

ARTIGO ORIGINAL

WERNER, Raquel Lemos ^[1], XAVIER, Cristiellen Sousa Pilato ^[2], SILVA, Rodrigo Werner da ^[3], NETO, Arthur Luiz de Oliveira ^[4]

WERNER, Raquel Lemos. Et al. Gestão de riscos em dispersões atmosféricas de radionuclídeos provocadas por incêndios em irradiadores de sangue. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 05, Ed. 05, Vol. 08, pp. 128-148. Maio de 2020. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-eletrica/dispersoes-atmosfericas>

Contents

- RESUMO
- 1. INTRODUÇÃO
- 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS
 - 2.1 HISTÓRICO DE EVENTOS ENVOLVENDO INCÊNDIO COM LIBERAÇÃO DE RADIAÇÃO
 - 2.2 EQUIPAMENTOS DE IRRADIAÇÃO DE SANGUE
 - 2.3 O INCÊNDIO
 - 2.4 INCÊNDIO-PADRÃO
 - 2.5 O RISCO
- 3. METODOLOGIA
- 4. DESENVOLVIMENTO
 - 4.1 GESTÃO DE RISCO
 - 4.2 PREVENÇÃO
 - 4.3 MITIGAÇÃO
 - 4.4 PREPARAÇÃO
 - 4.5 RESPOSTA
- CONSIDERAÇÕES FINAIS
- REFERÊNCIAS

RESUMO

A energia nuclear é empregada em diversas formas de tecnologia, em benefício da sociedade. Os equipamentos de irradiação de sangue são de fundamental importância em hemoterapia para verificação da Doença do Enxerto Contra Hospedeiro (DECH). Dentre os equipamentos existentes no mercado, há a opção dos que faz-se uso o Cs-137 como fonte de radiação. A pesquisa parte da hipótese de que a gestão de riscos em cenários complexos envolve diversas disciplinas, conhecimentos, instituições e estruturas organizacionais que, previamente estudadas, planejadas e treinadas, permitem a minimização dos efeitos danosos e é com esse cenário que o trabalho espera contribuir. Tem-se como problema a ser investigado a gestão dos riscos que englobam o hipotético de incêndio em equipamentos de irradiação de sangue, devido ao fato de possuir material radioativo e geralmente serem instalados em grandes centros urbanos, áreas densamente povoadas. Embora o cenário seja hipotético, a pesquisa objetiva buscar uma maior aproximação da hipótese com o mundo real. Visa-se, também, fornecer informações de interesse às operações, de forma a reduzir os riscos de desastres. As doses estimadas, distâncias em que se verificaram as doses, plumas estimadas e respectivas áreas para condições atmosféricas e o número de pessoas afetadas nesse tipo de emergência fundamentam a adoção de medidas que venham a proteger os sistemas receptores por meio de ferramentas de gestão de riscos consagradas na atualidade. O auxílio na tomada de decisão favorece a adoção de medidas de redução de risco para o cenário atual e futuro de desenvolvimento de câncer oriundo das doses que as quais a população venha a ser submetida, sendo essa a justificativa para a proposição desta reflexão.

Palavras-chave: Gestão de riscos, incêndio em material radioativo, dispersões atmosféricas de radionuclídeos, irradiadores de sangue.

1. INTRODUÇÃO

Embora pouco frequentes, os incêndios em materiais radioativos empregados em equipamentos hospitalares podem apresentar risco elevado à população, não somente pelo grande potencial de danos, mas também pelo baixo conhecimento acerca do assunto por parte dos usuários dos locais dotados de irradiadores e da falta de protocolos de ações

integradas, gerando cenários de crise operacional. Os veículos midiáticos noticiaram, em 2018, que um incêndio atingiu o segundo andar do prédio do HemoRio, provocando a transferência de pacientes para o Hospital Souza Aguiar e redirecionando os serviços de hemoterapia para o Hospital Federal dos Servidores do Estado, Hospital Federal de Bonsucesso, Hospital Universitário Clementino Chagas Filho, Hospital Federal Cardoso Fontes, Hospital Universitário Pedro Ernesto, Instituto Nacional de Câncer (INCA), Instituto Nacional de Cardiologia, Hospital Naval Marcílio Dias e Hospital da Aeronáutica.

Embora não tivessem vítimas, o evento mostrou que sua ocorrência é possível e a limitação dos riscos relaciona-se ao rápido atendimento, o que no caso citado especificamente se deu possivelmente pela proximidade do HemoRio com o Quartel do Comando Geral, uma vez que os veículos midiáticos informaram, a partir dos portais, que “o fogo começou por volta de 20h50 e foi debelado pelos bombeiros em poucos minutos”. O episódio não trouxe danos conhecidos à população, mas mostrou a fragilidade do sistema de proteção e ameaça de incêndios envolvendo material radioativo, como consta nos sites de notícias. Em 2004, duas ampolas com material radioativo Criptônio 85 foram roubados por saqueadores na fábrica de tecidos Poesi, na zona norte do Rio de Janeiro (REUTERS, 2004), o que torna a temática relevante.

À partir do incêndio, a fábrica passou a ser saqueada por moradores do conjunto de comunidades carentes, hoje ocupando área conhecida como Complexo do Alemão. Segundo o Corpo de Bombeiros e a Defesa Civil, o Criptônio 85 era usado em uma máquina para medir a espessura. A NBR ISO 31000:2018 define risco como efeito da incerteza nos objetos e gestão do risco como atividades coordenadas para dirigir e controlar uma organização no que se refere à riscos. A Política Nacional de Defesa Civil (MI, 2007) define como medida de danos ou prejuízos potenciais a probabilidade estatística de ocorrência e a intensidade ou grandeza das consequências previsíveis. Há uma relação existente entre a probabilidade de que uma ameaça de evento adverso ou acidente determinado com o grau de vulnerabilidade do sistema receptor a seus efeitos.

Considerando-se que uma crise é inevitável, preparar-se para ela é fundamental quando se pretende obter sucesso. Segundo Mitroff (2001), toda crise é antecedida por sinais que, se devidamente interpretados, poderão fornecer ferramentas que auxiliarão ao administrador a evitá-las ou, ao menos, minimizá-las. Segundo a Associação Brasileira de Gestão de Projetos

(ABGP), “a gestão de riscos aplicada em projetos consiste nos processos de identificação, classificação e quantificação dos riscos, bem como no gerenciamento das ações de resposta a todos os riscos do projeto” (PMKB, 2015, s/p). A análise do cenário proposto permite a melhor orientação aos procedimentos a serem adotados por diversas agências envolvidas nas ações de redução de riscos de forma imediata com efeito sobre futuros comprometimentos e fragilidades.

Os equipamentos de irradiação de sangue são utilizados em larga escala em hemoterapia, fazem uso de fontes radioativas e apresentam uma tendência de ser instalados em centros urbanos, devido à justificativa do amplo emprego, favorecendo a criação de um cenário possível para incêndio com liberação de radionuclídeos. Existem formas de garantir a segurança dos equipamentos por parte do órgão de saúde e vigilância sanitária, mas a queima do material constituinte precisa ser considerada, uma vez que eventos adversos, intencionais ou não, podem vir a expor a fonte e gerar um cenário de exposição e emergência radiológica.

Após a obtenção dos resultados e as conclusões deles resultantes são propostas sugestões para pesquisas futuras que expandam o horizonte e ampliem o escopo deste estudo, abrangendo, principalmente, questões como, por exemplo, a análise do risco, protocolos e tomadas de decisão em situações de desastres, sendo possível, dessa forma, a gestão dos riscos associados às dispersões atmosféricas de radionuclídeos por equipamentos de irradiação de sangue.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 HISTÓRICO DE EVENTOS ENVOLVENDO INCÊNDIO COM LIBERAÇÃO DE RADIAÇÃO

São poucas as ocorrências relatadas no mundo, porém foi possível observar a elevada preocupação com as consequências dessa ameaça. De acordo com artigo publicado pelo Green Peace em 29 de abril de 2015, intitulado “Incêndio ao redor de Chernobyl revive pesadelo nuclear”, afirma-se que: “se o fogo se espalhar para florestas e áreas altamente contaminadas ao redor da usina, a liberação de material radioativo na atmosfera é certa. A

quantidade de radioatividade liberada poderia chegar à mesma magnitude de um grande acidente nuclear”. É permanente a preocupação com os arredores de Chernobyl em virtude da possibilidade de incêndios que venham a dispersar na atmosfera os radionuclídeos depositados. Em análise feita em 2015, apontou-se a possibilidade de um evento como esse alcançar o equivalente ao nível 6, tomando-se por base a Escala Internacional de Eventos Nucleares (INES).

Em 10 de outubro de 1957, o reator nuclear britânico, cujo núcleo de grafite e resfriado a ar, em Windscale (Cúmbria), no Reino Unido, sendo rebatizado com o nome de Sellafield, a partir de 1983, incendiou-se, libertando quantidades significativas de contaminação radioativa na área circundante. O evento, conhecido como Incêndio de Windscale (antigo nome da localidade), foi considerado o pior acidente do mundo envolvendo um reator nuclear até o incidente de *Three Mile Island*, em 1979. Ambos os incidentes foram ofuscados pela magnitude do acidente nuclear de Chernobyl, em 1986. Não foram encontradas informações relativas à incêndios em materiais radioativos no Brasil, porém o risco potencial associado é bastante elevado e demonstra a necessidade de adoção de medidas no sentido de redução deste por meio da análise e gestão.

2.2 EQUIPAMENTOS DE IRRADIAÇÃO DE SANGUE

Existem vários tipos de irradiadores de sangue, geralmente usando fontes radioativas de Césio-137 ou Cobalto-60. Alguns equipamentos da fonte radioativa de Césio-137 são usados para sanar diversas necessidades médicas, sendo um dos métodos mais eficazes para a prevenção da doença e do enxerto *versus* hospedeiro, associados à transfusão de sangue (DEVH). Existem algumas determinações da CNEN-NN-3.01 - “Diretrizes Básicas de Proteção”, concebida a partir das seguintes normatizações: Resolução CNEN/ CD Nº 27, de 17/12/2004 (Aprovação da Norma); Resolução CNEN Nº 12/1988; Resolução CNEN/ CD Nº 27, de 17/12/2004; Resolução CNEN/ CD Nº 48, de 09/09/2005; Portaria CNEN Nº 60, de 18/11/2005; Portaria CNEN Nº 07, de 17/01/2006 e Portaria CNEN Nº 4, de 15/02/2006 que precisam ser mencionadas.

Apesar da normatização prever na elaboração do PPR itens relevantes à redução das vulnerabilidades, como a definição e capacitação de equipe, planejamento de resposta para

situações de emergências e descrição dos tipos de acidentes possíveis, a ANVISA estabelece, por meio da Resolução – RDC nº 34, de 11 de junho de 2014, no Art. 62, § 6º, que é permitida a terceirização do serviço de manutenção, o que aumenta a vigilância nas atividades de segurança patrimonial, visto que possíveis condutas inadequadas no manuseio do equipamento podem, de maneira dolosa ou culposa, expor a fonte à situações de risco. O Ministério da Saúde publicou, em 2013, o Guia para Elaboração de Projetos de Hematologia e Hemoterapia. Nele, encontram-se descritos os requisitos necessários para as estruturas físicas, equipamentos, resíduos e recursos humanos.

No documento, observa-se as características da fonte, taxa de dose e controle da mesma, que o local seja previamente aprovado, sinalizado, ventilado e trancado, sob responsabilidade do diretor de operações que a operação seja efetuada por pessoal qualificado e recomenda, ainda, que não seja usado na presença de anestésicos ou outros gases inflamáveis ou em atmosfera com oxigênio aumentado, mas não se verificam medidas relativas à prevenção contra incêndio e pânico. É possível encontrar informações das fontes de radiação no Apêndice II do TECDOC-1344 da Agência Internacional, apresentando os riscos, uso e atividades. Apresenta-se os Cs-137 de classe de risco 1 e a atividade entre 440 e 37 TBq na irradiação de sangue.

Considerando que uma fonte perigosa é aquela que, uma vez fora de controle, possa levar a exposições suficientes para elevados danos à saúde humana, a classificação é baseada na razão A/D (TECDOC-1344, 2003), e, dessa forma, observa-se que o cenário escolhido enquadra-se na categoria 1, sendo uma fonte externamente perigosa, pois, ainda segundo a AIEA, pode causar lesões permanentes em exposição com duração de segundos e levar a óbito em exposições pelo período de minutos a uma hora. A *International Atomic Energy Agency (IAEA) Incident and Trafficking Database (ITDB)* computou, em 2014, os incidentes confirmados envolvendo posse de material radioativo não autorizado reportado ao ITDB no período entre 1993 -2013.

Esse cenário reitera, então, que furtos e perdas podem marcar o início de um incidente e são indicativos de vulnerabilidades dos sistemas de segurança e controle na instalação de origem (IAEA, 2003). Essas informações coletadas são de interesse geral, pois elas favorecem e possibilitam a implementação de medidas de segurança e, também, a regularização por parte dos governos, de modo a impor melhores condições de uso, depósito, transporte e

disposição dos materiais radioativos sob sua guarda ou tutela. A maior parte dos furtos e perdas relatados ao ITDB envolve fontes radioativas que são usadas, principalmente, em aplicações médicas ou industriais.

2.3 O INCÊNDIO

Considerando que a fonte tende a se encontrar disposta a partir de modos distintos, devido à diferentes organizações e distribuições espaciais das edificações, existem diversos tipos de fabricantes e modelos disponíveis para comercialização, com grande espectro de características, atividades, blindagens e recipientes. Toma-se por base a queima integral do equipamento por meio de estimativas obtidas nas curvas padrão existentes na literatura.

2.4 INCÊNDIO-PADRÃO

Foi utilizado o modelo de incêndio-padrão para entender o comportamento do incêndio para verificar se o cenário proposto é de possível ocorrência, uma vez que não há posse de dados reais para análise. O modelo de curva-padrão encontra-se presente em normas internacionais e dispõe sobre curvas realísticas. O Método do Tempo Equivalente leva em conta características térmicas dos materiais e o tipo de ocupação, ventilação e risco de incêndio. Tal modelo pode ser encontrado na Norma ISO 834 (1975), a qual serve de base para outras Normas, como a AS 1530 (1994) da Austrália. As curvas baseiam-se na ASTM E119, por exemplo, na ULC S101 (1989) do Canadá (BUCHANAN (2001)) e na JIS A 1304 (1994) do Japão (PHAN (1996)).

As curvas permitem observar que a elevação de temperatura é acelerada e próxima aos 10 minutos de sua eclosão, sugerindo a possível queima integral do equipamento e permitindo o lançamento da fumaça na atmosfera, carregando radionuclídeos e promovendo a exposição da população. Nesse trabalho, não serão levadas em conta as condições de início do incêndio ou suas causas, mas sim suas consequências. A queima do material radioativo pode se dar de diversas maneiras, tanto pela queima total do compartimento e equipamento em que se encontra, visto a elevada temperatura possivelmente atingida, bem como pela violação culposa ou dolosa da fonte.

A atmosfera é uma das principais vias pela qual o material radiológico pode ser disperso em grandes áreas e atingir diversos compartimentos ambientais. Os efeitos sobre os humanos e a biosfera decorrentes de liberações atmosféricas de material radioativo devem ser avaliados, levando-se em consideração dados meteorológicos e características específicas do cenário. Em um incêndio, o material pode ser lançado a grandes distâncias e atingir camadas mais elevadas na atmosfera, cujo vento pode alterar sua velocidade e, dependendo da altura atingida, o material pode alcançar correntes de circulação local e global, facilitando a sua dispersão para locais bem distantes do local do evento inicial (YVES, 2014).

2.5 O RISCO

Considerando as definições de risco, observa-se que a ameaça de dispersão atmosférica por incêndio em irradiadores de sangue existe e medidas de redução do risco podem ser tomadas por meio da diminuição das vulnerabilidades e iniciativas para a contenção da ameaça. Silva (2017), mostra os limites de doses para situações diversas, descrevendo, de acordo com as normativas nacionais, as doses às quais as pessoas podem ser submetidas, servindo de base para definir as condições de contorno para as áreas de controle operacional em caso de um incêndio em irradiador de sangue, demonstrando o risco de exposição da população do prédio dotado de irradiador de sangue, dos respondedores e da população. As condições de contorno foram extraídas dos limites de doses normatizados pela CNEN.

Tabela 1: Limites de doses para situações diversas.

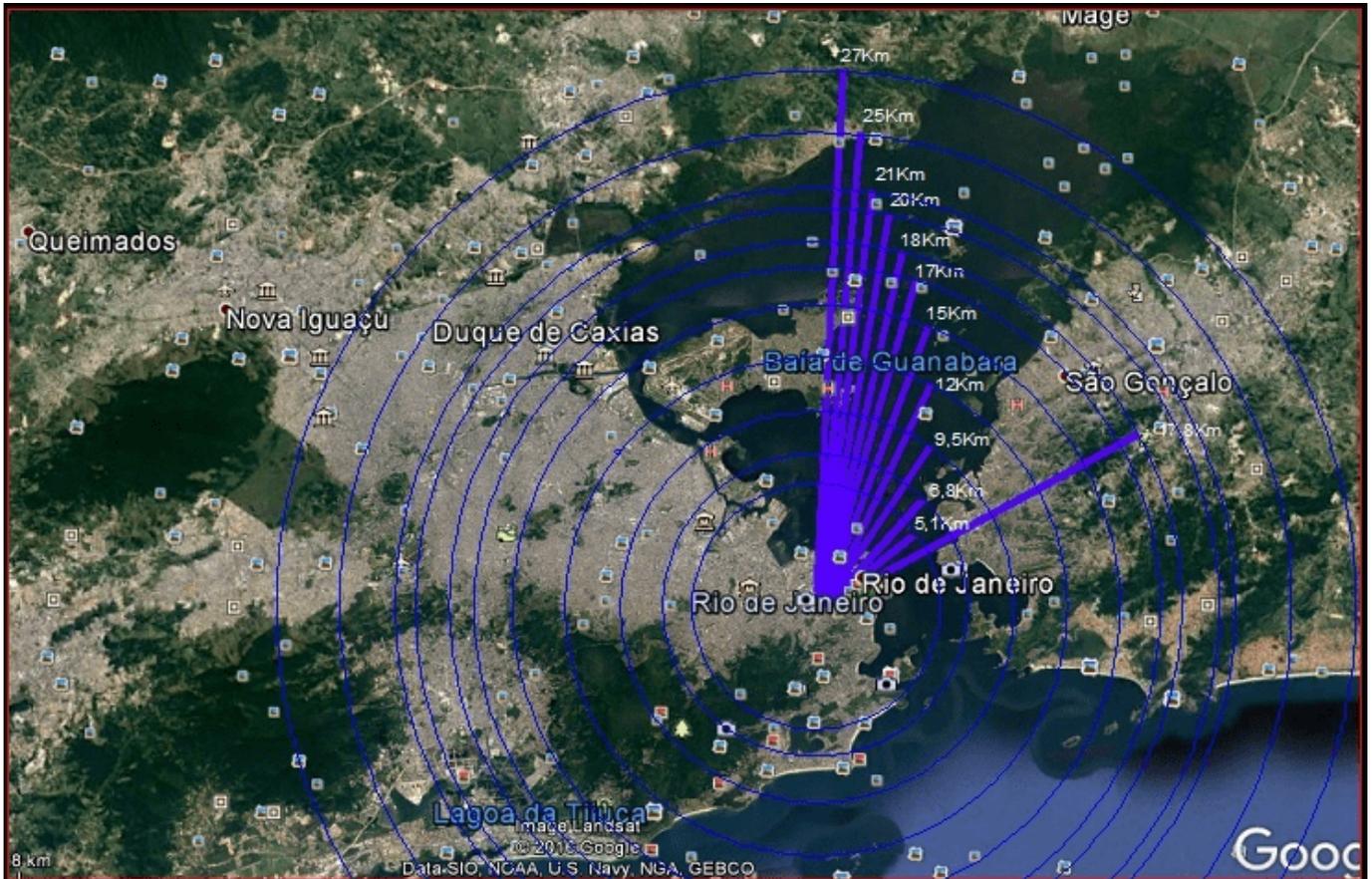
Gestão de riscos em dispersões atmosféricas de radionuclídeos provocadas por incêndios em irradiadores de sangue

PARÂMETRO	/ALOR (mSv)	OBSERVAÇÕES
Limite anual para público em situação operacional normal	1	Dose acima da radiação natural. Não inclui aplicações médicas. Ref.: Norma CNEN-NN-3.01.
Aplicações médicas (excluindo radioterapia)	0,03 a 2,0	Média anual Ref.: UNSCEAR 2008
Radiação natural	2,4	Média anual. Ref.: UNSCEAR 2008. Algumas regiões apresentam níveis até 5 vezes maiores, por exemplo, a cidade de Guarapari, ES.
Limite anual para indivíduo ocupacionalmente exposto (trabalhador)	20	Média em 5 anos. Não pode exceder 50 mSv em um único ano. Ref.: Norma CNEN-NN-3.01.
Nível de ação para evacuação de população em situações de emergência	50	Dose a ser evitada. Monitoração no local: taxa: 1 mSv/h. Ref.: Norma CNEN-NN-3.01 PR-006.
Limite de dose em situações de emergência para executar ações para prevenir o desenvolvimento de situações catastróficas	100	Com exceção das ações para salvar vidas. Ref.: Norma CNEN-NN-3.01.
Referência para aparecimento de efeitos observáveis	1.000	Os efeitos observados podem ser astenia, náuseas, vômitos.
Dose de corpo inteiro mais alta recebida por uma das vítimas do acidente radiológico em Goiânia, 1987	8.000	A vítima faleceu tempos depois.

Fonte: CNEN (2011)

Também é possível conhecer as distâncias em que foram verificadas as doses, e, dessa forma, estimar e localizar geograficamente as áreas e a população afetada, conforme se pode observar na Figura 1, cujas circunferências que delimitam raios das máximas distâncias de dose externa para cada altura de lançamento permitem a adoção de medidas de redução de riscos para possíveis ocorrências.

Figura 1: Delimitação de raios das máximas distâncias de dose, para limite de controle operacional externo



Fonte: Silva (2017)

As informações apresentadas ressaltam a importância de não se permitir a eclosão dos incêndios e, ainda mais, a necessidade de se controlar as ações de resposta, de modo reduzir os danos, sendo recomendada a adoção de medidas de prevenção, preparação, mitigação e resposta.

3. METODOLOGIA

A utilização de um cenário hipotético, previamente estudado por Silva (2017), que mais se assemelha a uma possível ocorrência, tendo por base estudos e registros de dispersões atmosféricas de radionuclídeos no mundo, sejam eles de modo acidental, como um incêndio, ou proposital, como por um dispositivo de dispersão radiológica (RDD). O cenário construído tem suas variáveis extraídas de fontes oficiais, como de dados populacionais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), da fonte radioativa, coletados nos documentos da

Agência Internacional de Energia Atômica, dentre outros, os quais são inseridos em sistemas computacionais e apresentam resultados relativos às doses de radiação, área afetada e, conseqüentemente, a população exposta, de acordo com os parâmetros meteorológicos inseridos.

A gestão dos riscos será analisada com base na abordagem heurística com vistas à verossimilhança esperada entre um cenário hipotético e uma situação real, permitindo, dessa forma, elencar as fortalezas e fraquezas, que, por sua vez, serão analisadas por uma matriz de Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças (SWOT), respeitando, ainda, as considerações da literatura empregada no que tange a Proteção e Defesa Civil. A identificação, e, conseqüentemente, a análise das equipes de resposta e suas respectivas ações permite que sejam observadas as iniciativas técnicas necessárias às melhores práticas na redução de riscos de desastres oriundos da dispersão atmosférica de radionuclídeos por ocasião de incêndios em irradiadores de sangue.

Desse modo, pretende-se encontrar a metodologia de gestão de riscos que melhor se adapta a um cenário de dispersão de radionuclídeos provocada por um incêndio em um irradiador de sangue, riscos esses que, se configuradas as ocorrências, são considerados desastres tecnológicos de grandes conseqüências à população e envolvem ações de resposta de diversos órgãos como Corpo de Bombeiros Militar, Exército Brasileiro e Comissão Nacional de Energia Nuclear. De posse das informações relativas a um possível evento de dispersão e em razão da conseqüente exposição à radiação, pode-se tratar os dados e os distribuir, apresentando recomendações a partir de ações de prevenção, preparação, mitigação, resposta e recuperação, de modo a favorecer a proteção do público potencialmente afetado.

O método de coleta de dados de ocorrências de dispersões atmosféricas será desenvolvido por meio de consulta à periódicos, artigos científicos, revistas científicas e notas técnicas de instituições atuantes no controle dos diversos processos que envolvem materiais radioativos, desde sua produção até seu acondicionamento como rejeitos. A área delimitada para a dispersão carreando radionuclídeos encontra-se presente no trabalho de Silva (2017) e foi simulada pelo código *HotSpot Health Physics 3.0.3*, desenvolvido pelo laboratório americano *Lawrence Livermore National Laboratory - LLNL*, o qual mostra a liberação na atmosfera de materiais radioativos pela estimativa da concentração e dose de radionuclídeos por meio de um modelo conservativo (HOMANN, 2013).

O código permite conhecer a área afetada, e, com dados do IBGE, pode-se conhecer a população potencialmente afetada e sua respectiva dose, viabilizando a adoção de medidas protetoras para a população e para os agentes de resposta. As ações de resposta com material radioativo envolvem diversas agências, cujos protocolos são distintos e não difundidos entre as agências. Com o a definição do cenário hipotético é possível, então, conhecer, de modo detalhado, as agências e, ainda, os seus respectivos protocolos, tendo-se como objetivo identificar os procedimentos operacionais a serem padronizados, bem como o sistema empregado para o comando de incidentes mais adequado. Tal identificação fomenta a escolha de uma metodologia apropriada.

Após a análise dos dados, identificou-se a metodologia que permite a gestão dos riscos, viabilizando resultados eficazes acerca das atividades relacionadas à uma possível ocorrência do desastre em tela, possibilitando a adoção de medidas que se baseiem em ferramentas de gestão empresarial preconizadas pelo *Project Management Institute* (PMI) e outras civis e militares disponíveis na literatura. Assim, as ações operacionais desenvolvidas pelas agências poderão ser padronizadas por metodologias internacionais amplamente empregadas e já consagradas no mundo como eficazes, podendo melhorar os processos e garantir o sucesso das operações com produtos de queima de material radioativo com consequente dispersão atmosférica.

4. DESENVOLVIMENTO

4.1 GESTÃO DE RISCO

A gestão dos riscos, tomando por base a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, tem como base ações de prevenção, preparação, mitigação, resposta e recuperação em casos de desastres, sendo essa última não contemplada no presente estudo, devido ao fato de que dispõe sobre ações de baixa participação da Defesa Civil. A Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR ISO 31000:2009, estabelece ferramentas necessárias à gestão de riscos e indica métodos e processos que serão empregados em favor da melhoria dos processos descritos no presente trabalho. Com base na referida NBR, sinteticamente, pode-se dizer que a gestão toma por base os seguintes aspectos:

Gestão de riscos em dispersões atmosféricas de radionuclídeos provocadas por incêndios em irradiadores de sangue

- Conhecer o risco;
- Identificar o risco;
- Planejar respostas;
- Planejar formas de mitigação;
- Monitorar e controlar ações.

Tais aspectos se encontram inseridos nas atividades de prevenção, descritas na Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, e, assim, tendem a reduzir as consequências dos efeitos danosos provenientes de um possível evento adverso que venha a atingir um equipamento de irradiação de sangue. Como já comentado, de forma sintética, o risco pode ser descrito como todo evento capaz de afetar os objetivos nos níveis estratégico, tático e operacional, podendo ser apresentados da seguinte maneira:

Tabela 2: Risco de dispersão atmosférica de radionuclídeos provocada por incêndio em equipamentos de irradiação de Sangue

Causa	Evento	Consequências
Incêndio em irradiador de sangue	Dispersão atmosférica de radionuclídeos	Alcance da pluma com dose de 1mSv em até 27Km, podendo chegar a expor mais 346.000 indivíduos ao limite de doses para público em situação operacional normal.
		Aproximadamente 3.900 indivíduos afetados por doses superiores a 50mSv, considerado o nível de ação para evacuação da população em situação de emergência.
		Cerca de 1.800 indivíduos afetados por doses superiores a 100mSv, considerado o limite de dose em situações de emergência para executar ações para prevenir o desenvolvimento de situações catastróficas
		Excesso de Risco Relativo em até 15 indivíduos a 200m da fonte para doses agudas, mostrando a necessidade de preocupação com a população fixa do prédio e com os respondedores
		Excesso de Risco Relativo em até 45 indivíduos para baixas doses, isto é, para a população fluminense em geral

Fonte: Silva (2017)

A NBR ISO 31000:2009 e a versão da ISO 9001 mencionam ferramentas de gestão e apontam a matriz de forças, fraquezas, oportunidades e ameaças, conhecida como *SWOT*, representando a sigla das palavras da língua inglesa *Strengths, Weaknesses, Opportunities* e

Gestão de riscos em dispersões atmosféricas de radionuclídeos provocadas por incêndios em irradiadores de sangue

Threats, para análise de cenário ou ambiente que necessitem de gestão estratégica para solução dos problemas. As normas consistem no recolhimento de dados importantes que caracterizam o ambiente interno (forças e fraquezas) e externo (oportunidades e ameaças) e foram compilados pelos autores. Os principais resultados dessa sistematização encontram-se indicados na Tabela 3.

Tabela 3: Matriz SWOT para um evento de incêndio em radiadores de sangue

Gestão de riscos em dispersões atmosféricas de radionuclídeos provocadas por incêndios em irradiadores de sangue

Forças	Fraquezas
Regulação dos equipamentos pela CNEN;	Falta de Conhecimento das fontes e seus respectivos riscos pelos usuários;
Existência de Plano de Proteção Radiológica (PPR);	Falta de amplo conhecimento das informações constantes no Plano de Proteção Radiológica (PPR), inclusive dos órgãos de resposta;
Existência de órgãos especializados em resposta a emergências radiológicas;	Falta de planos de ações integradas entre os órgãos de resposta à emergências radiológicas;
Previsão legal de existência de dispositivos preventivos em edificações;	Falta de dispositivos preventivos específicos para evitar dispersão de material radioativo;
Existência de pessoal de formação acadêmica elevada nos profissionais que trabalham nos locais que possuam irradiadores de sangue;	Falta de treinamento e capacitação específica para os profissionais que trabalham nos locais que possuam irradiadores de sangue;
Existência de protocolos de operações de combate a incêndios, operações com produtos perigosos, proteção radiológica e defesa radiológica;	Falta de protocolos de ações integradas entre os órgãos de operações com produtos perigosos, proteção radiológica e defesa radiológica;
Existência de normas da ANVISA para manutenção de equipamentos irradiadores de sangue por profissionais qualificados;	Falta de segurança patrimonial focada na proteção da fonte;
Existência de obrigações legais quanto a segurança do trabalho que estabeleçam medidas de proteção de riscos ambientais e saúde ocupacional.	Falta de ações específicas para ambientes sob risco de exposição a radiação nos documentos de proteção de riscos ambientais e saúde ocupacional em locais dotados de irradiadores.
Oportunidades	Ameaças
Predefinição de cenário de dispersão atmosférica de radionuclídeos e consequências favorecendo adoção de medidas eficazes;	Desconhecimento das consequências de um cenário específico de dispersão de radionuclídeos;
Possibilidade de triagem da população com baseada na predefinição de cenários e estudos prévios;	
Possibilidade de composição de equipes de emergências por profissionais com sexo e idades que reduzam as consequências da exposição à radiação ionizante;	Falta de efetivo disponível para composição de equipes de emergências por profissionais com sexo e idades que reduzam as consequências da exposição à radiação ionizante;
Elaboração de protocolos baseados em informações técnicas específicas para operações eventos de dispersão atmosférica de radionuclídeos de modo individual e integrado das agências de resposta;	Falta de apoio ou empenho institucional na elaboração de protocolos baseados em informações técnicas específicas para operações eventos de dispersão atmosférica de radionuclídeos de modo individual e integrado das agências de resposta;
Elaboração de planos de operações, comunicações, contingências e demais planos empregados em operações de emergências;	Falta de apoio ou empenho institucional na elaboração planos de operações, comunicações, contingências e demais planos empregados em operações de emergências;
Realização de simulados;	Falta de integração, apoio ou empenho institucional na realização de simulados;
Utilização de dispositivos permanente de monitoramento de dose;	Falta de obrigação legal e proatividade na utilização de dispositivos permanente de monitoramento de dose;
Utilização de sistemas alarme para violação da fonte ou presença de níveis de radiação nos ambientes;	Falta de obrigação legal e proatividade na utilização de sistemas alarme para violação da fonte ou presença de níveis de radiação nos ambientes;
Disponibilização de equipamentos de proteção individual e coletiva em ambientes que locais que possuam irradiadores de sangue;	Falta de obrigação legal e proatividade na disponibilização de equipamentos de proteção individual e coletiva em ambientes que locais que possuam irradiadores de sangue;

Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

4.2 PREVENÇÃO

A proteção da queima do Cs-137 em equipamentos de irradiação de sangue pode se basear na preservação da fonte de sua exposição, descrita no presente trabalho. Aponta-se que o número de indivíduos afetados e, também, as doses, podem atingir números expressivos. É importante a proteção patrimonial de modo que os espaços sejam controlados, permitindo-se apenas que pessoas devidamente identificadas tenham acesso ao equipamento, pois embora o mesmo disponha de dispositivos de proteção, o histórico de casos de terrorismo e ação humana para fins bélicos no planeta mostra que é necessária uma atenção especial para fontes radioativas.

A ruptura proposital da fonte, a necessidade de segurança patrimonial adequada e os sistemas de monitoramento por imagens podem ser considerados como formas de prevenção, visto que podem ser verificados os acessos das pessoas no interior do ambiente em que se encontra o equipamento, suas devidas autorizações para manuseio e condições de uso. A limitação de acesso à fonte deve se estender às manutenções corretivas e preventivas do equipamento, uma vez que a legislação permite que empresas terceirizadas as façam e que esse profissional não necessariamente frequenta hospitais que possuem equipamentos de irradiação de sangue.

Considerando que a blindagem pode ser violada por ocasião de um evento adverso, como, por exemplo, um incêndio, é importante que as medidas de prevenção contra incêndio e pânico previstas no Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico (COSCIPI) do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro (CBMERJ) levem em conta ameaças desse tipo. Para que a extinção seja realizada em tempo favorável à proteção de vidas e bens são necessárias medidas de manutenção preventiva e corretiva dos dispositivos e, ainda, o fiel cumprimento da legislação vigente, cabendo melhor avaliação por especialistas frente às consequências aqui mostradas, de forma a garantir a sua eficiência.

Existem, também, documentos que podem ser elaborados de maneira preventiva pelos diversos órgãos públicos e privados que podem auxiliar na prevenção e reduzir as

consequências do desastre, tais como planos de contingências, planos de emprego, planos de operação, programas de prevenção de riscos ambientais e protocolos de procedimentos operacionais padrão.

4.3 MITIGAÇÃO

A mitigação visa reduzir as consequências dos desastres, uma vez que o evento não tenha sido impedido. Por este motivo, com base nas estimativas de doses e do número estimado de afetados e com a consequente dispersão atmosférica de radionuclídeos, bem como considerando o comportamento da dispersão em função da velocidade do vento e altura da pluma, é possível traçar medidas de redução das consequências. Compreende-se que as ações iniciais adotadas num incêndio, inclusive a demora em se identificar uma fonte radioativa, por diversos motivos, podem acarretar certas condições da atmosfera e dados do desastre por meio das simulações realizadas previamente.

Diante desse contexto, algumas estratégias se tornam indispensáveis a fim de identificar a fonte de radiação. A tabulação é uma dessas ferramentas, pois ela compila e apresenta dados que podem servir de base para a tomada de decisão. Pode-se contar algumas informações essenciais, tais como: relativas distâncias em que se verificaram as doses, as doses máximas e a população afetada. A partir desses dados, deve-se adotar medidas de prevenção mais eficientes. Considera-se, também, como essas populações foram afetadas, a fim de se adotar medidas médicas que reduzem os riscos de evolução de quadros clínicos que elevam o risco de morbidade nessas populações.

4.4 PREPARAÇÃO

As medidas de preparação podem estar ligadas à operacionalização das medidas preventivas como capacitação das equipes de resposta e usuários do prédio em questão. Os diversos planos descritos na prevenção terão maior utilidade e resultados mais efetivos quando embasarem simulados operacionais, multidisciplinares e inter agências, permitindo serem conhecidos os pontos fortes e fracos de cada ator, garantindo a possibilidade de correto emprego de recursos e sucesso nas operações. Destaca-se que a organização antecipada da

cadeia de comando, discussões quanto às medidas de coordenação das operações e da logística, em apoio às operações, são importantes e precisam ser atualizadas frequentemente.

O gabinete de gestão de crise, por sua vez, pode ser previamente utilizado e testado por todas as agências que podem ser integradas em uma operação de resposta, sendo fundamental, dessa forma, para que não sejam observadas dificuldades de comunicação, de definição de responsabilidades, de estabelecimento de lideranças, de integração, de fluxos de informação e, também, no que tange o emprego de recursos. Nos Estados Unidos da América, é utilizado o sistema de comando de incidentes conhecido como *Incident Command System - ICS*, cujo sucesso tem motivado a adoção das metodologias por vários países e tem por objetivo:

- Utilizar recursos de gerenciamento, incluindo terminologia comum e estrutura organizacional modular;
- Enfatizar o planejamento ativo por meio do uso de objetivos e plano de ação de incidentes;
- Apoiar os socorristas respondedores por meio do gerenciamento efetivo de informações;
- Utilizar os princípios de cadeia de comando, unidade de comando e transferência de comando;
- Assegurar a utilização plena dos recursos, mantendo o alcance do controle gerenciável, estabelecendo instalações pré-designadas e implementando práticas de gerenciamento de recursos e comunicações integradas.

4.5 RESPOSTA

A resposta baseia-se em ações desde o início do incêndio até a reabilitação do cenário, sendo necessários conhecimento e empenho de todos os órgãos e o emprego de ações de prevenção, mitigação, preparação e o restabelecimento das condições de normalidade. Destaca, ainda, que, nesses casos, as precauções contra a radiação, definidas para as condições normais de trabalho, já não são suficientes. Conseqüentemente, durante a formação desse pessoal, será necessário:

Gestão de riscos em dispersões atmosféricas de radionuclídeos provocadas por incêndios em irradiadores de sangue

- Conhecimento das características da fonte;
- Detectar e medir doses;
- Distinguir irradiação externa e contaminação;
- Conhecer os limites de dose para o indivíduo e para profissionais;
- Conhecer os efeitos da radiação ionizante;
- Conhecer técnicas de descontaminação.

Considera-se, ainda, que por em sua fase inicial não ser possível identificar a ameaça radiológica e sim apenas a ocorrência de um incêndio, os primeiros respondedores, geralmente, são do Corpo de Bombeiros e precisam estar equipados corretamente e ser conhecedores das medidas adequadas ao tipo de ameaça. Os objetivos da resposta inicial são os seguintes:

- Rápida evacuação do prédio;
- Rápida extinção;
- Proteger previamente a população;
- Proteger os respondedores;
- Coletar informações;
- Disseminar informações;
- Definir ações para amplo emprego.

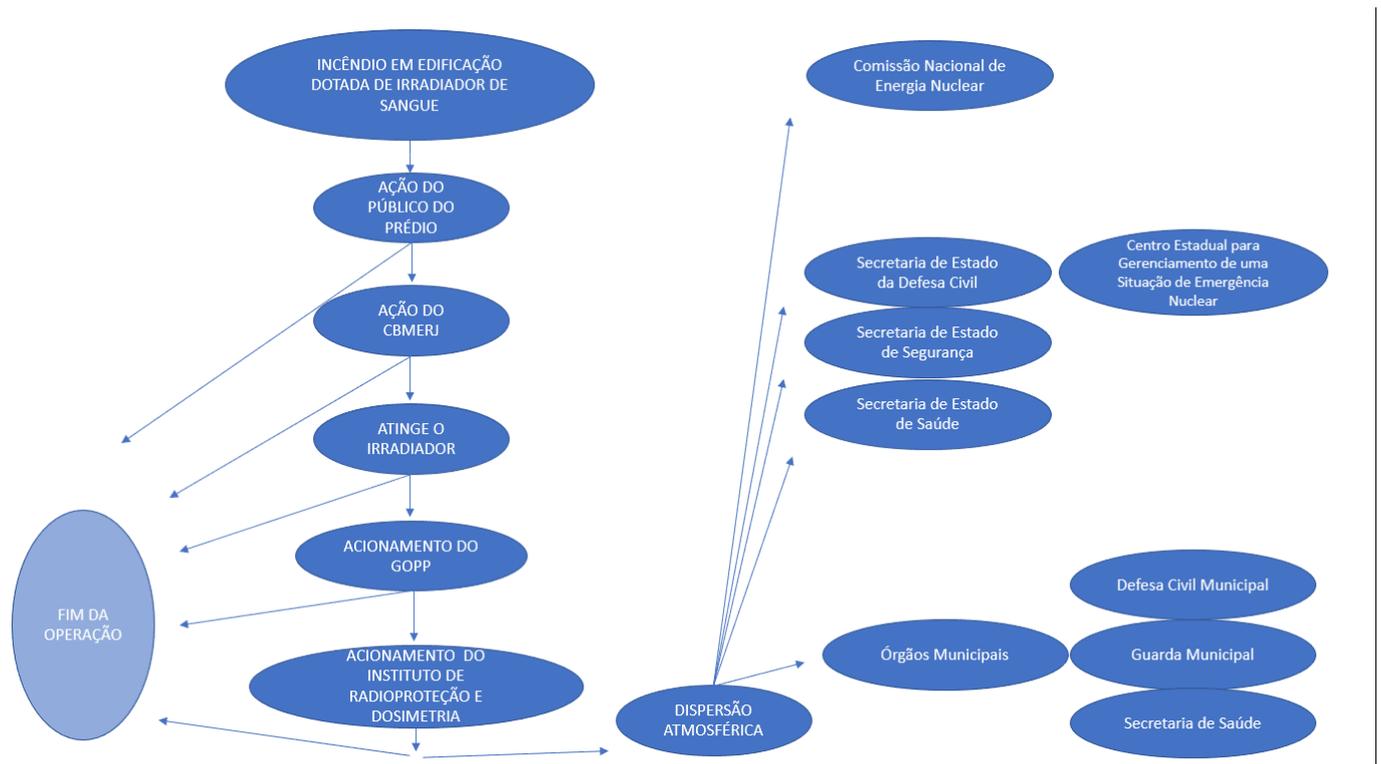
No Estado do Rio de Janeiro, o primeiro órgão a atuar nas ações de resposta a incêndios é o Corpo de Bombeiros Militar, devido ao não conhecimento do material a queimar e às suas atribuições legais, conforme lei estadual de número 250, de 02 de julho de 1979, em que atribui ao órgão as competências, dentre elas a extinção de incêndios. Considerando, ainda, que por, em sua fase inicial, não ser possível identificar a fonte radioativa e sim apenas a ocorrência de um incêndio, os profissionais de primeira resposta tendem a ser do Corpo de Bombeiros e precisam estar equipados corretamente e ser conhecedores das medidas adequadas quando identificarem uma ameaça desta natureza.

A Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) possui, em sua estrutura, o Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD), o qual dispõe de serviço de emergência especializado, inserido na estrutura da Divisão de Atendimento a Emergências Radiológicas e Nucleares (DIEME) funcionando 24h por dia para averiguar e atuar na constatação de existência de acidente de origem radiológica ou nuclear. Por ser um órgão de atuação técnica específica,

há bastante demandas pelas suas operações, quando identificada a possibilidade de que um grupo será afetado ou em razão do comprometimento da fonte em caso de incêndio.

Diante da capacidade de mobilização logística e operacional e tratando-se de casos que podem ter por consequência a denotação de fragilidade à segurança nacional, o Batalhão de Defesa Química, Biológica, Radiológica e Nuclear também tende a atuar nas ações de resposta a emergências relacionadas às desse tipo de evento. As ações de resposta tendem a ser essencialmente desempenhadas por esses três órgãos, necessitando de uma estrutura de integração adequada para as diversas atividades a serem empregadas e descritas no presente trabalho. O fluxo na atuação de resposta se encontra na figura 2.

Figura 2: Fluxograma de operação resposta a incêndio em irradiadores de sangue



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Outros órgãos tendem a atuar de forma auxiliar, tais como isolamento da área, guarda e proteção de bens, saúde pública, remoção e transferência de enfermos, comunicações, dentre outros, cabendo a correta integração, que pode ser obtida por meio da aplicação dos

planos já descritos. Ainda com base em Silva (2017), em seu estudo que se atenta às consequências do incêndio em equipamentos de irradiação de sangue, a composição das equipes de resposta pode ser feita levando em consideração a idade dos respondedores, priorizando-se os de idade mais elevada e evitando-se a composição por mulheres, devido à maior vulnerabilidade a baixas doses de radiação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um cenário de incêndio envolvendo material radioativo pode provocar danos não apenas às pessoas que estejam próximas à fonte, mas também à população que possa receber a fumaça que é determinada em grande extensão pela dispersão atmosférica. Estudos envolvendo plataformas estanques de forma integrada representam uma tendência moderna de convergência de capacidades, sendo indicadas como metodologia de convergência, porém ainda são raros os trabalhos encontrados com este mote na literatura especializada. O conhecimento das possíveis consequências de um desastre provocado pela queima da fonte permite que os respondedores possam elaborar procedimentos de trabalho integrados, verificando as melhores práticas, procedimentos, equipamentos e técnicas capazes de proteger a população afetada e o meio ambiente e, sobretudo, o apoio aos órgãos de controle de doenças e estudos epidemiológicos na projeção de novos casos de doenças como a leucemia que podem ter conexão com o fato é essencial.

Alguns procedimentos de controle podem auxiliar na redução de riscos, principalmente aqueles que fazem usos de ferramentas consagradas na literatura, como as matrizes SWOT, a elaboração de manuais específicos para as ações de prevenção e preparação e os planos operacionais, de emprego e de contingências, ficando as possibilidades de ocorrência do evento adverso, bem como os danos possíveis reduzidos e/ou controlados com mais facilidade. Esta análise projeta consequências sobre diversos setores da administração pública como a Saúde e Economia, que, por exemplo, terão melhores condições de prever necessidades orçamentárias para atender possíveis demandas em termos de tratamento e recuperação. Estas são ideias que podem orientar futuros trabalhos institucionais que possam a reduzir os riscos de agravamento das consequências por meio de ações de prevenção, preparação, mitigação e resposta ficam como sugestão.

REFERÊNCIAS

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. Análise Energética e Dados Agregados. Brasília: Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2013.

BELLASIO, R; BIANCONI, R. RTMOD: An Internet based system to analyze the predictions of long-range atmospheric dispersion models. Computers & Geosciences, v. 25, p. 819-833, 1999.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR; Ministério da Ciência e Tecnologia. Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica. Norma CNEN-NN-3.01:2011. Rio de Janeiro: CNEN, 2011.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR; Ministério da Ciência e Tecnologia. Fatores de Ponderação para as Grandezas de Proteção Radiológica. Posição Regulatória 3.01/002:2011. Rio de Janeiro: CNEN, 2011.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR; Ministério da Ciência e Tecnologia. Medidas de Proteção e Critérios de Intervenção em Situações de Emergência. Posição Regulatória 3.01/006:2011. Rio de Janeiro: CNEN, 2011.

CORPO DE BOMBEIROS – POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO (CB-PMESP). Segurança estrutural nas edificações – resistência ao fogo dos elementos de construção. Instrução Técnica do Corpo de Bombeiros. IT 08:04. São Paulo: Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública, 2004.

CORPO DE BOMBEIROS – POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO (CB-PMESP). Carga de Incêndio nas Edificações e Áreas de Risco. Instrução Técnica do Corpo de Bombeiros. IT 14:10. São Paulo: Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública, 2004.

CORPO DE BOMBEIROS – POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO (CB-PMESP). Controle de Fumaça. Instrução Técnica do Corpo de Bombeiros. IT 15:04. São Paulo: Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública, 2004.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (CBMERJ). Código de

Prevenção Contra Incêndio e Pânico. Rio de Janeiro: Secretaria de Estado de Defesa Civil, 2000.

COSTA, C. N. Estruturas de concreto em situação de incêndio. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Estruturas) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

COSTA, C. N; SILVA, V. P. O método do tempo equivalente para o projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. *In: 47º Congresso Brasileiro do Concreto, 2005a.*

COSTA, C. N; SILVA, V. P. A importância da compartimentação e suas implicações no dimensionamento das estruturas de concreto para situação de incêndio. *In: 47º Congresso Brasileiro do Concreto, 2005b.*

COSTA, C. N; SILVA, V. P. Recomendações para o dimensionamento de elementos de concreto à flexão simples em situação de incêndio. *In: VI Simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto, 2006.*

HOMANN, S. G. HotSpot Health Physics Code Version 3.0 User's Guide Estados Unidos: Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. Censo 2010. População residente, total, urbana total e urbana na sede municipal, em números absolutos e relativos, com indicação da área total e densidade demográfica, segundo os municípios -Rio de Janeiro -2010. Tabela 2.1.19. IBGE. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER-INCA. DA SILVA J. A. G.. Incidência de Câncer no Brasil. Rio de Janeiro: Ministério da Saúde, 2014.

INSTITUTO ESTADUAL DE HEMATOLOGIA DO RIO DE JANEIRO - HEMORIO. Projeto de Adequação do Hemocentro Público. Avaliação Pós-Ocupação, Diagnóstico Energético e Etiquetagem do Nível de Eficiência Energética. Brasília: IEHRJ, 2012.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY-IAEA. Categorization of Radioactive Sources. IAEA -TECDOC -1344. 2003.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY-IAEA. Methods for Estimating the Probability of Cancer from Occupation Radiation Exposure. TECDOC -870. 1996.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). Fire-Resistance Tests - Elements of Building Construction - Part 1.1: General Requirements for Fire Resistance Testing. ISO 834. Geneva: ISO/TC, 1990.

LAWRENCE WEBSTER FORREST (LWF). Fire resistance testing. LWF Bulletin ARC06. Londres: Lawrence Webster Forrest Ltd, 2000.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL; Secretaria Nacional de Defesa Civil. Glossário de Defesa Civil, estudos de riscos e medicina de desastres. Brasília: MI, 2007.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL; Secretaria Nacional de Defesa Civil. Conferência geral sobre desastres: para prefeitos, dirigentes de instituições públicas e privadas e líderes comunitários. Brasília: MI, 2007.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL; Secretaria Nacional de Defesa Civil. Manual de planejamento em Defesa Civil. 4ª ed. Brasília: MI, 2007.

MITROFF, I. I. Managing Crises Before They Happen: What Every Executive and Manager Needs to Know About Crisis Management. Nova Iorque: Amacom, 2001.

REUTERS. L., Polícia procura cápsula radioativa roubada de fábrica no Rio. 2004. Disponível em: <http://noticias.uol.com.br/ultnot/reuters/2004/04/27/ult27u41789.jhtm>. Acesso 15 jul. 2016.

SANTOS. J. A.; CARVALHO, H. G. Referencial brasileiro de competências em gerenciamento de projetos. Curitiba: ABAP, 2006.

SANTOS. J. R.; QUALHARINE. E. L. Proteção Contra Incêndio em Instalações Nucleares - Fator de Integração da Segurança. In: XII SIMPEP, 2005.

SILVA, R. W. da. Estudo de cenário envolvendo incêndio em material radioativo orientado à resposta à emergência. 2017. 68f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia

Nuclear) – Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro, 2017.

YVES P.; BRUTSAERT H. Working with Wilfried Brutsaert: some old and new results on radiative dissipation of temperature-uctuations and scalar similarity in the Surface Layer. *In: Hydrologic Discovery Through Physical Analysis*, 2012.

[1] Especialização em Engenharia da Qualidade com ênfase em Gestão pela Faculdade de Paraíso do Norte; Especialização em MBA em Gerenciamento de Projetos pela Faculdade UniBF e Graduada em Engenharia de Produção pela Universidade Veiga de Almeida.

[2] Especialização em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistema de Automação pela Universidade Cândido Mendes; Especialização em Engenharia Elétrica com ênfase em Instalações Elétricas Residenciais pela Faculdade UniBF e Graduação em Engenharia Elétrica – Habilitação em Sistemas de Potência pela Universidade Federal de Juiz de Fora.

[3] Mestrado em Engenharia Nuclear pelo Instituto Militar de Engenharia, especialização em Obras públicas: planejamento e gestão pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, especialização em Engenharia Legal, Avaliações e Perícias Judiciais pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, especialização em Patologias de Estruturas e Edificações pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, especialização em Gerenciamento Operacional nas Organizações pelo Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro, graduação em Engenharia Civil pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro, graduação em Curso de Formação de Oficiais pelo Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro.

[4] Graduação em Curso de Formação de Oficiais pelo Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro.

Enviado: Abril, 2020.

Aprovado: Maio, 2020.