

TRABALHADORES EXPOSTOS À RADIAÇÃO IONIZANTE: UMA REVISÃO DA LITERATURA

Karylane Rayssa de Oliveira Pessoa Araújo¹;

Secretaria de Estado de Saúde pública (SESAP), Natal, RN.

<http://lattes.cnpq.br/7241177291195297>

Fernanda de Medeiros Fernandes Dantas²;

Secretaria de Estado de Saúde pública (SESAP), Natal, RN.

<http://lattes.cnpq.br/4684755098407739>

Júlia Maria de Lira³;

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, RN.

<https://lattes.cnpq.br/4091808427826032>

Karla Maria Falcão Lima⁴.

Secretaria de Estado de Saúde pública (SESAP), Natal, RN.

<http://lattes.cnpq.br/6764901814538822>

RESUMO: Introdução: A radiação ionizante é um termo amplo e refere-se a qualquer tipo de radiação que tenha a capacidade de ionizar átomos ou moléculas do material que atravessa. É amplamente utilizada, especialmente em serviços de saúde para diagnóstico médico e odontológico. E, embora traga benefícios consideráveis para a saúde, também apresenta riscos significativos e irreversíveis quando não são adotadas as devidas precauções de proteção radiológica. Objetivo: Identificar os riscos à saúde dos trabalhadores(a)s ocupacionalmente expostos à radiação ionizante, apontando as principais estratégias de prevenção e controle para minimizar esses riscos. Metodologia: Estudo bibliográfico, tipo revisão de literatura, que sistematizou as evidências existentes na literatura sobre os riscos à saúde dos trabalhadores expostos à radiação ionizante e as estratégias de prevenção. Resultados e discussão: A energia ionizante apresenta riscos quando não são adotadas as precauções de proteção radiológica. Os impactos no corpo variam conforme o tempo e intensidade da exposição, com consequências a longo prazo, tais como alteração de DNA, na glândula tireóide, desenvolvimento de células cancerígenas, dentre outras consequências. Conclusão: É fundamental a adoção de medidas preventivas, como treinamento adequado, uso constante de equipamentos de proteção individual, monitoramento contínuo da exposição à radiação e vigilância médica periódica.

PALAVRAS-CHAVE: Radiação. Saúde ocupacional. Trabalhador.

WORKERS EXPOSED TO IONIZING RADIATION: A LITERATURE REVIEW

ABSTRACT: Introduction: Ionizing radiation is a broad term that refers to any type of radiation that has the ability to ionize atoms or molecules of the material it passes through. It is widely used, especially in health services for medical and dental diagnosis. Although it brings considerable health benefits, it also presents significant and irreversible risks when the appropriate radiological protection precautions are not adopted. Objective: To identify the health risks of workers occupationally exposed to ionizing radiation, pointing out the main prevention and control strategies to minimize these risks. Methodology: Bibliographic study, literature review type, that systematized the existing evidence in the literature on the health risks of workers exposed to ionizing radiation and prevention strategies. Results and discussion: Ionizing energy poses risks when radiation protection precautions are not adopted. The impacts on the body vary according to the time and intensity of exposure, with long-term consequences, such as DNA alteration, thyroid gland damage, development of cancer cells, among other consequences. Conclusion: It is essential to adopt preventive measures, such as adequate training, constant use of personal protective equipment, continuous monitoring of radiation exposure and periodic medical surveillance.

KEYWORDS: Radiation. Occupational health. Worker.

INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização Pan-Americana de Saúde (OPAS), diversos fatores, no ambiente laboral, podem ocasionar doenças relacionadas ao trabalho, sendo classificados em fatores de riscos químicos, biológicos, ergonômicos, psicossociais, físicos, mecânicos e de acidentes (BRASIL, 2001).

Os agentes físicos estão relacionados a diferentes tipos de energia que os trabalhadores podem estar expostos, incluindo vibração, pressão, ruído, temperaturas extremas, radiações não ionizantes e radiações ionizantes (BRASIL, 2001).

No tocante a radiação ionizante, trata-se de um termo amplo e refere-se a qualquer tipo de radiação que tenha a capacidade de ionizar átomos ou moléculas do material que atravessa. Essa interação com a matéria biológica tem capacidade de gerar danos às células e aos tecidos (HILL, 2019).

A radiação, embora traga benefícios consideráveis para a saúde, também apresenta riscos significativos quando não são adotadas as devidas precauções de proteção radiológica. A exposição inadequada pode resultar em danos irreversíveis à saúde humana, sendo importante que os profissionais envolvidos possuam formação especializada e estejam cientes das medidas de proteção necessárias para evitar consequências graves (GOMES; PINHAL, 2015).

A radiação ionizante exige uma monitorização rigorosa, pois, por ser invisível aos sentidos humanos, seus efeitos biológicos podem ser prejudiciais, e o uso de equipamentos de detecção é imprescindível pensando na saúde do trabalhador. Vale salientar que o corpo humano pode ser exposto à radiação por fontes externas ou por contaminação interna, que ocorre através da ingestão, inalação, absorção pela pele ou injeção de radionuclídeos (HILL, 2019).

Este tipo de radiação é amplamente utilizada em várias áreas laborais como em serviços de saúde para diagnóstico médico e odontológico; em tratamento médico; nas indústrias para monitoramento de processos, como a medição de nível, espessura e gramatura de materiais; na radiografia industrial para avaliação de soldas e peças, esterilização de produtos e alimentos; e também na medição de umidade e densidade do solo (SOUTO, 2017).

Diante disso, a norma brasileira de proteção radiológica, estabelecida pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), determina que os indivíduos ocupacionalmente expostos (IOE) sigam rigorosamente as normas de radioproteção e segurança radiológica. Eles devem participar de treinamentos garantindo que suas atividades sejam realizadas de acordo com os requisitos estabelecidos, além de fornecer informações sobre seu trabalho, incluindo o histórico de doses recebidas, a fim de assegurar que os limites anuais de exposição não sejam excedidos, devem informar caso estejam submetidos a tratamentos médicos que envolvam radiação ionizante e abster-se de ações que possam comprometer a segurança radiológica (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2024).

Considerando que o uso impróprio ou a exposição excessiva à radiação ionizante podem causar diversos danos ao organismo vivo, bem como que a proteção e promoção à saúde do trabalhador é temática relevante e pertinente, procurou-se realizar um levantamento bibliográfico com foco na saúde do trabalhador.

OBJETIVO

Dessa forma, o objetivo deste estudo é identificar quais os riscos à saúde dos trabalhadores (as) ocupacionalmente expostos à radiação ionizante apontando as principais estratégias de prevenção e controle adotadas para minimizar esses riscos.

METODOLOGIA

Trata-se de um estudo bibliográfico, qualitativo, do tipo revisão de literatura, com o objetivo de sintetizar as evidências existentes na literatura sobre os riscos à saúde dos trabalhadores expostos à radiação ionizante e as estratégias de prevenção e sistematizá-las.

A busca dos artigos ocorreu no mês de Janeiro/2025 nas bases de dados PubMed,

SciELO e Google Scholar. Os termos utilizados nas buscas incluíam combinações de palavras-chave, como “occupational exposure” OR “workers exposed” AND “ionizing radiation” AND “health risks” OR “radiation risks”. Foram encontrados um total de 5.016 artigos, sendo 317 na base de dados PubMed, 9 no Scielo e 4.690 no Google Scholar.

A questão de pesquisa orientativa para escolha/seleção dos artigos encontrados foi: quais os riscos à saúde dos trabalhadores expostos à radiação ionizante e que estratégias de prevenção podem ser adotadas para minimizar esses riscos?

Para seleção, adotou-se os seguintes critérios de inclusão: texto disponibilizado online na íntegra, gratuitamente, publicado nos últimos 10 anos e que abordasse a temática proposta. Foram excluídos trabalhos publicados em eventos e artigos que estivessem repetidos na busca da mesma base, além daquelas publicações que não abordassem o recorte temático desejado.

Dessa forma, após aplicação dos critérios de inclusão e exclusão foram selecionados 18 artigos. Além disso, foram utilizados artigos citados por outros autores nos trabalhos selecionados para fins de enriquecimento do conteúdo discutido. Além de teses e dissertações que abordassem a temática.

A partir do material selecionado, foi realizada a análise das informações por meio da leitura exploratória e construído os resultados, que serão apresentados a seguir.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A radiação ionizante é caracterizada como ondas eletromagnéticas de alta frequência com um curto intervalo entre elas. Devido a sua energia, essas ondas têm a capacidade de remover elétrons dos átomos, gerando então íons positivos e negativos. Esse processo de ionização se caracteriza como um início dano biológico provocado pela radiação ionizante, uma vez que a remoção de elétrons leva a alterações nas moléculas e pode desencadear na sua alteração genética em função do tipo de radiação, do tempo de exposição, da dose absorvida e a intensidade da fonte de radiação (OKUNO, 2013; BORGES, 2023).

De acordo com Durante (2021), os impactos da radiação ionizante no corpo variam conforme o tempo e a intensidade da exposição, e suas consequências não são percebidas de imediato. O tempo prolongado de exposição pode resultar em efeitos cancerígenos e teratogênicos. PRZYBYSZEWSKI (2008) acrescenta que, apesar de diferentes tipos de células apresentarem sensibilidades distintas à radiação, o padrão de morte celular causado pela radiação geralmente é dose-dependente. Dessa forma, doses baixas costumam provocar apoptose, enquanto doses altas tendem a induzir necrose celular.

Assim, os efeitos celulares, como a morte celular, estão relacionados não apenas à quantidade de radiação, mas também ao tipo de célula e ao momento em que ela se encontra no ciclo celular (JIAO, 2022).

A molécula do DNA, por ser responsável pela codificação da estrutura molecular de todas as enzimas da células, torna-se a molécula central no processo de ocorrência de danos biológicos. O DNA pode ser danificada pela radiação de forma direta (afetando a estrutura do açúcar no DNA) e indiretamente (através do estresse oxidativo causado pela ionização das moléculas de água), isso resulta em diferentes tipos de danos ao DNA como nas ligações cruzadas entre moléculas, alterações nas bases, quebras de fita simples e quebras de fita dupla as DSB. Quando as DSBs não são reparadas ou são reparadas de maneira inadequada causam alterações na sequência de DNA, ou seja, mutações genéticas. Essas mutações são consideradas o principal evento que leva a efeitos biológicos deletérios, que mesmo em baixas doses resultam em um aumento tanto na probabilidade de desenvolver cânceres quanto nas taxas de doenças hereditárias (TAO, 2024).

Em um estudo atualizado de trabalhadores nucleares na França, no Reino Unido e nos EUA, apontam um aumento linear na taxa relativa de câncer à medida que a exposição à radiação aumentava. O estudo também oferece evidências que sustentam a existência de uma relação linear entre a exposição prolongada a baixas doses de radiação ionizante e a mortalidade por câncer sólido (RICHARDSON, 2023). Além dos riscos de câncer, há um número crescente de evidências sugerindo que exposições a doses baixas e moderadas de radiação também estão associadas a um maior risco de doenças não cancerígenas, como as doenças circulatórias, cataratas e efeitos neurológicos (TAPIO, 2021).

TAPIO (2021) afirmam que evidências indicam uma ligação entre a exposição à radiação e o desenvolvimento de complicações metabólicas em sobreviventes de câncer que foram expostos a altas doses de radioterapia localizadas ou na forma de irradiação corporal total. No mesmo estudo, fornecem dados que sustentam uma ligação causal entre a exposição aguda a altas doses e a exposição crônica a baixas doses de radiação, com grande parte dos diversos tipos de doenças circulatórias, especialmente doença cardíaca isquêmica e doença cerebrovascular. No entanto, há uma escassez de conhecimento sobre os possíveis mecanismos celulares e moleculares, assim como sobre as conexões entre a exposição à radiação e os efeitos circulatórios e metabólicos subsequentes, isso de dá pelos anos de intervalo de latência entre a exposição à radiação e o surgimento de sintomas clinicamente relevantes, juntamente com a complexidade dos desfechos clínicos, o que dificulta a identificação das mudanças celulares e moleculares iniciais envolvidas no desenvolvimento de efeitos tardios significativos. (TAPIO, 2021).

Em um estudo de coorte foi acompanhado 326 trabalhadores por 12 anos com o objetivo de avaliar possíveis alterações nos hormônios tireoidianos séricos e determinar se há um efeito dose-resposta e concluíram que, embora a exposição fosse de baixa intensidade o contato ocupacional com radiação ionizante entre profissionais de saúde pode estar relacionado à redução nos níveis séricos de T3 e T4 (WONG, 2019). Porém em um estudo mais recente, constataram que há poucas evidências relacionadas à correlação entre radiação ionizante de baixa dose e a disfunção tireoidiana. No entanto, é evidente

que mesmo com exposição a doses baixas, há um impacto negativo nas atividades da glândula tireóide (COLAPRICO, 2025).

No contexto de um trabalho científico onde foram obtidas amostras de sangue de 106 trabalhadores de radiação médica com idade variada de 24 a 58 anos, no qual a dose efetiva média anual foi de $0,58 \pm 1,18$ (0,09—10,71) mSv, concluíram que a exposição ocupacional crônica à baixa dose de radiação pode impactar os níveis de hemácias, hemoglobina, 2,3-DPG e GSH em trabalhadores expostos à radiação. Com isso torna-se crucial monitorar os glóbulos vermelhos dos trabalhadores expostos devido à relevância das hemácias para a saúde, porém, os efeitos dessas alterações na saúde dos trabalhadores ainda não são totalmente compreendidas (TIAN, 2022).

Outra complicação que pode afetar os trabalhadores da saúde, especialmente cardiologistas intervencionistas, expostos à radiação ionizante é a catarata ocupacional. Estudos indicam ainda que há uma relação dose-dependente entre a exposição à radiação e a frequência de opacidades na lente ocular posterior. Para garantir uma proteção ocular eficaz, é fundamental adotar medidas de treinamento contínuo, seguir rigorosamente os protocolos de proteção, incluindo o uso de protetores e Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) para os olhos, utilizar dosímetros pessoais de forma regular e realizar monitoramento médico periódico, que pode envolver a avaliação das lentes oculares. Essas ações são essenciais para prevenir o desenvolvimento da catarata a longo prazo entre esses profissionais (DELLA VECCHIA, 2020).

De acordo com a Norma Regulamentadora NR 32/2005, do Ministério do Trabalho e Emprego, é responsabilidade dos gestores dos serviços que utilizam radiação ionizante garantir a prevenção de acidentes e evitar exposições acidentais. A norma estabelece que os hospitais devem contar com um comitê de proteção radiológica, composto, no mínimo, pelo Supervisor de Proteção Radiológica, um representante da direção do hospital e um médico especialista de cada unidade que utiliza radiações ionizantes. A Portaria nº 453, de 1998, também reforça a responsabilidade dos empregadores e gestores pela implementação da legislação vigente, assegurando a proteção tanto dos trabalhadores quanto dos pacientes e do público. Além disso, é imperativo que os profissionais expostos à radiação recebam treinamento contínuo em radioproteção e técnicas radiológicas para preservar sua integridade de saúde (MEDEIROS, 2015). A Norma Regulamentadora NR-32 orienta que os profissionais da área, como radiologistas e tecnólogos, adotem medidas de redução do tempo de exposição, monitorem a dose de radiação absorvida e estejam adequadamente treinados para suas funções (BRASIL, 2023). A radioproteção visa reduzir os riscos associados à exposição às radiações ionizantes, adotando práticas como a escolha de exames radiológicos essenciais, o uso da menor dose possível de radiação e a limitação da radiação às áreas de interesse. Além disso, o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), como a cortina de chumbo, e Equipamentos de Proteção Coletiva (EPCs) são fundamentais para proteger os profissionais e outras pessoas próximas à fonte de radiação (MEDEIROS, 2015).

Estudos sobre a adesão à radioproteção entre profissionais expostos à radiação ionizante revelam a importância de programas de formação e monitoramento contínuos. O estudo de Raposo et al. (2020), realizado em um hospital universitário português, indicou que a adesão à formação em proteção radiológica, aos exames de saúde e ao uso regular de dosímetros foi inferior entre médicos, especialmente nos serviços de pneumologia e pediatria. Os principais fatores apontados para essa baixa adesão foram o esquecimento, a percepção de que outras barreiras de proteção seriam suficientes e o desconforto no uso de EPIs.

Já o estudo de Oliveira (2023), realizado com Cirurgiões-Dentistas de Montes Claros-MG destacou que embora os profissionais utilizem as técnicas radiográficas corretamente, há uma lacuna significativa no conhecimento das normas de radioproteção, o que pode aumentar os riscos. Ambos os estudos ressaltam a necessidade de uma formação eficaz em radioproteção, indicando que a conscientização sobre os riscos e o monitoramento adequado são essenciais para garantir a segurança de profissionais e pacientes. Nesse sentido, a implementação de práticas como o uso de dosímetros e EPIs, aliados a uma formação contínua, se mostra crucial para a evolução da proteção radiológica nas áreas hospitalar e odontológica (COSTA, 2021).

A adoção de medidas preventivas rigorosas, como treinamento adequado, uso constante de equipamentos de proteção individual (EPIs), monitoramento contínuo da exposição à radiação e vigilância médica periódica, é essencial para minimizar os riscos à saúde dos trabalhadores. A implementação dessas práticas de proteção e monitoramento, aliada a um acompanhamento médico especializado, é crucial para garantir a segurança e o bem-estar dos profissionais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A exposição ocupacional à radiação ionizante constitui um risco substancial à saúde dos trabalhadores, especialmente em áreas como a saúde e indústria. Os efeitos biológicos adversos da radiação, como o aumento do risco de neoplasias e mutações genéticas, reforçam a necessidade de uma abordagem rigorosa na aplicação de medidas de proteção radiológica.

As normas regulatórias, como a NR-32 e a Portaria nº 453, desempenham um papel importante na mitigação desses riscos, apontando para a necessidade de treinamento contínuo, monitoramento da dose de radiação absorvida e uso de Equipamentos de Proteção Individual e Coletiva.

Em geral, a adoção de práticas de radioproteção, como a limitação do tempo de exposição e o controle rigoroso das fontes de radiação, é essencial para garantir a segurança dos trabalhadores. Além disso, a dosimetria individual, por meio do uso de dosímetros, constitui uma ferramenta primordial na monitorização da exposição, assegurando que os

limites de dose estabelecidos sejam respeitados.

Nesse sentido, a manutenção de um ambiente laboral seguro requer o cumprimento rigoroso das normas estabelecidas e a conscientização contínua sobre os riscos associados à radiação. A proteção radiológica efetiva depende da implementação integrada de estratégias preventivas, educação contínua e vigilância constante, com vistas a minimizar os danos à saúde dos trabalhadores expostos à radiação ionizante.

Entretanto, na prática, a adesão às práticas recomendadas nas normativas regulamentadoras enfrenta obstáculos para sua adesão, como falhas na formação contínua, o desconforto associado ao uso de EPIs e lacunas no entendimento sobre os riscos da exposição

Portanto, é fundamental que os gestores e profissionais da área de saúde promovam uma cultura de segurança, investindo em treinamentos e na conscientização constante, a fim de garantir a integridade física de todos os envolvidos e promover um ambiente de trabalho mais seguro e protegido.

Em síntese, a proteção radiológica constitui um pilar essencial para a segurança de profissionais e pacientes expostos à radiação ionizante, sendo crucial para a prevenção de danos à saúde.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Saúde; Organização Pan-Americana da Saúde/Brasil. **Doenças relacionadas ao trabalho: manual de procedimentos para os serviços de saúde**. Série A. Normas e Manuais Técnicos, n. 114, 2001. Acesso em: 09 jun. 2025.

BRASIL. Radiação ionizante. **Instituto Nacional do Câncer – INCA**, 2023. Disponível em: <https://gov.br/inca/pt-br/assuntos/causas-e-prevencao-docancer/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/radiacoes/radiacoes-ionizantes>. Acesso em: 09 jun. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Ionizing radiation – health effects and protective measures**, 2016. Disponível em: <https://who.int/news-room/factsheets/detail/ionizing-radiationhealth-effects-and-protective-measures>. Acesso em: 09 jun. 2025.

BORGES, J. A. F. Radiação ionizante e seus efeitos biológicos. **Sínteses: Revista Eletrônica do SimTec**, Campinas, SP, n. 8, Eixo 3, p. e0220921, 2023. Acesso em: 09 jun. 2025.

OKUNO, E. Efeitos biológicos das radiações ionizantes: acidente radiológico de Goiânia. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 27, n. 77, p. 185–200, 2013. Acesso em: 09 jun. 2025.

COSTA, M. M. de O.; SANTOS, K. R. do N.; OLIVEIRA, F. M. de; COSTA, D. H. Alerta sobre a importância do conhecimento das radiações ionizantes e uso de protetores plumbíferos na radiologia odontológica. **E-Acadêmica**, [S. l.], v. 2, n. 3, p. e092348, 2021. DOI: 10.52076/eacad-v2i3.48. Disponível em: <https://eacademica.org/eacademica/article/view/48>. Acesso em: 28 jan. 2025.

DURANTE, L. C.; MARQUES, N. A. A. L. Riscos ocupacionais evidenciados em uma unidade de terapia intensiva neonatal: um estudo de caso. **Engineering and Science**, [S. l.], v. 10, n. 3, p. 26–45, 2021. Acesso em: 09 jun. 2025.

GOMES, N. A.; PINHAL, J. P. A proteção radiológica dos trabalhadores expostos à radiação ionizante. **IX Mostra de Trabalhos Acadêmicos e III Jornada de Iniciação Científica**, Santos, São Paulo, 26 out. 2015. Acesso em: 22 jan. 2025.

MEDEIROS, C.; DOROW, P. F.; BRANDÃO, C. P.; RIBEIRO, M. R. Análise do conhecimento sobre radiações ionizantes e qualidade do equipamento de proteção individual em um hospital público. **Revista de Ciências Médicas e Biológicas**, 2015. Acesso em: 22 jan. 2025.

HILL, M. A.; ULLRICH, R. L. Radiação ionizante. In: BAAN, R. A.; STEWART, B. W.; STRAIF, K. (ed.). Concordância do sítio tumoral e mecanismos de carcinogênese. Lyon, França: Agência Internacional de Pesquisa sobre Câncer – IARC, 2019. **Publicações científicas do IARC**, n. 165, cap. 18. Disponível em: <https://ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK570341/>. Acesso em: 09 jun. 2025.

JIAO, Y.; CAO, F.; LIU, H. Radiation-induced Cell Death and its mechanisms. **Health physics**, v. 123, n. 5, p. 376–386, 2022. Acesso em: 09 jun. 2025.

PRZYBYSZEWSKI, W. M. *et al.* Dose rate-dependent cellular and molecular effects of ionizing radiation. **Postepy higieny i medycyny doswiadczalnej**, v. 62, p. 468–477, 2008. Acesso em: 09 jun. 2025.

TAPIO, S. *et al.* Ionizing radiation-induced circulatory and metabolic diseases. **Environment international**, v. 146, n. 106235, p. 106235, 2021. Acesso em: 09 jun. 2025.

RAPOSO, J.A. *et al.* Evaluation of personal protective equipment use in healthcare workers exposed to ionizing radiation in a Portuguese university hospital. **Rev Bras Med Trab.**, v.20, n. 2, p. 240-248, 2022. Acesso em: 09 jun. 2025.

RICHARDSON, D. B. *et al.* Cancer mortality after low dose exposure to ionising radiation in workers in France, the United Kingdom, and the United States (INWORKS): cohort study. **BMJ (Clinical research ed.)**, v. 382, p. e074520, 2023. Acesso em: 09 jun. 2025.

SOUTO, E. B.; SOUTO, G. D'A. B.; ELBERN, M. K. Avaliação da exposição ocupacional às radiações conforme legislação brasileira. **Pro-Rad Consultores em Radioproteção S/S Ltda.** 2017. Acesso em: 09 jun. 2025.

TAO, S. M. *et al.* Cancer risk associated with low-dose ionizing radiation: A systematic review of epidemiological and biological evidence. Mutation research. **Reviews in mutation research**, v. 794, n. 108517, p. 108517, 2024. Acesso em: 09 jun. 2025.

TIAN, X.-L., *et al.* Analysis of red blood cells and their components in medical workers with occupational exposure to low-dose ionizing radiation. Dose-response: a publication of **International Hormesis Society**, v. 20, n. 1, p. 15593258221081373, 2022. Acesso em: 09 jun. 2025.