprego dos estabilizadores em balanço forçado ou com fortes guinadas.

Instalações de descontaminação, a bordo, são utilizadas para trânsito entre as cidadelas e o ambiente externo contaminado. Em terra, para remoção de vestimentas contaminadas e limpeza de indivíduos que transitaram em áreas afetadas.

⁷ Graduada pela Escola de Enfermagem Anna Nery, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), com pós-graduação em Administração Hospitalar, pela Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ).

⁸ Ver CARDOSO, Eliezer de M. *Aplicações da energia nuclear*. Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN. Rio de Janeiro: 2008..

⁹ Ver CARVALHO, 2019; CARDOSO, op. cit.

¹⁰ Ibid.

¹¹ Ver ROCHA, Sonia Fonseca. Acidente radioativo com o Césio 137: a participação da Marinha no atendimento às vítimas. *Revista Navigator*. Rio de Janeiro: 2008.

¹² Ver CARVALHO, 2019.

¹³ Ver descrição do equipamento conforme documento da empresa mineradora AMG-Brasil. Disponível em: <https://amg->



br.com/pt/negocios/materiais-especiais/ Acesso em 4dez2024

¹⁴ Ver CNEN, 2022, p. 3

¹⁵ Ver FONSECA JÚNIOR, Sergio Borges; ROMANATTO, Edwiges. *Agropecuária Goiana: uma análise em perspectiva histórica*. Goiânia: Instituto Mauro Borges – IMB, 2017.

¹⁶ A CNEN, dentre outras atribuições, é uma entidade reguladora responsável pelo controle de instalações que utilizam materiais radioativos. É de sua responsabilidade a emissão de autorizações de: local, construção, operação e aquisição de material radioativo. Está incluída na esfera de sua responsabilidade controlar a produção, a aquisição e o uso seguro dos materiais radioativos em suas diferentes formas de utilizações, cabendo também o recebimento, a deposição e o gerenciamento dos rejeitos radioativos. (ver Schirmer, 1997)

¹⁷ Ver IAEA, 1988; SCHIRMER, 1997; ROCHA, 2008; VIEIRA, 2013.

¹⁸ Ver SCHIRMER, H. P.; GOMES, C. A.; RECIO, J.C.A. *Documentário do Acidente Radiológico de Goiânia*. Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN. Rio de Janeiro: s/d.

¹⁹ Ver HUNT, 1988.

²⁰ Ver SCHIRMER, 1997.

²¹ Ver ROCHA, op. cit.

²² Ibid.

²³ A criança foi contaminada ao comer ovo cozido com as mãos sujas do pó radioativo durante o jantar (ver Vieira, 2012. P. 220).

²⁴ Os riscos a que estão expostos os indivíduos irradiados, dependem de diversos fatores relacionados com as propriedades das fontes de radiação e das relações das pessoas com as fontes, ou seja, tempo de permanência junto à fonte e distância entre a fonte de radiação e o indivíduo exposto (Mazzili, 2002. P. 24. Grifo nosso).

²⁵ Referência ao ocorrido em 29 de junho de 2023. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2023-07/policia-procura-material-radioativo-que-teria-sido-furtado-em-minas> Acesso em 04dez2024

²⁶ Ver PORTO, Walter C. A Coleção “Constituições Brasileiras”. In: CAVALCATI, THEMÍSTOCLES BRANDÃO; BRITO, LUIZ N.; BALEEIRO, ALIOMAR. 1967. *Coleção Constituições brasileiras*; v. 6. Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas. Brasília: 2012.

²⁷ Ver Moreira, op. cit.

²⁸ O SIPRON foi instituído pelo Decreto-Lei nº 1809, de 07/10/80 e regulamentado pelo Decreto federal 2.210 de 22/04/97. Em 2012, a Lei nº 12.731/2012 revogou o Decreto-Lei nº 1.809/1980 e reformulou o Sipron, atribuindo responsabilidades que



abrangem os dias atuais. Atualmente, está regido pela Lei nº 13.844, de 18 de junho de 2019.