

# UMA ABORDAGEM HISTÓRICA DO MAIOR ACIDENTE RADIOLÓGICO – Causas, Consequências e Ações dos Órgãos Responsáveis\*

**HERON ALMEIDA LIMA\*\***  
Primeiro-Tenente (FN)

**LEANDRO FAGUNDES AMARAL\*\*\***  
Capitão-Tenente (FN)

---

## SUMÁRIO

Introdução  
Goiânia (13 de setembro de 1987)  
Causas do acidente  
O que foi feito  
Consequência do desastre  
Comentários e conclusão

## INTRODUÇÃO

O Brasil possui sob sua jurisdição 7,4 mil quilômetros de costa e 3,5 milhões de quilômetros quadrados de espaço marítimo, área que somente o País pode explorar economicamente e que, por conta das suas riquezas naturais e minerais abundantes, é chamada de Amazônia Azul. Cabe ressaltar que 95% do seu comércio

exterior é escoado pelas rotas marítimas (MARINHA DO BRASIL, 2019).

Segundo Vidigal *et al* (2018), apesar de sermos um país livre de grandes conflitos, a história nos mostra que um Estado que possui um bem valioso precisa cercar-se de meios dissuasivos de poder. Com a finalidade de salvaguardar essa extensa área oceânica, a Marinha do Brasil (MB), por meio do Centro Tecnológico da Marinha

---

\* Trabalho sob orientação do Prof. Msc. Paulo Werneck de Carvalho.

\*\* Serve no Batalhão de Engenharia de Fuzileiros Navais. Cursando Mestrado Profissional em Defesa e Segurança Civil da Universidade Federal Fluminense.

\*\*\* Graduação em Engenharia de Agrimensura pela Universidade Federal de Viçosa e especialização em Gestão de Operações e Logística pela Universidade Federal do Rio Grande. Serve no Corpo de Fuzileiros Navais.

em São Paulo (CTMSP), com sua extensão no Centro Experimental em Aramar (CEA), no município de Iperó, São Paulo, está desenvolvendo, no Laboratório de Geração de Energia Nucleoelétrica (Lab-gene), um protótipo, em terra e em escala real, do sistema de propulsão nuclear que será instalado no futuro Submarino Nuclear Brasileiro (SN- BR).

Para este avanço tecnológico, a MB, os governos municipal, estadual e federal e a Defesa Civil do município de Iperó precisarão estar preparados em termos de segurança radiológica e nuclear, uma vez que a área passará a ter um risco tecnológico como o de um acidente radiológico e nuclear. Uma boa preparação, por meio de estudos e treinamentos, pode melhorar a resposta para uma possível emergência, que, por sua vez, envolve muitas organizações em diferentes esferas de poder, com suas respectivas responsabilidades e arranjos bem definidos.

Dessa forma, o presente texto tem como propósito apresentar fatores que contribuíram para um desastre radiológico, bem como suas consequências, utilizando como pano de fundo o acidente radiológico ocorrido em Goiânia, de modo a auxiliar os órgãos supracitados.

## **GOIÂNIA (13 DE SETEMBRO DE 1987)**

No ano de 1985, o Instituto Goiano de Radioterapia, localizado no prédio da Santa Casa de Misericórdia, mudou-se para outro endereço, e um cabeçote usado

em radioterapia, que estava em desuso e que continha uma fonte de Césio-137 (Cs-137), foi abandonado no antigo local. Segundo Junior *et al* (2018), com o abandono do prédio antigo, este foi alvo de depredações, e as pessoas tinham livre acesso ao seu interior. Em razão disso, no dia 13 de setembro de 1987, foi desencadeado o maior acidente radiológico da história, tragédia que vitimou centenas de pessoas, expondo-as a uma radiação altamente perigosa transmitida por uma única cápsula de Césio-137.

Dois homens, Wagner Pereira e Roberto Alves, naquele dia, ao verificarem o cabeçote, um equipamento de metal com grande volume e peso, roubaram-no com a finalidade de ser comercializado como sucata. Dessa forma, retiraram a parte superior da máquina, uma unidade de radioterapia usada para tratamentos contra o câncer, e a levaram para casa em um carrinho de mão (JUNIOR *et al*, 2018).

Eles usaram chaves de fenda e marreta para abrir a pesada caixa de chumbo, acabando por violar o invólucro de chumbo que envolvia a fonte radioativa. Neste mesmo dia, ambos sentiram-se muito mal, com vômitos e diarreias (VIEIRA, 2013). De acordo com o relatório publicado um ano depois pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), em pouco tempo Pereira e Alves começaram a sofrer com vômitos frequentes, mas, à época, atribuíram os sintomas a uma intoxicação alimentar.

A peça de chumbo, outrora inofensiva, fora vendida a um ferro-velho,

**Em 13 de setembro de 1987, foi desencadeado o maior acidente radiológico da história por uma única cápsula de Césio-137, vitimando centenas de pessoas**

cujo dono era Devair Alves Ferreira, que, após manipulá-la, percebeu uma luz intensa que chamou a atenção de familiares e vizinhos, e, assim, o material foi distribuído naquela comunidade entre parentes, amigos e outros. Segundo Vieira (2013), associado a este fato e às condições climáticas, em poucos dias, houve uma grande disseminação do material, provocando contaminação de uma grande área. Todas as pessoas que tiveram algum contato com o material radioativo, direto ou indireto, apresentaram sintomas como: vômitos, diarreia, tonturas e lesões do tipo queimadura de pele. Alguns buscaram assistência médica em hospitais na região. Maria Gabriela Ferreira, esposa de Devair, suspeitando que o mal-estar de sua família tinha ligação com o material brilhoso, levou a peça para a Divisão de Vigilância Sanitária da Secretaria Estadual. O material foi identificado como radioativo e, por conseguinte, constatou-se acidente radiológico pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (Cnen), que notificou a AIEA.

## CAUSAS DO ACIDENTE

A partir do levantamento de bibliografia especializada sobre o fato – International Atomic Energy Agency (1889), Viera (2018), *Navigator* (2008), Brasil (1988) e Cruz *et al* (1997) –, podemos elencar diversas ações que corroboraram para a escalada do acidente:

– houve um longo tempo decorrido entre o evento: abertura do invólucro de

chumbo, afloramento do material radioativo e notificação às autoridades;

– a empresa, Instituto Goiano de Radio-terapia, ao sair do local, não se atentou a seguir os protocolos de segurança quanto ao manuseio e descarte de material radioativo;

– a fonte era na forma de cloreto de céσιο, um composto químico de alta solubilidade, que contribuiu para o aumento de pessoas contaminadas;

– a grande distância, mais de mil quilômetros dos principais centros capacitados em proteção radiológica, prejudicou a pronta caracterização do quadro de emergência;

– os fatores climáticos e geográficos contribuíram para dispersão; e

– a ausência de conscientização da população local quanto aos perigos do manuseio indevido de material radiológico impossibilitou a brevidade do combate.

**Diversas ações contribuíram para o acidente, entre elas o desconhecimento da população quanto aos perigos do manuseio de material radiológico**

## O QUE FOI FEITO

Após a Cnen ter sido informada das áreas contaminadas e dos sintomas das pessoas, providenciou de imediato o autoatendimento às vítimas, o monitoramento, a reconstituição dos acidentes e a apuração do impacto ambiental. Por meio das declarações obtidas pelos envolvidos no acidente, confrontadas com as avaliações médicas e com a radiometria das áreas afetadas, foi possível a elaboração de procedimento para atendimento às vítimas, além da priorização da operação de descontaminação das áreas.

As autoridades de Goiânia mobilizaram a polícia, as forças de Defesa Civil e o Corpo de Bombeiros, por volta das

20 horas do dia 29 de setembro, para isolar e monitorar os pacientes no Estádio Olímpico de Goiânia. Na fase crítica do acidente, quatro pessoas morreram e 20 foram hospitalizadas, entre estas, 14 foram transladadas para o Centro de Tratamento de Irradiados do Hospital Naval Marcílio Dias (HNMD)<sup>1</sup>, no Rio de Janeiro, e as outras seis foram tratadas no Hospital Geral de Goiânia.

Após a Cnen entrar em contato com o Serviço de Medicina Nuclear do HNMD, este prontamente designou uma equipe multiprofissional para apoio ao acidente. Segundo a revista *Navigator* (2008), foram recrutados mais de cem profissionais especializados, todos militares. Somente na área da Enfermagem, atuaram dez oficiais enfermeiras e 60 praças. Além do Curso de Radioproteção, todos receberam adestramento específico antes de iniciarem o atendimento aos pacientes. Em menos de 24 horas, o hospital preparou a Enfermaria de Pacientes Irradiados e as áreas da Radioterapia e Medicina Nuclear. Devido ao tempo escasso, foram feitas concessões quanto às normas, de modo a dar celeridade ao cuidado dos pacientes, fato este que contribuiu para a contaminação de algumas áreas, que foram, posteriormente, submetidas ao processo de descontaminação.

Em paralelo, o Brasil, por ser signatário da Convenção da Early Notification, comunicou à AIEA a ocorrência do acidente, bem como foram mantidos contatos diretos, por meio da Agência, com os governos da Alemanha, da União Soviética, dos Estados Unidos, da Argentina e da França (BRASIL, 1988). Nesse contexto, foram concedidos alguns equipamentos específicos da área de radioproteção pela

AIEA, Inglaterra, Hungria, Holanda, Japão, França, Alemanha e Israel.

De acordo com o relatório da Cnen<sup>2</sup>, na madrugada do dia 30, foi solicitado ao diretor executivo da Comissão o envio imediato a Goiânia de equipes de Proteção Radiológica, Controle Ambiental, Rejeito Radioativo e Assistência Médica. No mesmo dia, foram estabelecidas as prioridades de trabalhos a serem desenvolvidos, como atendimento médico ao contaminado, lavagem e troca de roupa contaminada, alimentação e orientação adequadas, monitoramento das pessoas e esclarecimento ao público.

Segundo Brasil (1988), na fase de descontaminação inicial, foram construídos barracões para funcionarem como locais de triagem e descontaminação, controle de equipes que circulavam nas áreas isoladas e depósitos de materiais de radioproteção. Vale destacar que cada local tinha seu canal de comunicação via rádio, porém ligado a uma rede da Cnen, além de veículos para agilização de necessidades. Todo rejeito gerado no início do desastre foi armazenado fora da área afetada, sendo selecionado um terreno a 20 km do centro de Goiânia e 2,5 km da cidade de Abadia de Goiás para receber os rejeitos em caráter transitório.

A Cnen utilizou, de setembro a dezembro de 1987, 244 profissionais, sendo 69 para coordenação, manutenção e apoio; 38 para a área de descontaminação e monitoramento ambiental; 110 para a área de proteção radiológica e 18 para a área de rejeitos, além dos 125 profissionais de Furnas, Nuclebras, CDTN, Núclei, EsIE e Ministério da Marinha, por meio da ala de Emergência Nuclear do HNMD (BRASIL, 1988).

1 INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *The radiological accident in Goiânia*. Viena: [s.n.], 1988.

2 Relatório do acidente radiológico em Goiânia. Rio de Janeiro, 1988

## CONSEQUÊNCIA DO DESASTRE

Durante e após o acidente radiológico, houve contaminação do solo em alguns locais, porém este foi removido e substituído por outro semelhante e, posteriormente, preenchido com brita e areia. Foi feita poda nas árvores da região, além da remoção de algumas, cujos níveis de radioatividade colocavam em risco a população. Contudo não foi observada contaminação do lençol freático, pois quase toda a parte afetada situou-se nos primeiros 50 cm do solo.

Apenas 17% dos profissionais envolvidos na operação de descontaminação se expuseram a doses superiores a 10 mSv<sup>3</sup>, sendo registrado 15,8 mSva como maior dose equivalente. Foi realizado rastreamento radiométrico, com o uso de cintilômetro instalado em viaturas modificadas, a fim de assegurar que as áreas anteriormente interditadas estavam em condições de serem habitadas normalmente.

Recentemente, foi criado, próximo ao repositório de rejeitos radiativos em Abadia de Goiás, o Centro Regional de Ciências Nucleares do Centro-Oeste (CRCN-CO/Cnen), com vistas à implementação de uma monitoração ambiental no âmbito do controle institucional do repositório.

## COMENTÁRIOS E CONCLUSÃO

A partir do acidente ocorrido em Goiânia com o Cs-137, ficou evidente que os fatores que possibilitaram o epi-

sódio, associados às ações subsequentes, corroboraram para as consequências do desastre, nas partes de pessoal, bens e meio ambiente.

Dessa forma, concluímos que nada pode diminuir a responsabilidade da pessoa designada para segurança de uma fonte radioativa, e esse acidente é a prova do descuido dos operários da empresa. Todas as fontes radioativas retiradas de locais, estabelecidos os procedimentos de notificação, registro e licenciamento, podem representar um risco significativo. Outro ponto importante é o reconhecimento por parte do público do perigo potencial das fontes radioativas, fator fundamental na redução da probabilidade de ocorrência de acidentes radiológicos. Dessa forma, deve ser dada a devida importância a um sistema de sinalização de risco radiológico reconhecível pela maioria do público.

Tal acidente serve como subsídio para a Marinha do Brasil se antever a possíveis problemas advindos de acidente de cunho radiológico e nuclear. Este fato se mostra importante e atual, uma vez que, segundo Poder Naval (2009), a Marinha do Brasil tem investido na capacitação de profissionais e nas nossas indústrias nacionais, a fim de atender ao Programa Nuclear da Marinha (PNM).

Segundo a Marinha do Brasil (2022), o PNM tem como propósitos dominar o ciclo do combustível nuclear (Figura 1) e desenvolver e construir uma planta nuclear de geração de energia elétrica, o que o CTMSP tem executado, por meio da sua Sede e do CEA.

**O acidente com o Césio-137 serve como subsídio para a MB antever possíveis problemas de cunho radiológico e nuclear**

3 Segundo o relatório da Cnem, o limite diário é de 1,5 mSv (mili Sievert).



Figura 1 – Ciclo do Combustível Nuclear  
Fonte: Adaptado de Indústrias Nucleares do Brasil (2022)

Para atingir os propósitos da parceria CTMSP-CEA, o Centro Experimental de Aramar abriga as principais oficinas, plantas, laboratórios e protótipos desenvolvidos pelo CTMSP, conforme figuras 2 e 3. Destinados ao desenvolvimento e à produção do combustível nuclear para o Labgene e para o futuro SN- BR), destacam-se: a Unidade Piloto de Hexafluoreto de Urânio

(Usexa); o Laboratório de Enriquecimento Isotópico (LEI); o Laboratório de Materiais Nucleares (Labmat); o Laboratório Radiológico (Lare), responsável tanto pelo controle do efluente lançado no ambiente externo do CEA como pelo monitoramento de amostras ambientais no entorno do Centro; e o Labgene, instalação terrestre experimental de uma usina nuclear.



Figura 2 – Complexo do CTMSP-CEA  
Fonte: Adaptado de Poder Naval (2013)



Figura 3 – Ciclo do Combustível do CTMSP-CEA  
Fonte: Adaptado de Tecnologia e Defesa (2018)

O Labgene foi concebido como um protótipo, em terra e em escala real, dos sistemas de propulsão que serão instalados no futuro Submarino Nuclear Brasileiro, a fim de possibilitar a simulação, em condições ótimas de segurança, da operação do reator e dos diversos sistemas eletromecânicos a ele integrados, antes de sua instalação a bordo do SN-BR (DEFESA AÉREA E NAVAL, 2022).

O modelo de reator empregado nos submarinos nucleares e desenvolvido pela Marinha do Brasil é do tipo água pressurizada (Pressurized Water Reactor – PWR), que utiliza água sob alta pressão no circuito primário para evitar que ele entre em ebulição, e é constituído por três circuitos: primário, secundário e de refrigeração (OPERACIONAL, 2022). Segundo Marques (2019), esse modelo de reator escolhido pela Marinha do Brasil é o que mais tem sido usado na atualidade por potências como Estados Unidos, Rússia, Reino Unido, França, China e Índia, para a propulsão de seus meios navais.

Quando em plena operação, o Labgene será composto de uma planta nuclear

com 48 megawatts de potência térmica, capaz de alimentar todos os subsistemas necessários para a propulsão de um submarino – tal energia é suficiente para iluminar uma cidade de aproximadamente 20 mil habitantes (PODER NAVAL, 2018).

Uma vez que as instalações no CTMSP têm sido projetadas com capacidade técnico-científica para os dois propósitos do PNM, faz-se necessário identificar ameaças nucleares relacionadas à radiação, com a finalidade de se obter uma rápida resposta, de modo a não se repetir o desastre mencionado.

Após o acidente em Goiânia, a Agência Internacional de Energia Atômica, organização autônoma que tem como finalidade apoiar os usos seguros e pacíficos da energia atômica, elevou o seu nível de preocupação a assuntos ligados a planejamento e preparação para emergência (AZEVEDO *et al*, 2021).

Segundo a AEIA (2013), há cinco categorias de ameaças nucleares relacionadas à radiação. Para fins de aplicação e método e para objeto de estudo, podemos salientar três:



I- Instalações, como usinas nucleares, nas quais há a possibilidade de eventos no local, envolvendo a liberação de material radioativo no ar atmosférico ou aquático ou exposição externa devido a alguma falha, como a perda de blindagem ou evento de criticalidade que se origina de um compartimento no local, podendo ser locais de probabilidade baixa, acarretando graves efeitos externos e à saúde da população.

II- Atividades que possam dar origem a uma emergência nuclear ou radiológica, justificando ações de proteção urgentes em um local imprevisível. Isso inclui atividades não autorizadas, como atividades relacionadas a fontes perigosas obtidas de forma ilícita. Também inclui transporte e atividades autorizadas envolvendo fontes móveis perigosas, como fontes de radiografia industrial, geradores radiotérmicos ou satélites movidos a energia nuclear.

III- Atividades que normalmente não envolvem fontes de radiação ionizante, mas produzem produtos com probabilidade significativa de contaminação, como resultado de eventos em instalações nas categorias de ameaça I, incluindo instalações em outros Estados, a níveis que exijam restrições imediatas aos produtos de acordo com padrões internacionais.

Segundo Nunes (2022), os possíveis eventos de ocorrência de desastres ligados ao ciclo do combustível nuclear são: incêndio, liberação de UF<sub>6</sub>, explosão, criticalidade e rompimento da barragem de rejeito.

O evento incêndio está associado a locais onde existem substâncias inflamáveis, tais como em etapas em que ocorrem extração com solvente, recuperação de rejeito, tanques contendo combustível ou qualquer outro material inflamável, tubulações que conduzem gás natural, óleo combustível ou outros materiais com-

busíveis ou inflamáveis da planta até o local de armazenamento (NUNES, 2022).

O evento liberação de UF<sub>6</sub> pode ser provocado por: entupimento nas linhas de transferência, conexões ou encaixe inadequados na linha, válvulas defeituosas, falha ou ruptura em uma válvula de um recipiente (cilindro) de UF<sub>6</sub> aquecido ou execução inadequada de um procedimento, tal como o esquecimento de uma válvula aberta.

O evento explosão poderá ocorrer no forno de sinterização ou de leito fluidizado, na etapa da produção da pastilha, ou em uma resina de troca iônica, na etapa de recuperação de rejeito da fábrica de elemento combustível.

O acidente de criticalidade pode ser provocado por efeitos da ocorrência de condições anormais, devido a eventos naturais, falhas humanas e falhas técnicas, que alteram os fatores de moderação, reflexão, interação e absorção de nêutrons, os quais afetam a criticalidade

A ruptura da barragem de rejeito do Complexo Industrial de Poços de Caldas, ou do CEA, pode ser provocada por falha estrutural, devido a enchimento do reservatório ou terremoto. Este evento poderia provocar grande liberação para o ambiente, entretanto trata-se de material de baixa atividade (NUNES, 2022).

Segundo Olgaard (1993 *apud* MARQUES, 2019, p. 49), existem três classes principais de acidentes com reatores PWR. O primeiro tipo é o aumento súbito e descontrolado do nível de potência do reator. Outra possibilidade, também pouco provável, é a injeção repentina de grandes quantidades de água fria no reator. O terceiro tipo de acidente está ligado à alta pressão (100 a 200 atm.) do circuito primário do reator e à natureza corrosiva de água quente.

Segundo Linhares (2016), para se ter segurança nuclear, devem-se aplicar prin-



cípios e metodologia preconizados para instalações nucleares, por meio de normas específicas que versem sobre a prevenção e a liberação do material radioativo da planta de propulsão, controlando a potência do reator, o resfriamento do combustível e o confinamento do material radioativo.

São apresentadas a seguir algumas normas da Cnen que se aplicam tanto ao controle de material nuclear e a medidas de proteção e operação da usina nucleoeletrica como ao descomissionamento do reator nuclear.

A norma Cnen-NN-2.02 (CNEN, 1999) estabelece os princípios gerais e os requisitos básicos exigidos pela Cnen para o controle de material nuclear, o chamado Sistema de Controle de Material Nuclear, em instalações e outros lugares, que consiste em:

- a) áreas de balanço de material;
- b) dispositivos de contenção e equipamentos de vigilância;
- c) sistemas de medição;
- d) registros e relatórios;
- e) identificação de perdas e determinação do material não contabilizado; e
- f) outros procedimentos aplicáveis.

O responsável pela fonte radioativa deve adotar as medidas necessárias para evitar falhas de segurança, as quais incluirão procedimentos de verificação e dispositivos de segurança apropriados. Embora o sistema regulatório constitua um controle da capacidade profissional de

quem opera e da eficácia da organização, deve-se ressaltar que os controles regulatórios e legais não podem e não devem isentar o responsável pela segurança de uma fonte radioativa de obrigações que correspondam a ele como tal.

A norma CNEN-NN-3.01/006 (CNEN, 2011) estabelece as medidas de proteção e critérios de intervenção em emergências radiológicas. As capacidades básicas necessárias para responder a uma emergência radiológica são: sistema de monitoramento de radiação para detectar, medir e reportar dose de radiação e taxas de exposição, além de pessoal treinado para receber, analisar e avaliar as informações fornecidas pelas equipes de monitoramento.

Segundo CNEN (2011), tão logo as doses projetadas, ou seja, doses que um indivíduo receberia em um período determinado, possibilitem causar sérios danos à saúde, as ações protetoras deverão ser tomadas, sendo elas:

a) Abrigagem – permanecer no interior de prédios para reduzir a exposição externa à contaminação presente no ar e ao material radioativo depositado em superfícies;

b) Evacuação – o movimento dos indivíduos para fora do campo de radiação ou do caminho da nuvem radioativa, ou seja, envolve a retirada urgente de pessoas de seus locais normais de residência, trabalho ou lazer, em período curto; e

Ação de Proteção	Nível Genérico de Intervenção (dose evitada pela ação de proteção)
Abrigagem	10 mSv <sup>[1]</sup>
Evacuação	50 mSv <sup>[2]</sup>
Profilaxia por Iodo Estável	100 mGy <sup>[3]</sup>

<sup>[1]</sup> A abrigagem não é recomendada por um período superior a 2 (dois) dias.

<sup>[2]</sup> A evacuação não é recomendada por um período superior a 1 (uma) semana.

<sup>[3]</sup> Dose absorvida comprometida evitada na tiróide.

Tabela 1 – Níveis genéricos de intervenção para ações de proteção urgentes  
Fonte: CNEN (2011, p. 3)

c) Administração de iodo estável – podendo ser complementadas por ações adicionais, tais como controle de acesso, proteção e descontaminação. Na Tabela 1 são apresentados os níveis de intervenção recomendados para essas medidas de proteção.

Quando a Usina Nucleoelétrica e o CEA estiverem em operação, conforme preconiza a CNEN 1.14 (CNEN, 1991), deverão ser observadas continuamente as condições de operação com a adoção das medidas a seguir.

Relatório de Operações Iniciais para:

a) obtenção de uma autorização para a Operação Inicial;

b) modificação de autorização para a Operação envolvendo aumento no nível de potência da usina;

c) utilização de elemento combustível com projeto diferente ou fabricado por novo fornecedor; e

d) modificações passíveis de alterar, de forma significativa, o desempenho nuclear, térmico ou hidráulico da usina.

Caso haja alguma criticalidade do reator, o CEA deverá submeter à Cnen um Relatório Mensal de Operação (RMO), que deverá abranger:

a) nível médio diário de potência;

b) dados de operação, incluindo: potência autorizada; capacidade máxima confiável; potência elétrica líquida; potência restrita de operação e os motivos para restrição, se houver; número de horas com gerador na linha; número de horas com gerador na linha; e fatores de utilização, de disponibilidade e de capacidade do reator;

c) número de horas com o reator crítico ou desligado, energia elétrica e térmica geradas;

d) reduções da potência e desligamentos ocorridos na unidade, taxa de paralisação e desligamentos programados para o semestre que se segue;

e) caso a unidade esteja em fase de testes de elevação de potência, indicação dos valores previstos e alcançados para criticalidade, geração inicial elétrica e operação; e

f) acontecimentos notáveis com relação à monitoração ocupacional, de efluentes e ambiental, incluindo:

– as doses recebidas pelas pessoas envolvidas na operação da usina, empregadas do operador ou não;

– as liberações de radioatividade ou doses estimadas que atinjam mais de 10% dos valores anuais permissíveis; e

– os níveis de radioatividade detectados no meio ambiente superiores aos níveis de registro. Nesses casos, deve-se buscar uma correlação entre a sua ocorrência e a operação da instalação.

Outro fator de risco é o envelhecimento dos reatores nucleares, com limite de uso de 40 anos. Porém, com o avanço da tecnologia, fica cada vez mais atraente aos operadores de usina nucleares a extensão da vida útil, a fim de maximizar os lucros. Os processos de envelhecimento são de difícil detecção porque geralmente ocorrem no nível microscópico da estrutura interna dos materiais. Eles frequentemente se tornam aparentes somente depois da falha de um componente, por exemplo, quando ocorre o rompimento de uma tubulação (HIRSCH, 2005).

É importante ressaltar que há a possibilidade de risco da contaminação do meio ambiente oriunda da exposição ionizante devido ao descarte de produtos radioativos. Conforme define a CNEN 6.05 (CNEN, 1985), rejeito radioativo é todo e qualquer material resultante de atividades humanas que contenha radionuclídeos em quantidades superiores aos limites estabelecidos pela Norma Cnen-NE-6.02 (Licenciamento de Instalações Radioativas) e pelo Basic Safety Standards – Safety Series

115, cuja reutilização seja imprópria ou não prevista. O Laboratório Radioecológico é o responsável por monitorar e controlar a liberação dos efluentes que são gerados pelas unidades do CEA e executar o Programa de Monitoração Ambiental – Radiológica e Não Radiológica e as análises de excreta de trabalhadores de área restrita, para fins de Radioproteção Ocupacional.

Tomando como base a causa principal do acidente radiológico em Goiânia com o Cs-137, deve-se atentar para o descomissionamento do reator nuclear, requisito que já deve estar previsto no processo de licenciamento, conforme a CNEN 9.01 – Descomissionamento de Usinas Nucleoelétricas, CNEN (2012), que estabelece, em seu Art. 6º, como responsabilidade da organização operadora, ou seja, da Marinha do Brasil:

- escolher uma estratégia de descomissionamento;
- elaborar e manter, por toda a vida útil da usina, um Plano Preliminar de Descomissionamento;
- estabelecer um sistema de garantia da qualidade, desde o planejamento do descomissionamento até a retirada definitiva do controle regulatório, como parte do sistema de gerência da usina;
- desenvolver e gerenciar a implementação de um Plano Final de Descomissionamento;
- desenvolver a análise de segurança e de impacto ambiental relacionada ao descomissionamento;
- elaborar e implementar procedimentos específicos, inclusive sobre preparação e resposta a emergência, considerando os requisitos de segurança e qualidade aplicáveis às atividades desenvolvidas;

- preparar e manter equipe treinada, qualificada e competente para a execução do projeto de descomissionamento;

- gerenciar todo o rejeito radioativo decorrente do descomissionamento, até a sua transferência para um depósito intermediário ou final;

- manter um programa de monitoração radiológica ocupacional e ambiental durante todo o processo de descomissionamento;

- planejar e manter disponíveis medidas de proteção ou mitigação de exposições potenciais resultantes de incidentes ou acidentes; e

- manter registros das atividades de descomissionamento e encaminhar à Cnen os relatórios requeridos.

A Cnen tem como apoio a Marinha do Brasil, por meio da Agência Nacional de Segurança e Qualidade (AgNSNQ), para dispor sobre o licenciamento e a fiscalização das plantas nucleares de acordo com a Lei nº 13.976, de 7 de janeiro de 2020.

Por meio da bibliografia apresentada e dos documentos que balizam o modo de operar os materiais radiológicos e nucleares, a Marinha do Brasil tem a possibilidade de se antever a possíveis acidentes.

Finalmente, sugere-se, frequentemente, a revisão de acidentes radiológicos e nucleares, uma vez que a radiação está constantemente presente no cotidiano do ser humano, de modo a diminuir riscos.

É imperativo que durante todo o projeto – construção, comissionamento, operação e manutenção das oficinas, plantas e laboratórios, destinados ao desenvolvimento e produção, tanto do combustível nuclear como também do reator nuclear no Lab-gene – sejam seguidas as normas vigentes.

📁 CLASSIFICAÇÃO PARA ÍNDICE REMISSIVO:  
<CIÊNCIA E TECNOLOGIA>; Radiação;  
<SAÚDE>; Assistência Médica; Protocolo;

## REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, Eduardo M.; ESTRADA, Júlio J. S.; KNÖFEL Tom M. J.; RÉCIO, João C. A. e ALVES, Rex N. “A saga das emergências nucleares e radiológicas no Brasil”. Comissão Nacional de Energia Nuclear, Instituto de Radioproteção e Dosimetria. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/cd/inac/1999/PDF/CG12AR.PDF>. Acesso em: jun. 2021.
- BRASIL. Senado Federal. Relatório do acidente radiológico em Goiânia. Brasília, DF: Senado Federal, 1988. Disponível em: <http://memoria.cnen.gov.br/manut/ImprimeRef.asp?AN=19076677>. Acesso em: abr. 2022.
- COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Controle de materiais Nucleares. Cnen – NN 2.02. Rio de Janeiro: Cnen, 1999.
- COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Medidas de proteção e critérios de intervenção em situações de emergência. Posição Regulatória 3.01/006. Rio de Janeiro: Cnen, 2011.
- COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Relatório do acidente radiológico em Goiânia. Rio de Janeiro, 1988.
- CRUZ, A. D. da; GLICKMAN, B. W. “Monitoring the genetic health of humans accidentally exposed to ionizing radiation of Cesium-137 in Goiania (Brazil)”. *In: International Conference/Goiania 10 years later: the radiological accident with Cs137. Goiânia – Brasil, Brasil. Anais. Rio de Janeiro, RJ: Cnen, pp. 131-137, 1997.*
- DEFESA AÉREA E NAVAL. “Centro Experimental Aramar avança na prontificação do Laboratório de Geração Nucleoelétrica”. 2022. Disponível em: <https://www.defesaareanaval.com.br/naval/centro-experimental-aramar-avanca-na-prontificacao-do-laboratorio-de-geracao-nucleoeletrica>. Acesso em: 23 fev. 2022.
- FARIA, W.J.J.; JUNIOR, G.B. Acidente Radiológico na cidade de Goiânia-GO. Documentário acidente radiológico de goiana. 2018. Disponível em: <http://repositorio.aee.edu.br/>. Acesso em: 10 abr. 2022.
- HIRSCH, H. BECKER, O. SHNEIDER, M. FROGGAT, A. “Perigos dos reatores nucleares. Riscos na operação da tecnologia nuclear no século XXI”. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/cDqZmLPGB5FVxXqSnGGtdTk/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 4 jun. 2022.
- IAEA. “Method for Developing Arrangements for Response to a Nuclear or Radiological Emergency”. Viena: IAEA, 2003.
- INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL. “Ciclo do Combustível Nuclear”, 2018. Disponível em: <http://www.inb.gov.br/Nossas-Atividades/Ciclo-do-combustivel-nuclear>. Acesso em: maio 2022.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. “The radiological accident in Goiânia”. Viena: [s.n.], 1989.
- LINHARES, Tuxaua Quintella de. “Uma proposta de modelo de gerenciamento da cultura de segurança para o submarino brasileiro com propulsão nuclear”. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 2016.
- MARINHA DO BRASIL. “O que é a Amazônia Azul e por que o Brasil quer se tornar potência militar no Atlântico”. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/economia-azul/noticias/o-que-%C3%A9-amaz%C3%B4nia-azul-e-por-que-o-brasil-quer-se-tornar-pot%C3%Aancia-militar-no-atl%C3%A2ntico>. Acesso em: abr. 2022.
- MARINHA DO BRASIL. Programa Nuclear da Marinha. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/ctmsp/programa-nuclear-da-marinha>. Acesso em: maio 2022.
- MARQUES, Kelles Stephany Batista. “Subsídios para elaboração de Plano de Emergência Externo: um estudo para o complexo naval de Itaguaí”. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Fluminense – UFF. Rio de Janeiro. 2019.
- MARQUES, Kelles Stephany Batista. “Subsídios para elaboração de Plano de Emergência Externo: um estudo para o Complexo Naval de Itaguaí”. 2019 *apud* OLGAARD, P.L. *Nuclear Ship*

- Accidents Description And Analysis. In: The Technical University Of Denmark Department Of Electrophysics, Lyngby, 1993. Acesso em: maio 2022.*
- NAVIGATOR. “Acidente Radioativo com Césio 137”. 2008. Disponível em: [http://www.revistanavigator.com.br/navig8/N8\\_index.html](http://www.revistanavigator.com.br/navig8/N8_index.html). Acesso em: abr. 2022.
- NUNES, Marcos de Eduardo Costa. “Inserção do Ciclo do Combustível no contexto da Escala Ines”. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Rio de Janeiro, 2022.
- OPERACIONAL. “Laboratório de Geração Nucleoelétrica, onde o sonho começa a se tornar realidade”. 2022. Disponível em: <https://www.revistaoperacional.com.br/laboratorio-de-geracao-nucleoelétrica-onde-o-sonho-começa-a-se-tornar-realidade/>. Acesso em: maio 2022.
- PAPPON, Thomas. “Como o Césio-137 em Goiânia pôs o Brasil no mapa de piores acidentes radioativos do mundo”. BBC, 2018. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-45783343>. Acesso em: 10 abr. 2022.
- PEREIRA, R. “O que é a Amazônia Azul e por que o Brasil quer se tornar potência militar no Atlântico”. *Gazeta do Povo*. 2019. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/república/amazonia-azul-brasil-potencia-militar-atlantico/>. Acesso em: 23 fev. 2022.
- PODER NAVAL. “Aniversário do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo”. 2013. Disponível em: <https://www.naval.com.br/blog/2013/10/19/aniversario-do-centro-tecnologico-da-marinha-em-sao-paulo/>. Acesso em: maio 2022.
- PODER NAVAL. “Lançamento da pedra fundamental do RMB e início dos testes de integração dos turbogeradores do Labgene”. 2018. Disponível em: <https://www.naval.com.br/blog/2018/06/08/lancamento-da-pedra-fundamental-do-rmb-e-inicio-dos-testes-de-integracao-dos-turbogeradores-do-labgene/>. Acesso em: maio 2022.
- PODER NAVAL. “O mais longo de todos os programas – Parte 1”. 2009. Disponível em: <https://www.naval.com.br/blog/2009/12/02/o-mais-longo-de-todos-os-programas/>. Acesso em: maio 2022.
- TECNOLOGIA E DEFESA. “Lançamento da pedra fundamental do RMB e início dos testes de integração dos turbogeradores do Labgene”. 2018. Disponível em: <https://tecnodefesa.com.br/lancamento-da-pedra-fundamental-do-rmb-e-inicio-dos-testes-de-integracao-dos-turbogeradores-do-labgene/>. Acesso em: maio 2022.
- VIDIGAL, A.A.F; *et al.* *Amazônia Azul: o mar que nos pertence*. Rio de Janeiro, 2006.
- VIEIRA, S. A. “Césio-137, um drama recontado”. *Revista Estudos Avançados*. São Paulo, v. 27, n. 77, jan., 2013.