



**Universidade Federal de Pernambuco**  
**Centro de Biociências**

**LARYSSA MIRELLI ALEXANDRE DE ARAUJO BARROS DE  
SANTANA**

**EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL À RADIAÇÃO DE  
PROFISSIONAIS DE SAÚDE: UMA REVISÃO INTEGRATIVA**

RECIFE  
2025

# **EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL À RADIAÇÃO DE PROFISSIONAIS DE SAÚDE: UMA REVISÃO INTEGRATIVA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Graduação em  
Biomedicina da Universidade Federal de  
Pernambuco, como pré-requisito à  
obtenção do título de Bacharel em  
Biomedicina.

Orientador: Prof. Dr Thiago de Salazar e  
Fernandes

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Santana, Laryssa Mirelli Alexandre de Araujo Barros de.

Exposição Ocupacional a Radiação de Profissionais de Saúde: Uma revisão Integrativa / Laryssa Mirelli Alexandre de Araujo Barros de Santana. - Recife, 2025.

47 p. : il., tab.

Orientador(a): Thiago de Sazar e Fernandes

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Biociências, Biomedicina, 2025.

Inclui referências.

1. Radiação Ionizante. 2. Profissionais da Saúde. 3. Exposição Ocupacional. 4. Proteção Radiológica. 5. Saúde do trabalhador. 6. Normas de Radioproteção. I. Fernandes, Thiago de Sazar e . (Orientação). II. Título.

610 CDD (22.ed.)

# **EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL À RADIAÇÃO DE PROFISSIONAIS DE SAÚDE: UMA REVISÃO INTEGRATIVA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Graduação em  
Biomedicina da Universidade Federal de  
Pernambuco, como pré-requisito à  
obtenção do título de Bacharel em  
Biomedicina.

Orientador: Prof. Dr. Thiago de Salazar e  
Fernandes

Aprovada em: 12/12/2025

## **BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof. Dr. Thiago de Salazar e Fernandes UFPE/ Departamento de Biofísica e  
Radiobiologia

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Suelen Cristina de Lima UFPE/ Departamento de Departamento de Biofísica e  
Radiobiologia

---

Mestre Jonas Sérgio de Oliveira Filho UFPE/ Departamento de Energia Nuclear

---

Suplente: Prof. Dr. Janilson José da Silva Junior UFPE/ Departamento de Biofísica e  
Radiobiologia

Dedico este trabalho de conclusão de curso ao homem que me deu a capacidade de escrever e sonhar, um galileu que sofreu por uma dívida que não era sua, para limpar meu nome. Sem Ele não haveria eu.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pois, Aquele que me chamou para um propósito, foi fiel para completar essa boa obra.

Ao meu orientador Thiago Salazar pela orientação e sabedoria compartilhadas. Ao Departamento de Biofísica e Radiobiologia, pelo suporte técnico e científico.

Agradeço, com enorme carinho, ao meu esposo que sempre segurou a minha mão, que me acompanhava nas noites de estudos e que sempre me incentivou a nunca desistir.

Aos meus pais Marcos e Josiane que sempre me apoiaram e estiveram me dando força em toda essa jornada, sem eles eu não teria conseguido chegar até aqui. Também a todos os meus familiares e amigos que acompanharam a minha graduação e sempre torceram por mim.

Aos amigos feitos na graduação, Beatriz, Karol, Dayane, Luana, Bryan, Marcos, Ugo, Stéphane, entre outros, que fizeram com que essa longa jornada se tornasse mais leve e me fizeram acreditar que eu não estava só.

A todos os professores que formaram meu conhecimento nesse tempo e que me ajudaram a crescer com sabedoria e entendimento para que eu me tornasse uma boa profissional, além do que eu pensava que poderia ser.

Minha eterna gratidão a todos, visto que esta conquista é um símbolo de vitória, persistência e esforço.

SANTANA, Laryssa Mirelli Alexandre de Araujo Barros. **Exposição Ocupacional à Radiação de Profissionais da Saúde**: uma revisão integrativa. 2025. 46 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Biomedicina) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2025.

## RESUMO

A exposição ocupacional à radiação ionizante permanece um desafio significativo nos serviços de saúde, especialmente em setores como radiologia, hemodinâmica, medicina nuclear e radiologia intervencionista. Esta revisão integrativa analisou evidências científicas publicadas nos últimos anos, combinando estudos nacionais e internacionais para identificar riscos biológicos, padrões de exposição e falhas persistentes nas práticas de radioproteção. Os dados mostram que trabalhadores expostos cronicamente, mesmo a baixas doses, apresentam alterações mensuráveis, incluindo desequilíbrio oxidativo, potenciais efeitos cardiovasculares e maior probabilidade de distúrbios celulares. Além disso, verificou-se que lacunas na capacitação profissional, uso irregular de dosímetros e adesão insuficiente aos Equipamentos de Proteção Individual comprometem a proteção ocupacional. As diretrizes normativas, como CNEN NN 3.01 e NR-32, embora consolidadas, ainda não se refletem plenamente na rotina dos serviços, evidenciando disparidade entre regulamentação e prática assistencial. A análise integrada dos estudos destaca que a efetividade da radioproteção depende de políticas institucionais consistentes, formação continuada, supervisão qualificada e fortalecimento da cultura de segurança. Conclui-se que é necessário ampliar a produção científica nacional, aprimorar a vigilância ocupacional e implementar estratégias que assegurem ambientes de trabalho compatíveis com padrões internacionais de segurança radiológica.

**Palavras-chave:** Exposição ocupacional; Radiação ionizante; Proteção radiológica; Saúde do trabalhador; Segurança ocupacional.

SANTANA, Laryssa Mirelli Alexandre de Araujo Barros. **Occupational Exposure to Radiation in Healthcare Professionals: an integrative review**. 2025. 46 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Biomedicina) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2025.

## **ABSTRACT**

Occupational exposure to ionizing radiation remains a significant challenge in healthcare services, particularly in radiology, hemodynamics, nuclear medicine, and interventional imaging. This integrative review analyzed recent scientific evidence, including national and international studies, to identify biological risks, exposure patterns, and persistent gaps in radiological protection practices. Findings indicate that workers chronically exposed to low radiation doses exhibit measurable biological alterations, including oxidative imbalance, potential cardiovascular effects, and early cellular disturbances. The review also revealed deficiencies in professional training, inconsistent use of dosimeters, and insufficient adherence to personal protective equipment, all of which compromise occupational safety. Although regulatory guidelines such as CNEN NN 3.01 and NR-32 are well established, they are not fully reflected in daily clinical practice, demonstrating a gap between regulation and operational reality. The integrated analysis highlights that the effectiveness of radiological protection depends on consistent institutional policies, continuous professional education, qualified supervision, and a strengthened safety culture. It is concluded that expanding national scientific production, enhancing occupational surveillance, and implementing strategies aligned with international radiological safety standards are essential to ensure safer work environments for exposed professionals.

**Keywords:** Occupational exposure; Ionizing radiation; Radiological protection; Occupational health; Safety management.



## **LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

Figura 1: Tipos de radiação ionizante e respectivos níveis de penetração em diferentes materiais.	15
Figura 2: Representação esquemática dos efeitos determinísticos e estocásticos da radiação ionizante.	17
Figura 3: Principais normas da CNEN aplicáveis à segurança radiológica em Medicina Nuclear	19
Figura 4 – Equipamentos de proteção individual plumbíferos para redução da exposição à radiação ionizante.	21
Figura 5 – Representação esquemática dos modelos dose–resposta (Linear, Não Linear e Hormese).	24

## **LISTA DE TABELAS**

Quadro 1: legislações e normas aplicáveis à proteção radiológica	25
Quadro 2: Caracterização dos Estudos Seleccionados entre 2021 a 2025.	34

## **LISTA DE SIGLAS**

**ALARA** – As Low As Reasonably Achievable

**ANVISA** – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

**CNEN** – Comissão Nacional de Energia Nuclear

**DNA** – Ácido Desoxirribonucleico (Deoxyribonucleic Acid)

**EPI** – Equipamento de Proteção Individual

**IAEA** – Agência Internacional de Energia Atômica (International Atomic Energy Agency)

**ICRP** – Comissão Internacional de Proteção Radiológica (International Commission on Radiological Protection)

**mSv** – Milisievert

**NR** – Norma Regulamentadora

**RDC** – Resolução da Diretoria Colegiada

**SPR** – Supervisor de Proteção Radiológica

**UNSCEAR** – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation

**WHO / OMS** – Organização Mundial da Saúde (World Health Organization)

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
<b>1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>14</b>
1.1 Tipos de Radiação Ionizante e seu Poder de Penetração	14
1.1.1 Efeitos Biológicos da Radiação Ionizante	16
1.2 Exposição Ocupacional em Profissionais da Saúde	18
1.3 Normas e Diretrizes de Proteção Radiológica	18
1.4 Práticas de Radioproteção e Cultura de Segurança	20
1.5 Lacunas e Desafios na proteção Radiológica	21
1.6 Modelos de Resposta Dose-Efeito à Radiação Ionizante	22
1.6.1 Modelo Linear Sem Limiar (LNT)	22
1.6.2 Modelo Linear com Limiar	23
1.6.3 Modelo Hormético	23
1.6.4 Comparação entre os modelos	24
1.7 Marco Regulatório da Proteção Radiológica no Brasil	25
<b>2 OBJETIVOS</b>	<b>29</b>
2.1 Objetivo Geral	29
2.2 Objetivos Específicos	29
<b>3 METODOLOGIA</b>	<b>30</b>
3.1 Formulação do protocolo de pesquisa e plano de revisão	30
3.1.2 Critérios de Inclusão e Exclusão	31
3.1.3 Processo de Revisão e Síntese das Informações	31
<b>4.RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>34</b>
<b>5. CONCLUSÃO</b>	<b>42</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>45</b>

## INTRODUÇÃO

A utilização de radiações ionizantes em procedimentos diagnósticos e terapêuticos representa um marco importante para o desenvolvimento científico e tecnológico da medicina moderna, sendo amplamente empregada em especialidades como radiologia, medicina nuclear, radioterapia e cardiologia intervencionista. Esses recursos proporcionam benefícios expressivos à prática clínica, pois permitem diagnósticos mais precisos e tratamentos direcionados, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida dos pacientes (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2018). No entanto, o uso crescente dessas tecnologias demanda atenção quanto aos riscos decorrentes da exposição ocupacional dos profissionais que atuam em ambientes com radiação ionizante.

A exposição ocupacional ocorre quando trabalhadores são submetidos a doses de radiação no exercício de suas atividades laborais, como em salas de raios X, centros de hemodinâmica ou laboratórios de medicina nuclear (INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, 2021). De acordo com a Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP), a exposição prolongada à radiação ionizante pode causar efeitos determinísticos — como catarata, eritema e alterações cutâneas — e efeitos estocásticos, como mutações genéticas e neoplasias malignas (ICRP, 2007). Tais efeitos dependem da dose absorvida, do tempo de exposição, da distância da fonte emissora e da eficácia das medidas de proteção radiológica empregadas (UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION, 2020).

No Brasil, a segurança radiológica é regida por dispositivos normativos que visam garantir a proteção do trabalhador exposto. A Norma Regulamentadora nº 32 (NR-32) estabelece diretrizes básicas de segurança e define limites de exposição ocupacional, determinando o uso obrigatório de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) e o monitoramento das doses individuais por meio de dosímetros (BRASIL, 2005). Em complemento, às normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), como a NN 3.01 e a NN 3.05, estabelecem os princípios gerais de proteção radiológica e os procedimentos para controle das exposições em práticas

médicas e odontológicas (CNEN, 2025; CNEN, 2013). Essas diretrizes nacionais estão alinhadas às recomendações internacionais da ICRP e da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA, 2018).

Embora a legislação brasileira apresente bases sólidas, a literatura evidencia falhas significativas na adesão às medidas de radioproteção em diferentes instituições de saúde. Estudos apontam que fatores como insuficiência de treinamentos, deficiência na infraestrutura e subestimação dos riscos contribuem para a exposição inadequada dos trabalhadores (COSTA et al., 2018; SOARES; ALMEIDA; MORAES, 2021). Além disso, a cultura de segurança ainda se mostra incipiente em muitos serviços, dificultando a consolidação de práticas preventivas eficazes (SANTOS; GONÇALVES, 2022). A formação continuada e a fiscalização das práticas radiológicas são, portanto, estratégias indispensáveis para reduzir a exposição ocupacional e promover ambientes de trabalho mais seguros.

Diante desse cenário, a análise das evidências científicas sobre a exposição ocupacional à radiação ionizante permite compreender a magnitude dos riscos e a efetividade das medidas de proteção aplicadas. Assim, a presente revisão integrativa da literatura busca sistematizar os principais achados sobre os efeitos biológicos da exposição, as práticas de radioproteção e as lacunas observadas na adesão às normas vigentes, contribuindo para o fortalecimento da segurança radiológica nos serviços de saúde.

## 1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A exposição ocupacional à radiação ionizante constitui um tema de grande relevância para as ciências biomédicas e para a saúde pública, pois envolve a segurança de profissionais que atuam em ambientes com fontes emissoras de radiação. A revisão bibliográfica permite compreender os fundamentos físicos e biológicos da radiação, os efeitos decorrentes da exposição prolongada, às normas que regulamentam a prática radiológica e as principais estratégias de prevenção. A seguir, são apresentados os aspectos teóricos e normativos que fundamentam este estudo, organizados de modo a integrar a evolução do conhecimento científico sobre o tema.

### 1.1 Tipos de Radiação Ionizante e seu Poder de Penetração

Os principais tipos de radiação ionizante (alfa, beta, gama, X e nêutron), suas características físicas, capacidade de ionização e níveis de penetração em diferentes materiais de blindagem. Cada tipo de radiação apresenta comportamento distinto ao interagir com a matéria, o que determina tanto seu potencial de dano biológico quanto às medidas de proteção radiológica adequadas (INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, 2007).

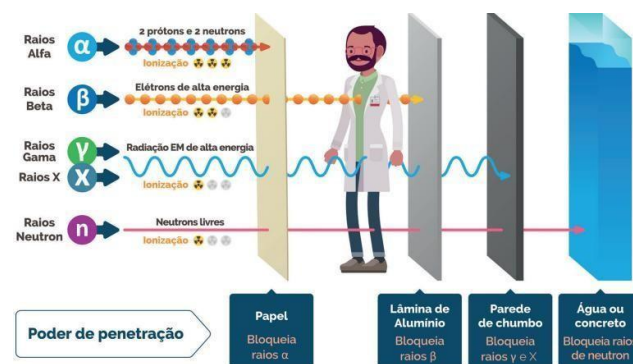
As partículas alfa ( $\alpha$ ) são formadas por dois prótons e dois nêutrons, possuindo carga positiva e massa elevada. Apesar de apresentarem alto poder de ionização, possuem baixo poder de penetração, sendo facilmente bloqueadas por uma simples folha de papel ou pela epiderme humana (HALL; GIACCIA, 2019). No entanto, quando inaladas ou ingeridas, podem causar sérios danos celulares devido à liberação intensa de energia em tecidos internos (UNSCEAR, 2020).

As partículas betas ( $\beta$ ) consistem em elétrons ou pósitrons de alta energia emitidos durante processos de decaimento radioativo. Seu poder de penetração é intermediário, sendo capazes de atravessar a epiderme e atingir camadas mais profundas dos tecidos. Normalmente, são bloqueadas por lâminas finas de alumínio ou acrílico, que reduzem significativamente sua energia cinética (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2018). A exposição excessiva a partículas beta pode ocasionar queimaduras radiológicas e lesões oculares, especialmente em profissionais de medicina nuclear e radioterapia (COSTA et al., 2018).

Já os raios X e raios gama ( $\gamma$ ) correspondem à radiação eletromagnética de alta energia, com grande poder de penetração e capacidade de atravessar tecidos e materiais densos. São neutralizados apenas por barreiras espessas de chumbo ou concreto, utilizadas em paredes de salas de radiologia e radioterapia (CNEN, 2025).

Esses tipos de radiação apresentam menor poder de ionização por evento, mas sua penetração profunda os torna potencialmente mais perigosos em exposições prolongadas, por atingirem órgãos e tecidos internos (ICRP, 2021). O uso inadequado de blindagens ou o descuido no posicionamento durante procedimentos pode levar à absorção cumulativa de doses significativas ao longo do tempo (REIS et al., 2022).

**Figura 1** - Tipos de radiação ionizante e respectivos níveis de penetração em diferentes materiais.



**Fonte:** Adaptado de Radiologia STAR (2023).

A Figura 1 reforça o princípio fundamental da radioproteção, segundo o qual cada tipo de radiação requer blindagem específica e proporcional ao seu poder de penetração. Tais medidas são essenciais para garantir que os níveis de exposição ocupacional permaneçam dentro dos limites estabelecidos pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e pelas diretrizes internacionais de segurança radiológica (IAEA, 2018; CNEN, 2025).

Por fim, a figura também demonstra a ação dos nêutrons (n), partículas sem carga elétrica emitidas em reações nucleares, com altíssimo poder de penetração. Por não interagirem diretamente com elétrons, os nêutrons são mais difíceis de conter, exigindo barreiras compostas por materiais ricos em hidrogênio, como água ou concreto, capazes de reduzir sua energia por moderação (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2018). Esse tipo de radiação é mais comum em reatores e fontes radioativas de alta energia, raramente encontrado em serviços de saúde



convencionais.

### 1.1.1 Efeitos Biológicos da Radiação Ionizante

Os efeitos biológicos, produzidos pela radiação ionizante sobre os organismos vivos, são divididos em efeitos determinísticos e efeitos estocásticos. Esses efeitos estão relacionados à interação da radiação com os átomos e moléculas das células, que pode resultar em ionização e danos ao DNA, levando a consequências de natureza funcional e estrutural (HALL; GIACCIA, 2019).

Quando a radiação ionizante atravessa o tecido biológico, parte de sua energia é transferida às moléculas celulares, ocasionando ionizações diretas ou indiretas. A ionização direta ocorre quando a radiação atinge diretamente o DNA, quebrando as cadeias nucleotídicas. Já a ionização indireta envolve a formação de radicais livres a partir da água, que podem reagir com componentes celulares, causando mutações, apoptose ou morte celular (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2018).

Conforme a Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP, 2007), os efeitos determinísticos são aqueles que apresentam uma relação direta entre a dose absorvida e a gravidade da lesão, manifestando-se quando um limiar mínimo de dose é ultrapassado. Esses efeitos incluem eritemas cutâneos, necroses teciduais, cataratas radiológicas, infertilidade temporária ou permanente e síndrome aguda da radiação. Em ambientes hospitalares, tais efeitos podem ocorrer em profissionais expostos a altas doses acidentais, especialmente em procedimentos intervencionistas sem o uso adequado de proteção (CNEN, 2025).

Por outro lado, os efeitos estocásticos não apresentam limiar de dose e estão associados à probabilidade de ocorrência, e não à severidade do dano. Isso significa que mesmo exposições de baixa intensidade, quando acumuladas ao longo dos anos, podem aumentar a chance de desenvolvimento de neoplasias e mutações genéticas (UNSCEAR, 2020). Esses efeitos são especialmente preocupantes para profissionais de radiologia, medicina nuclear e radioterapia, que estão continuamente expostos a pequenas doses de radiação ionizante durante suas atividades ocupacionais (REIS et al., 2022).

**Figura 2** - Representação esquemática dos efeitos determinísticos e estocásticos da radiação ionizante.



**Fonte:** A autora (2025).

A (Figura 2) compara os efeitos determinísticos e estocásticos da radiação ionizante. Os efeitos determinísticos aparecem na parte esquerda e são aqueles que possuem limiar, ou seja, só ocorrem quando a dose é alta. Sua gravidade aumenta conforme a dose recebida, e incluem queimaduras, catarata, náuseas e queda de cabelo. Já os efeitos estocásticos, mostrados à direita, não possuem limiar seguro: qualquer dose pode gerar risco. Eles estão associados principalmente a exposições baixas e contínuas e incluem danos genéticos, câncer e mutações hereditárias.

Do ponto de vista da saúde ocupacional, compreender esses mecanismos é fundamental para o desenvolvimento de políticas de prevenção. A radioproteção deve se basear nos princípios de justificação, otimização As Low As Reasonably Achievable (ALARA) e limitação de dose, com o objetivo de minimizar tanto os efeitos determinísticos quanto o risco estocástico (IAEA, 2018).

Em síntese, os efeitos determinísticos estão relacionados à intensidade da dose e manifestam-se clinicamente quando há exposição acima dos limites seguros, enquanto os efeitos estocásticos estão vinculados à probabilidade cumulativa de dano genético. A compreensão e o controle desses efeitos são pilares essenciais para a segurança radiológica e a preservação da saúde dos profissionais expostos.

## 1.2 Exposição Ocupacional em Profissionais da Saúde

A exposição ocupacional à radiação ionizante em ambientes hospitalares ocorre principalmente entre profissionais que atuam em radiologia, radioterapia, medicina nuclear, hemodinâmica e odontologia. Esses trabalhadores são classificados como “indivíduos ocupacionalmente expostos”, conforme definição da CNEN (2025). Entre os grupos mais vulneráveis estão os técnicos em radiologia e os médicos intervencionistas, devido à proximidade física com as fontes de radiação (DANTAS, 2022).

De acordo com estudos epidemiológicos, a dose média anual em profissionais da área costuma variar entre 0,5 e 5 mSv, valores abaixo do limite anual recomendado, porém com potencial de risco cumulativo (ICRP, 2021; UNSCEAR, 2020). A Organização Mundial da Saúde (WHO, 2017) destaca que a exposição prolongada, mesmo em baixos níveis, pode provocar danos lentos e progressivos, reforçando a importância do monitoramento contínuo e do registro individual de doses.

## 1.3 Normas e Diretrizes de Proteção Radiológica

As principais normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) que regulamentam a utilização segura de materiais radioativos e a proteção dos profissionais e pacientes em serviços de Medicina Nuclear. Essas normas são de cumprimento obrigatório em todo o território brasileiro e têm como objetivo garantir a segurança radiológica, o controle de exposição e o gerenciamento de rejeitos radioativos (CNEN, 2025).

A Norma CNEN NN 3.01 – Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica estabelece os princípios fundamentais da radioproteção, baseando-se nos três pilares preconizados pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP):

- Justificação, que determina que nenhuma prática envolvendo exposição à radiação ionizante deve ser realizada se não trouxer benefícios que superem os riscos;
- Otimização, fundamentada no princípio *As Low As Reasonably Achievable* (ALARA), que busca manter as doses tão baixas quanto razoavelmente possível;
- Limitação de dose, que fixa limites anuais de exposição ocupacional e pública (ICRP, 2007; CNEN, 2025).

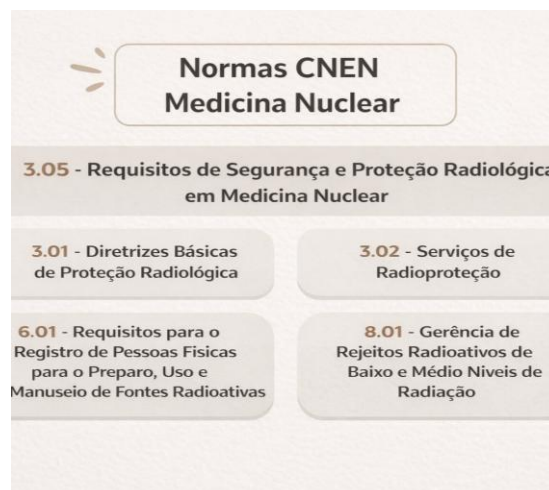
Já a Norma CNEN NN 3.02 – Serviços de Radioproteção define os critérios

para o funcionamento dos serviços que envolvem fontes radioativas, exigindo a presença de um Supervisor de Proteção Radiológica (SPR) devidamente registrado, responsável por garantir o cumprimento das medidas de segurança e pela calibração dos equipamentos de monitoração (BRASIL, 2005; CNEN, 2018).

A Norma CNEN NN 3.05 – Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica em Medicina Nuclear trata especificamente da utilização de radiofármacos e fontes seladas e não seladas em procedimentos diagnósticos e terapêuticos. Essa norma descreve detalhadamente as condições de instalação, operação e descarte de materiais radioativos em serviços de Medicina Nuclear, bem como os protocolos de monitoração individual e ambiental (CNEN, 2013).

A Norma CNEN NN 6.01 – Requisitos para o Registro de Pessoas Físicas para o Preparo, Uso e Manuseio de Fontes Radioativas regulamenta a qualificação profissional necessária para atuar com radiações ionizantes, exigindo registro formal na CNEN e comprovação de capacitação técnica específica, o que reforça a importância da formação e atualização contínua dos trabalhadores da área (CNEN, 1999).

**Figura 3** - Principais normas da CNEN aplicáveis à segurança radiológica em Medicina Nuclear.



**Fonte:** A autora (2025).

A Figura 3 sintetiza as bases normativas da radioproteção brasileira, destacando a interdependência entre as diferentes diretrizes da CNEN, que visam não apenas reduzir o risco de exposição ocupacional, mas também assegurar a proteção

dos pacientes, da população e do meio ambiente. O cumprimento rigoroso dessas normas é um requisito ético e legal para a prática biomédica segura e responsável no campo da Medicina Nuclear.

Por fim, a Norma CNEN NN 8.01 – Gerência de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação estabelece as diretrizes para o tratamento, armazenamento, transporte e disposição final de resíduos radioativos, garantindo que os rejeitos produzidos em serviços de Medicina Nuclear sejam armazenados e descartados de forma ambientalmente segura (CNEN, 2014; IAEA, 2018).

Em resumo no Brasil, a radioproteção é regida por um conjunto de dispositivos legais e técnicos que estabelecem padrões de segurança. A Norma Regulamentadora nº 32 (NR-32) determina medidas para a segurança e saúde dos trabalhadores em serviços de saúde, incluindo limites de exposição e uso obrigatório de Equipamentos de Proteção Individual (BRASIL, 2005). Já as normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN NN 3.01 e NN 3.05) abordam as diretrizes básicas de proteção radiológica e os requisitos específicos para serviços de radiologia diagnóstica e intervencionista (CNEN, 2025; CNEN, 2014).

#### 1.4 Práticas de Radioproteção e Cultura de Segurança

A adoção de medidas de radioproteção é essencial para minimizar os riscos da exposição ocupacional. Entre as estratégias recomendadas estão a manutenção de distância adequada das fontes, o uso de barreiras físicas e o tempo mínimo de permanência em áreas irradiadas (IAEA, 2018). A aplicação dos princípios de radioproteção requer a atuação de um supervisor técnico devidamente habilitado, responsável pela implementação e fiscalização dos programas de proteção radiológica (CNEN, 2025).

Pesquisas recentes apontam que a adesão às práticas de segurança ainda é limitada. Fatores como falta de conscientização, ausência de treinamentos regulares e deficiências estruturais contribuem para a exposição desnecessária (DANTAS, 2022). A criação de programas de educação continuada tem se mostrado eficaz na melhoria do conhecimento dos profissionais e na redução das doses ocupacionais registradas (SANTOS; GONÇALVES, 2022).

### 1.5 Lacunas e Desafios na proteção Radiológica

Apesar do avanço nas políticas de radioproteção, persistem lacunas na implementação das normas. Entre os desafios mais recorrentes estão:

- A ausência de fiscalização efetiva em instituições privadas e públicas;
- Insuficiência de investimento em equipamentos de proteção e barreiras plumbíferas;
- Déficit de formação técnica e atualização profissional (SANTOS; GONÇALVES, 2022).

Esses fatores evidenciam a necessidade de integração entre gestores, órgãos reguladores e profissionais da saúde, a fim de consolidar uma cultura de segurança baseada na prevenção e na responsabilidade compartilhada.

**Figura 4** – Equipamentos de proteção individual plumbíferos para redução da exposição à radiação ionizante.



**Fonte:** A autora (2025).

A (Figura 4) ilustra um componente essencial da cultura de segurança radiológica, enfatizando que o uso correto e contínuo dos EPIs plumbíferos é indispensável para o controle da exposição ocupacional e para a preservação da integridade física dos profissionais de saúde que atuam com radiações ionizantes.

### 1.6 Modelos de Resposta Dose-Efeito à Radiação Ionizante

A compreensão dos efeitos biológicos decorrentes da exposição à radiação ionizante depende da relação entre a dose absorvida e a probabilidade ou severidade

do efeito produzido. Essa relação é descrita por modelos radiobiológicos que auxiliam na avaliação de risco, fundamentam normas regulatórias e orientam práticas de radioproteção. Entre os modelos mais discutidos estão o Modelo Linear Sem Limiar (LNT – Linear No-Threshold), o Modelo Linear com Limiar e o Modelo Hormético. Cada um deles se baseia em diferentes interpretações sobre como células e tecidos respondem a baixas e altas doses de radiação, com implicações diretas para o manejo ocupacional (DANTAS, 2022).

#### 1.6.1 Modelo Linear Sem Limiar (LNT)

O Modelo Linear Sem Limiar (LNT) é o paradigma adotado pelas principais organizações internacionais de proteção radiológica, como a International Commission on Radiological Protection (ICRP, 2007), o United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR, 2020) e pelas regulamentações brasileiras, representadas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN, 2025) e pela Norma Regulamentadora nº 32 (BRASIL, 2022). Esse modelo assume que qualquer dose de radiação, por menor que seja, apresenta risco, e que esse risco aumenta de forma proporcional à dose recebida.

Segundo o modelo LNT, não existe valor seguro de exposição, pois os danos estocásticos, como câncer e mutações hereditárias, seguem uma resposta linear contínua a partir de zero (FILGUEIRAS, 2017). A justificativa é sustentada por evidências epidemiológicas obtidas principalmente em sobreviventes das bombas atômicas e em trabalhadores da área nuclear, nas quais observou-se aumento proporcional da incidência de câncer mesmo em doses relativamente baixas (UNSCEAR, 2020). O modelo reforça os princípios fundamentais da radioproteção. Justificação, otimização (ALARA) e limitação de dose, sendo adotado por prudência e precaução na proteção ocupacional.

#### 1.6.2 Modelo Linear com Limiar

O Modelo Linear com Limiar propõe que exista uma dose mínima necessária para que os efeitos biológicos se manifestem. Abaixo desse limiar, o organismo é capaz de reparar o dano celular sem repercussões clínicas mensuráveis (ICRP, 2007). Acima do limiar, a relação volta a ser linear, com aumento proporcional da severidade do efeito conforme a dose cresce.

Esse modelo aplica-se principalmente aos efeitos determinísticos, nos quais a gravidade do dano depende da dose e existe um ponto de manifestação previsível (FILGUEIRAS, 2017). Exemplos incluem eritema cutâneo, epilação, catarata radiogênica e infertilidade temporária, efeitos que aparecem apenas quando os limiares são ultrapassados. De acordo com a CNEN (2025) e a ICRP (2007), valores de referência seguros são amplamente estabelecidos, o que permite definir margens operacionais adequadas para proteção dos profissionais expostos.

Na prática, trabalhadores da área da saúde que utilizam fontes de radiação ionizante raramente atingem doses próximas aos limiares determinísticos quando seguem normas de radioproteção (BRASIL, 2022). Assim, o modelo com limiar reforça a importância da dosimetria individual, da monitoração ambiental e do treinamento constante.

#### 1.6.3 Modelo Hormético

A hormese radiológica é um modelo alternativo e controverso que sugere que pequenas doses de radiação poderiam estimular mecanismos biológicos benéficos, como aumento da atividade antioxidante, aprimoramento do reparo do DNA ou eliminação seletiva de células danificadas (FILGUEIRAS, 2017). Nesse modelo, doses muito baixas estariam associadas a efeitos neutros ou protetores, enquanto apenas doses mais elevadas causariam danos mensuráveis.

Embora estudos experimentais em culturas celulares e modelos animais apresentem resultados compatíveis com a hormese, o consenso internacional, representado pela ICRP (2007) e pelo UNSCEAR (2020), rejeita a adoção desse modelo para fins regulatórios, devido à ausência de evidências epidemiológicas robustas e ao risco de subestimar danos potenciais. Dessa forma, a hormese permanece como hipótese científica, sem respaldo para formulação de políticas de proteção radiológica (CNEN, 2025).

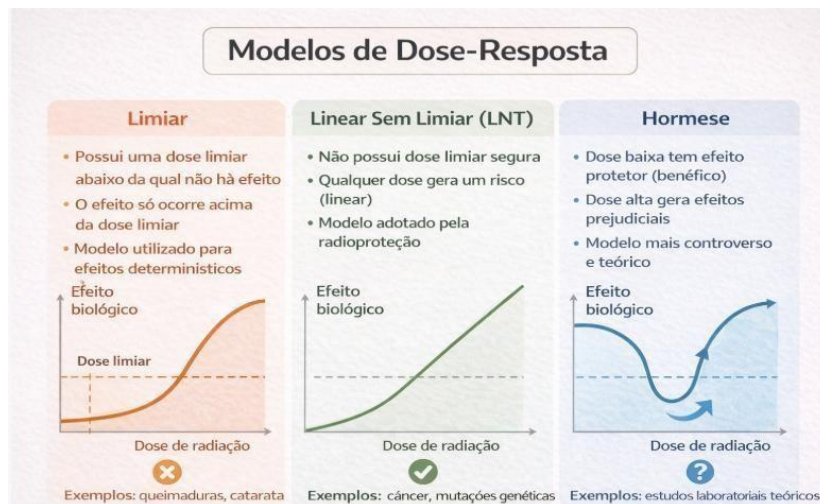
#### 1.6.4 Comparação entre os modelos

Os três modelos diferem profundamente quanto à interpretação dos efeitos biológicos em baixas doses. O modelo LNT adota uma postura conservadora, considerando qualquer exposição potencialmente prejudicial; o modelo com limiar explica efeitos determinísticos e estabelece margens seguras de operação; e o



modelo hormético propõe que pequenas doses possam ter efeitos adaptativos, embora sem aceitação científica consolidada (FILGUEIRAS, 2017). Em conjunto, esses modelos fornecem o arcabouço teórico necessário para compreender riscos ocupacionais e justificar as diretrizes de proteção adotadas internacionalmente e no Brasil.

**Figura 5** – Representação esquemática dos modelos dose–resposta (Linear, Não Linear e Hormese).



**Fonte:** A autora (2025).

### 1.7 Marco Regulatório da Proteção Radiológica no Brasil

A compreensão do marco regulatório é indispensável para analisar a segurança ocupacional em ambientes que utilizam radiação ionizante. No Brasil, a proteção radiológica é estruturada por um conjunto de normas técnicas e regulamentações federais que determinam limites de dose, requisitos operacionais, responsabilidades profissionais e padrões mínimos de segurança aplicáveis aos serviços de saúde.

As diretrizes orientam desde o uso de equipamentos emissores de radiação até a organização interna dos programas de radioproteção, servindo como base normativa para avaliar a exposição ocupacional e garantir práticas compatíveis com os princípios de segurança estabelecidos internacionalmente. Nesse contexto, o

Quadro 1 sintetiza as legislações e normas mais relevantes para o tema, destacando seus objetivos e as principais exigências referentes à proteção radiológica.

**Quadro 1-** Legislações e normas aplicáveis à proteção radiológica

<b>LEGISLAÇÃO/ NORMA</b>	<b>OBJETIVO/ FINALIDADE</b>	<b>PRINCIPAIS DETERMINAÇÕES RELACIONADAS À PROTEÇÃO RADIOLÓGICA</b>
<b>CNEN NN 3.01- Diretrizes Básicas de proteção Radiológica</b>	Define princípios fundamentais de proteção radiológica no país.	Estabelece limites anuais de dose ocupacional; Determinada áreas controladas e supervisionadas; Exige monitoramento individual; Define responsabilidades do empregador e do supervisor de radioproteção.
<b>CNEN NE 3.02- Serviços de Radioproteção</b>	Regulamenta a organização interna da proteção radiológica.	Obriga a existência e funcionamento do serviço de radioproteção; Registra e avalia doses individuais; Exige rotinas de inspeção e controle operacional; Estabelece programas de treinamento.
<b>CNEN NN 3.05- Requisitos de Radiodiagnóstico Médico</b>	Normatiza o uso seguro de equipamentos de radiodiagnósticos.	Determina ensaios de desempenho e manutenção periódica; Define parâmetros técnicos de exposição; Exige blindagem adequada; Define responsabilidade técnica.
<b>NR-32- Segurança e Saúde no Trabalho em Serviços de Saúde</b>	Norma trabalhista para riscos à saúde.	Torna obrigatório o uso de dosímetro individual; Define capacitação obrigatória sobre radiação; Exige EPIs como avental, protetor de tireoide e óculos

		plumbíferos; estabelece sinalização nas áreas de radiação.
<b>NR-6- Equipamentos de Proteção Individual</b>	Diretrizes gerais para EPIs.	Exige fornecimento gratuito de EPIs; Determina as Responsabilidades do empregador quanto ao treinamento e fiscalização.
<b>RDC 330/2019- ANVISA</b>	Regula serviços de radiologia diagnóstica e intervencionista .	Estabelece programas de controle de qualidade; Determina Manutenção preventiva de equipamentos; Exige padrões de segurança e doses otimizadas.
<b>RDC 611/2022- ANVISA</b>	Regulamenta requisitos técnicos para equipamentos emissores de radiação.	Exige certificação e conformidade técnica; Define requisitos mínimos de desempenho à segurança; Prevê critérios de instalação e manutenção.

Fonte: A autora (2025).

A proteção radiológica no contexto ocupacional brasileiro é estruturada a partir de um conjunto de normas que orientam o uso seguro das radiações ionizantes e estabelecem parâmetros de exposição considerados aceitáveis para trabalhadores. O principal referencial regulatório é a CNEN NN 3.01, que reúne as diretrizes básicas de proteção radiológica aplicáveis em todo o território nacional.

A norma define os limites de dose permitidos, delimita áreas controladas e supervisionadas, estabelece responsabilidades institucionais e descreve os requisitos mínimos de monitoramento individual, constituindo a base normativa para qualquer atividade que envolva exposição ocupacional à radiação (COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, 2025).

Além disso, a organização interna dos serviços que utilizam radiação é regulamentada pela CNEN NN 3.02, que dispõe sobre o funcionamento dos Serviços de Radioproteção.

A implementação adequada desses serviços é essencial para garantir que os limites de dose estabelecidos pela legislação sejam efetivamente respeitados no cotidiano laboral (CNEN, 2025).

No campo específico do radiodiagnóstico, a CNEN NN 3.05 estabelece requisitos técnicos e operacionais destinados a assegurar a qualidade e a segurança na operação de equipamentos emissores de radiação.

A norma contempla critérios de blindagem, parâmetros de exposição, ensaios de desempenho e responsabilidades do responsável técnico, garantindo que os sistemas utilizados em serviços de saúde atendam a padrões mínimos de proteção para profissionais e pacientes (CNEN, 2013).

Em complemento às normas da CNEN, o Ministério do Trabalho instituiu a NR-32, instrumento fundamental para a segurança e saúde dos trabalhadores em serviços de saúde. O texto normativo contempla uma seção específica dedicada às radiações ionizantes, em que determina a obrigatoriedade do uso de dosímetros, a capacitação periódica dos profissionais, a sinalização adequada das áreas com risco de radiação e o fornecimento de equipamentos de proteção individual.

A norma também reforça que cabe ao empregador garantir condições seguras de trabalho, com medidas de engenharia, organização e proteção individual capazes de reduzir a exposição ocupacional (BRASIL, 2005).

Outro instrumento complementar é a NR-6, que regulamenta o uso de Equipamentos de Proteção Individual. Embora não seja exclusiva para radiações ionizantes, a norma estabelece critérios gerais para seleção, fornecimento e monitoramento dos EPIs, abrangendo aventais plumbíferos, protetores de tireoide e óculos plumbíferos utilizados por profissionais que atuam em ambientes irradiados (CNEN, 2014).

As normas da Agência Nacional de Vigilância Sanitária também contribuem para o arcabouço regulatório. A RDC 330/2019 define padrões de boas práticas para os serviços de radiologia diagnóstica e intervencionista, incluindo requisitos de controle de qualidade dos equipamentos, procedimentos de manutenção e garantia de doses tão baixas quanto razoavelmente exequíveis.

A resolução reforça que a segurança deve ser tratada como parte integrante da rotina assistencial, envolvendo tanto gestores quanto trabalhadores (BRASIL, 2019). Já a RDC 611/2022 atualiza as exigências técnicas para equipamentos emissores de radiação, assegurando que os dispositivos utilizados em radiologia médica possuam certificações e características de desempenho adequadas para reduzir o risco de exposição inadvertida ou excessiva (BRASIL, 2022).

Em conjunto, as normas que foram citadas anteriormente, constituem o marco regulatório que fundamenta as práticas de radioproteção no Brasil. A partir delas, definem-se as diretrizes para o monitoramento dos trabalhadores, o controle de doses, a organização dos serviços e os requisitos técnicos dos equipamentos utilizados. A legislação não apenas orienta a segurança operacional, mas também baliza as análises realizadas nas pesquisas científicas que investigam os riscos decorrentes da exposição ocupacional à radiação ionizante.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Analisar os riscos e as medidas de proteção relacionadas à exposição ocupacional à radiação ionizante em profissionais da área da saúde, com base em evidências científicas recentes.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- ▮ Descrever a exposição ocupacional à radiação ionizante em profissionais da saúde e seus principais fatores de risco.
- ▮ Analisar os efeitos clínicos e laboratoriais associados ao tempo de exposição ocupacional.
- ▮ Relacionar as evidências encontradas às normas, práticas de radioproteção e ao marco regulatório brasileiro.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Formulação do protocolo de pesquisa e plano de revisão

A elaboração desta revisão integrativa seguiu um conjunto de etapas sistematizadas com base nas orientações metodológicas. A escolha desse método se justifica pela possibilidade de reunir, analisar e sintetizar resultados provenientes de diferentes delineamentos de pesquisa, permitindo uma compreensão ampliada do fenômeno investigado.

O protocolo de busca foi elaborado após a definição das perguntas de pesquisa, assegurando a transparência, reprodutibilidade e imparcialidade na seleção dos estudos. A partir desse protocolo, foram estabelecidos os critérios de inclusão e exclusão, bem como a estratégia de busca, que permitiu identificar publicações relevantes sobre a exposição ocupacional à radiação ionizante em profissionais da saúde.

Essa abordagem considerou aspectos como níveis de dose ocupacional, medidas de radioproteção, uso de dosímetros e efeitos clínicos e laboratoriais decorrentes da exposição. A pergunta de pesquisa (Como a exposição ocupacional à radiação ionizante impacta a saúde dos profissionais da área da saúde e quais estratégias são utilizadas para sua prevenção e controle?), foi estruturada de acordo com o modelo PICO (População, Intervenção, Comparação, Resultados), possibilitando a delimitação clara dos objetivos e a coerência metodológica em todas as etapas do estudo. Como se trata de uma revisão integrativa, não foi considerada comparação direta entre grupos expostos e não expostos, mas as relações comparativas emergiram da síntese interpretativa dos estudos selecionados.

A etapa de busca foi realizada nas bases de dados BVS, SciELO e LILACS reconhecidas internacionalmente pela abrangência e qualidade de suas publicações científicas. A escolha dessas plataformas se deve à sua relevância no campo das Ciências da Saúde e das Tecnologias Médicas, bem como à ampla disponibilidade de artigos revisados por pares que asseguram rigor metodológico e confiabilidade das evidências encontradas.

Para identificar os estudos relevantes, foi desenvolvida uma estratégia de busca detalhada, utilizando um conjunto específico de palavras-chave e termos de busca. Os descritores foram combinados por meio de operadores booleanos, de

modo a contemplar a variação terminológica existente na literatura.

As buscas foram realizadas utilizando descritores em português e inglês, combinados por operadores booleanos, a saber: “exposição ocupacional à radiação ionizante”, “trabalhadores da saúde”, “proteção radiológica”, “dose ocupacional”, “occupational exposure to ionizing radiation”, “healthcare workers”, “radiation protection”, “occupational radiation dose” e “medical radiation exposure”, combinados por meio de AND, OR e AND NOT.

### 3.1.2 Critérios de Inclusão e Exclusão

Para garantir a relevância e a qualidade dos estudos incluídos nesta revisão integrativa, foram definidos critérios rigorosos de inclusão e exclusão. Critérios de inclusão: (1) Estudos que abordem profissionais da área da saúde expostos ocupacionalmente à radiação ionizante, como biomédicos, radiologistas, técnicos em radiologia, enfermeiros, médicos e dentistas.; (2) Pesquisas que analisem exposição à radiação ionizante proveniente de equipamentos médicos e laboratoriais utilizados em procedimentos diagnósticos e terapêuticos; (3) Estudos clínicos (ensaios clínicos randomizados, estudos de coorte, Estudos transversais); (4) Artigos publicados nos últimos cinco anos para garantir que a revisão reflita as inovações mais recentes; (5) Apenas estudos completos, revisados por pares, com dados acessíveis sobre os indicadores de desempenho e a metodologia utilizada.

Critérios de exclusão: (1) exclusão de estudos que abordem pacientes, estudantes ou população em geral, sem vínculo ocupacional com fontes de radiação; (2) Artigos que tratem de radiação não ionizante, como ultrassom, luz infravermelha ou campos eletromagnéticos; (3) Pesquisas que apresentem dados duplicados, incompletos, ou que não forneçam informações essenciais sobre os resultados; (4) Estudos pagos que limitem o acesso completo aos dados ou à metodologia; (5) Estudos de caso, relatos de caso, caso controle.

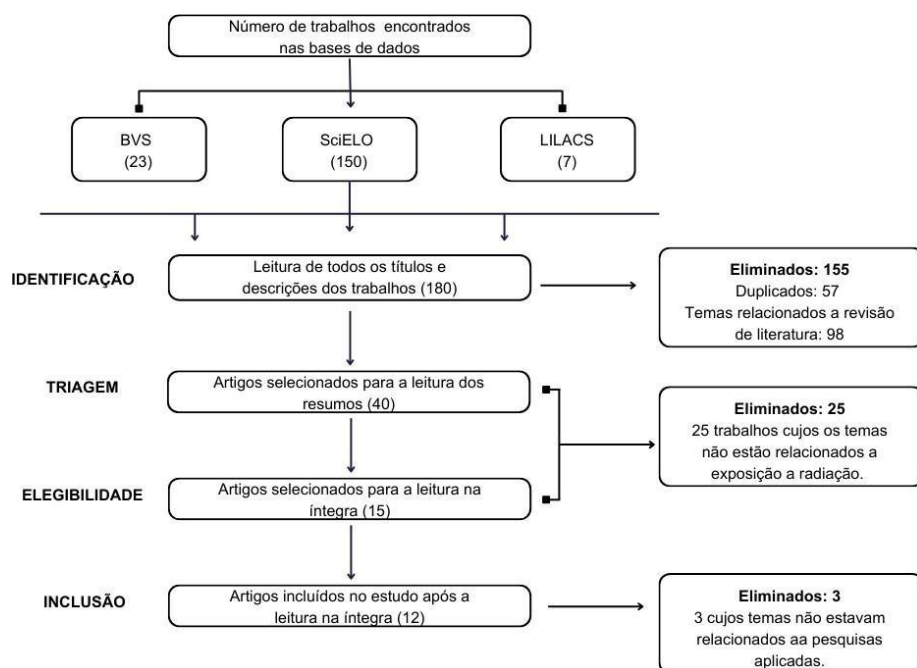
A aplicação desses critérios foi essencial para garantir que os estudos incluídos fossem relevantes, metodologicamente consistentes e de alta qualidade científica, contribuindo de forma significativa para o entendimento dos riscos ocupacionais, das práticas de radioproteção e das limitações associadas à exposição à radiação ionizante em profissionais da área da saúde.

### 3.1.3. Processo de Revisão e Síntese das Informações



O processo de revisão e síntese das informações foi conduzido de acordo com as diretrizes do PRISMA 2020, assegurando uma abordagem transparente, padronizada e reprodutível na seleção e análise dos estudos incluídos. Inicialmente, todas as referências identificadas nas bases de dados BVS, SciELO e LILACS foram importadas para o software de gerenciamento de revisões sistemáticas StArt (State of the Art through Systematic Review), utilizado para a triagem, organização e exclusão automática de registros duplicados. Em seguida, os títulos e resumos dos estudos remanescentes foram avaliados independentemente, com base nos critérios de inclusão e exclusão previamente definidos. Os artigos que atenderam aos critérios estabelecidos foram selecionados para leitura integral e análise aprofundada do texto completo.

**Figura 1 - Estratégia de busca e seleção**



**Fonte:** A autora (2025).

O processo de busca e seleção dos estudos está sintetizado na Figura 1. Inicialmente, foram identificados 180 textos a partir da pesquisa nas bases de dados definidas no protocolo. Após a leitura de títulos e resumos, foram selecionados 40

artigos que atendiam aos critérios mínimos de elegibilidade e, por isso, seguiram para leitura na íntegra. Nessa etapa, aplicaram-se de forma mais rigorosa os critérios de exclusão pré-estabelecidos, o que resultou na retirada de 25 estudos por não abordarem diretamente a exposição ocupacional à radiação ionizante, por apresentarem delineamento incompatível com os objetivos da revisão ou por não disponibilizarem dados suficientes para extração. Ao final do processo, 15 artigos foram separados para leitura na íntegra e 13 excluídos por não serem de pesquisas aplicadas, assim 12 artigos permaneceram e foram incluídos na revisão integrativa, compondo o corpo de evidências analisado neste trabalho. Os estudos identificados foram inicialmente triados por título e resumo. Após essa etapa, o material potencialmente elegível foi lido na íntegra para confirmação da pertinência temática.

A extração dos dados seguiu um roteiro padronizado, contemplando informações como autores, ano de publicação, país, tipo de exposição avaliada, população estudada, indicadores biológicos, práticas de radioproteção e principais achados. Com os dados extraídos, procedeu-se à análise integrativa. Os estudos foram agrupados por similaridade temática, procedimento que viabilizou a construção de categorias interpretativas. A organização dos achados em núcleos temáticos é coerente com a metodologia apresentada por Dantas (2022), que descreve essa etapa como fundamental para a síntese crítica dos resultados. A última etapa envolveu a interpretação dos achados e a elaboração da discussão. Esse movimento exigiu a comparação entre os estudos selecionados, a identificação de convergências, divergências e lacunas e a articulação dos resultados com o contexto da saúde ocupacional. Segundo Dhollande et al. (2022), a fase interpretativa não se limita à descrição dos dados, mas busca evidenciar implicações práticas e teóricas, bem como direcionamentos para futuras investigações. Dessa forma, o percurso metodológico adotado assegura a transparência do processo e permite que outros pesquisadores repliquem ou ampliem o escopo da presente revisão, em conformidade com as diretrizes contemporâneas de rigor científico na área da saúde

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Embora a exposição ocupacional à radiação ionizante seja um tema de relevância crescente na saúde pública, a produção científica brasileira recente ainda é limitada. Nos últimos cinco anos, apenas alguns estudos nacionais trataram diretamente da temática, com abordagens pontuais e concentradas em contextos específicos.

Entre esses trabalhos, destacam-se a análise das práticas de radioproteção em neurorradiologia intervencionista apresentada por Sebastião, Flôr e Anderson (2022), a investigação sobre mortalidade por neoplasias sólidas em trabalhadores expostos conduzida por Vieira, Martinez e Cardoso (2024) e a revisão crítica sobre proteção radiológica no contexto odontológico.

As pesquisas brasileiras encontradas representam praticamente a totalidade dos estudos recentes que examinam impactos, medidas de proteção ou indicadores biológicos associados à exposição laboral.

A escassez de publicações nacionais obriga a ampliação do escopo para pesquisas desenvolvidas em outros países, onde o volume de dados é mais robusto e as análises apresentam maior diversidade metodológica.

A maior parte das evidências incluídas neste levantamento deriva de investigações internacionais, que, apesar das diferenças estruturais entre os sistemas de saúde, contribuem de forma substantiva para compreender os riscos ocupacionais, os padrões de exposição e as falhas mais recorrentes nas práticas de radioproteção.

A seguir, apresenta-se o quadro de caracterização dos estudos selecionados, organizado de forma cronológica e integrando tanto as contribuições brasileiras quanto às referências internacionais que compõem o panorama atual da literatura científica.

**Quadro 2: Caracterização dos Estudos Seleccionados entre 2021 a 2025.**

<b>Ano</b>	<b>Autores / Título</b>	<b>Objetivo do Estudo</b>	<b>Tipo de Estudo</b>	<b>Principais Achados</b>
<b>2025</b>	<b>ZABARMAWI, Y. et al. Assessment of oxidative stress biomarkers in healthcare workers exposed to low dose of ionizing radiation.</b>	<b>Avaliar biomarcadores de estresse oxidativo em trabalhadores expostos a baixas doses de radiação.</b>	<b>Estudo analítico</b>	<b>Profissionais expostos apresentaram maior peroxidação lipídica e redução de antioxidantes, indicando impacto biológico mesmo em baixas doses.</b>
<b>2024</b>	<b>BAUDIN, C. et al. Radiation protection in a cohort of healthcare workers: knowledge, attitude, practices...</b>	<b>Avaliar conhecimento, atitudes e práticas de proteção radiológica entre profissionais.</b>	<b>Estudo transversal</b>	<b>Identificou lacunas expressivas em treinamento, uso inadequado de EPI e subestimação dos riscos ocupacionais.</b>
<b>2024</b>	<b>MILDER, C. M. et al. Occupational radiation dose trends in U.S. radiologic technologists...</b>	<b>Analisar tendências de doses ocupacionais em tecnólogos que atuam em procedimentos fluoroscópicos.</b>	<b>Coorte longitudinal</b>	<b>Queda gradual das doses ao longo de décadas, porém com picos específicos em procedimentos de maior complexidade.</b>

2024	MUSSMANN, B. et al. Radiation dose to multidisciplinary staff during complex interventional procedures.	Determinar a dose de radiação recebida por diferentes profissionais em procedimentos complexos.	Estudo observacional	Enfermeiros e anestesistas também receberam doses relevantes; reforça necessidade de radioproteção para toda a equipe.
2024	MANENTI, G. et al. Low-dose occupational exposure and cardiovascular effects...	Sintetizar evidências sobre efeitos cardiovasculares da exposição crônica de baixa dose.	Revisão narrativa	Baixas doses crônicas associadas a alterações inflamatórias e potenciais riscos cardiovasculares.
2024	VIEIRA, G. S.; MARTINEZ, M. C.; CARDOSO, M. R. A. Cancer mortality in workers exposed in the nuclear sector (Brasil).	Avaliar mortalidade por câncer em trabalhadores brasileiros expostos ocupacionalmente.	Estudo epidemiológico	Aumento de mortalidade por neoplasias sólidas, reforçando necessidade de vigilância ocupacional prolongada.
2024	O'ROURKE, M. et al. Knowledge, attitudes and practice of radiation protection...	Investigar conhecimentos e práticas de proteção radiológica em laboratórios intervencionistas.	Transversal	Baixa adesão ao uso consistente de avental e dosímetro; treinamento insuficiente.
2023	BAUDIN, C. et al. Occupational exposure to ionizing radiation in medical staff: 2009–2019 trends.	Comparar tendências de exposição ocupacional ao longo de uma década.	Estudo multicêntrico	Redução de exposição em algumas áreas, porém aumento em hemodinâmica e cardiologia intervencionista.

2022	SEBASTIÃO, L. M.; FLÔR, R. C.; ANDERSON, T. J. Radioproteção em neurorradiologia intervencionista (Brasil).	Avaliar práticas de proteção radiológica em setor de neurorradiologia.	Transversal	Falhas no uso de EPIs e barreiras; necessidade de educação permanente.
2022	McNAMARA, D. A. et al. Comparison of radiation exposure among professionals...	Comparar doses recebidas entre cardiologistas, ecocardiografistas e sonógrafos.	Observacional	Cardiologistas intervencionistas receberam as maiores doses; ecocardiografistas apresentaram exposição não desprezível.
2021	BOLBOL, S. A. et al. Healthcare workers exposure to ionizing radiation: oxidative stress...	Investigar estresse oxidativo em trabalhadores expostos.	Estudo clínico-laboratorial	Alterações significativas em marcadores oxidativos sugerem dano celular precoce.
2021	BEHZADMEHR, R. et al. Radiation protection among health care workers: a systematic review.	Revisar práticas, conhecimentos e atitudes sobre radioproteção.	Revisão sistemática	Evidenciou deficiências globais em formação, baixa adesão ao dosímetro e falhas estruturais de proteção.

**Fonte:** A autora (2025).

Os dados mais recentes mostram que trabalhadores expostos rotineiramente a baixas doses de radiação apresentam alterações significativas no equilíbrio oxidativo celular. Em avaliações laboratoriais, observaram-se níveis elevados de peroxidação lipídica e redução de defesas antioxidantes, indicando impacto cumulativo mesmo em exposições consideradas moderadas. Esses achados foram obtidos na investigação conduzida por Zabarmawi et al. (2025), que destacou a necessidade de monitoramento regular de marcadores biológicos entre profissionais expostos.

As dificuldades relacionadas ao uso adequado de medidas de proteção aparecem de maneira expressiva na literatura. Em um levantamento amplo que analisou práticas de radioproteção em hospitais franceses, verificou-se que muitos profissionais desconheciam limites de dose, utilizavam o dosímetro de forma irregular e não recebiam capacitação periódica. A análise desses comportamentos reforça que falhas na formação continuam sendo um fator central para a exposição evitável concluída no estudo de Baudin et al. (2024).

Mudanças mais lentas, mas perceptíveis, podem ser observadas em setores que modernizaram seus equipamentos ao longo de décadas. A redução progressiva da exposição entre tecnólogos radiológicos, apesar de evidente, não elimina riscos específicos ligados a procedimentos prolongados de fluoroscopia. Isso ficou claro na investigação longitudinal apresentada por Milder e colaboradores, publicada em 2024, que identificou picos de dose especialmente em intervenções cardiovasculares de maior duração.

Em serviços de radiologia intervencionista, a dinâmica do trabalho expõe diferentes categorias profissionais, não apenas médicos operadores. Houve registro de doses consideráveis acumuladas por enfermeiros, anestesistas e técnicos que permanecem próximos ao campo de radiação durante os procedimentos. Essa constatação, apresentada por Mussmann et al. (2024), reforça a importância de ampliar políticas de vigilância para toda a equipe envolvida.

Outra linha de investigação recente aponta para o risco cardiovascular associado à exposição crônica, ainda que em baixa intensidade. Alterações inflamatórias persistentes, disfunção endotelial e indícios de remodelamento vascular foram mencionados como possíveis consequências desse tipo de exposição. A síntese desses achados aparece na revisão elaborada por Manenti et al. (2024), que defende a inclusão de parâmetros cardiológicos no acompanhamento ocupacional.

No contexto brasileiro, estudos epidemiológicos também mostram repercussões importantes. Trabalhadores de uma empresa do setor nuclear apresentaram maior mortalidade por neoplasias sólidas quando comparados à população geral. A análise sugere relação entre tempo de serviço e risco acumulado, interpretação desenvolvida por Vieira, Martinez e Cardoso, cuja publicação ocorreu em 2024.

Em ambientes de hemodinâmica e laboratórios intervencionistas, a prática cotidiana ainda apresenta falhas que aumentam o risco ocupacional. Em muitos casos, aventais e óculos plumbíferos não são utilizados durante todo o procedimento, e barreiras móveis permanecem mal posicionadas. Esse cenário foi amplamente discutido por O'Rourke e colegas em 2024, ao analisar a discrepância entre o conhecimento teórico e a prática efetiva.

Ao longo da última década, observam-se diferenças marcantes entre as especialidades médicas quanto à exposição ocupacional à radiação ionizante. De acordo com a análise apresentada no estudo multicêntrico de Baudin et al. (2023), especialidades tradicionalmente ligadas à imagem, como a radiologia diagnóstica, a medicina nuclear e a radioterapia, apresentaram redução progressiva das doses ocupacionais, associada à evolução tecnológica dos equipamentos, à automação de processos e ao aprimoramento das práticas de proteção radiológica. Em contrapartida, especialidades intervencionistas registraram aumento significativo da exposição, com destaque para a cardiologia intervencionista, seguida pela eletrofisiologia cardíaca, cirurgia vascular e endovascular, neurorradiologia intervencionista e, em menor escala, a ortopedia intervencionista. Esse crescimento está diretamente relacionado à expansão e à maior complexidade dos procedimentos guiados por fluoroscopia, que demandam tempos prolongados de exposição e posicionamento próximo à fonte de radiação, configurando um cenário de maior risco ocupacional para esses profissionais.

No campo da neurorradiologia, as falhas mais comuns envolvem a utilização parcial dos equipamentos de proteção e a falta de treinamentos sistemáticos. Em serviços desse tipo, a rotina acelerada favorece a adoção de práticas improvisadas que aumentam o risco de exposição. Isso foi evidenciado no trabalho de Sebastião, Flôr e Anderson (2022), que analisou a adesão real aos protocolos de segurança. Profissionais que atuam em procedimentos estruturais cardíacos permanecem entre os mais expostos, sobretudo cardiologistas intervencionistas. Ecocardiografistas e sonógrafos, apesar de não operarem equipamentos emissores, acumulam doses devido ao tempo prolongado no ambiente de radiação. Essas conclusões derivam do estudo de McNamara e colaboradores, divulgado em 2022.

Alterações nos marcadores de estresse oxidativo também foram observadas em outra investigação, que comparou trabalhadores expostos a um grupo controle.



Os profissionais demonstraram níveis mais elevados de dano oxidativo, o que sugere efeitos celulares precoces decorrentes da exposição diária resultado descrito por Bolbol et al. (2021).

Uma revisão sistemática apontou que a insuficiência de treinamentos, o uso inconsistente de dosímetros e o desconhecimento dos limites de dose aparecem como problemas recorrentes em diversos países. Esses padrões foram identificados por Behzadmehr et al. (2021), que reuniram evidências de que falhas estruturais na radioproteção são amplamente compartilhadas entre diferentes sistemas de saúde.

A análise integrada dos estudos revela que, mesmo em cenários de baixa dose, a exposição ocupacional produz alterações mensuráveis no organismo. Evidências laboratoriais apontam desequilíbrios significativos no estresse oxidativo entre trabalhadores expostos, como observado em marcações bioquímicas avaliadas em pesquisa recente (Zabarmawi et al., 2025).

A presença desse tipo de alteração em profissionais que atuam rotineiramente em ambiente irradiado indica que o dano celular pode ocorrer antes de qualquer manifestação clínica, reforçando a relevância do monitoramento precoce.

Diante da possibilidade de ocorrência de danos celulares antes do surgimento de manifestações clínicas, pode-se propor um monitoramento ocupacional integrado, envolvendo diferentes níveis de vigilância. Esse monitoramento inclui o acompanhamento dosimétrico individual periódico, com uso de dosímetros corporais e, quando indicado, de extremidades e cristalino, associado ao monitoramento laboratorial seriado, especialmente por meio de hemograma completo e, em situações específicas, testes citogenéticos para detecção precoce de alterações celulares. Complementarmente, recomenda-se o monitoramento clínico e ocupacional periódico, com exames médicos focados em sinais precoces de exposição e registro sistemático das condições de trabalho, reforçando a detecção antecipada de riscos e a adoção de medidas preventivas em profissionais expostos à radiação ionizante.

Além disso, diversas investigações convergem ao destacar que as práticas de radioproteção permanecem insuficientes em diferentes países. Em levantamento realizado com profissionais de hospitais franceses, identificou-se utilização irregular de dosímetros e desconhecimento sobre limites de dose, situação documentada com clareza por Baudin et al. (2024).

A mesma fragilidade aparece em revisões que analisaram padrões de formação e conduta em múltiplos contextos, como demonstrado em estudo de avaliação internacional (Behzadmehr et al., 2021). Os dados permitem concluir que o problema não se limita a determinadas instituições, mas constitui um fenômeno estrutural presente em vários sistemas de saúde.

A modernização tecnológica contribuiu para a redução gradual das doses recebidas por algumas categorias ao longo dos anos, mas essa redução não foi uniforme. Em investigação longitudinal com tecnólogos radiológicos, observou-se queda progressiva da exposição, embora determinados procedimentos continuassem associados a picos de dose, especialmente em fluoroscopia prolongada (Milder et al., 2024).

A persistência desses picos destaca que avanços tecnológicos não eliminam a necessidade de estratégias rigorosas de proteção, principalmente em setores de maior complexidade técnica. O quadro evidencia também que o risco não se restringe aos operadores diretos dos equipamentos. Há registros de doses significativas acumuladas por enfermeiros, anestesistas e ecocardiografistas que permanecem no ambiente durante intervenções, o que ficou evidente nos resultados obtidos em serviços de radiologia intervencionista (Mussmann et al., 2024).

A exposição de múltiplos profissionais, e não apenas do especialista que conduz o procedimento, reforça a necessidade de ampliar os protocolos de radioproteção para toda a equipe. As repercussões sistêmicas da exposição prolongada também foram exploradas na literatura recente. Alterações inflamatórias e vasculares relacionadas à radiação crônica foram discutidas em revisão narrativa que examinou potenciais desdobramentos cardiovasculares desse tipo de exposição (Manenti et al., 2024). Quando articulados aos achados sobre estresse oxidativo, esses resultados sugerem que os danos podem se estender da esfera molecular para implicações clínicas de longo prazo.

No cenário brasileiro, estudos epidemiológicos acrescentam elementos importantes para a compreensão dos riscos. Trabalhadores de uma empresa do setor nuclear apresentaram maior mortalidade por neoplasias sólidas, associação discutida por Vieira, Martinez e Cardoso (2024).

A relação entre tempo de exposição e desfechos fatais reforça a necessidade de acompanhamento longitudinal e fiscalização interna contínua, especialmente em ambientes onde a exposição ocorre há décadas.

A literatura também aponta falhas específicas em setores de intervenção guiada por imagem. Pesquisas que analisaram laboratórios de hemodinâmica e salas de radiologia revelaram baixa adesão ao uso de barreiras plumbíferas, aventais e óculos de proteção, uma realidade descrita por O'Rourke et al. (2024). Tendências semelhantes foram identificadas em um estudo multicêntrico que avaliou a evolução da exposição entre 2009 e 2019, indicando aumento da carga de radiação em especialidades que utilizam fluoroscopia intensiva (Baudin et al., 2023).

Em neurorradiologia, a situação não é distinta: registros apontam que protocolos formais de radioproteção nem sempre são seguidos na prática cotidiana, como demonstrado em pesquisa conduzida em serviço intervencionista (Sebastião; Flôr; Anderson, 2022). O ambiente acelerado, típico dos procedimentos neurológicos, favorece omissões que ampliam a dose recebida pela equipe.

A exposição elevada em cardiologia intervencionista também foi detalhada em estudo comparativo que identificou cardiologistas como os mais expostos durante intervenções estruturais, seguidos de ecocardiografistas e sonógrafos que permanecem no campo de radiação por tempo prolongado (McNamara et al., 2022). Por outro lado, alterações laboratoriais relacionadas ao estresse oxidativo já haviam sido observadas anteriormente em trabalhadores expostos, reforçando o alerta sobre danos celulares precoces (Bolbol et al., 2021).

Quando analisados em conjunto, os achados indicam que a proteção radiológica depende menos da existência de normas e mais da capacidade das instituições de garantir sua aplicação efetiva. A persistência de falhas sistemáticas, a exposição de múltiplos profissionais e os efeitos biológicos identificados em diferentes contextos sugerem que a mitigação dos riscos associados à radiação ionizante exige políticas de educação permanente, supervisão contínua e integração entre setores.

A discussão resultante do quadro demonstra que a radiação ocupacional permanece como um desafio significativo e que sua gestão demanda atenção constante por parte das equipes e das instituições responsáveis.

## 5 CONCLUSÃO

A revisão integrativa realizada evidência que a exposição ocupacional à radiação ionizante permanece como uma dimensão estruturante do trabalho em diversos serviços de saúde, sobretudo naqueles que operam com procedimentos diagnósticos e intervencionistas de alta complexidade.

A análise do conjunto dos estudos revela que, embora haja avanços tecnológicos e normativos capazes de mitigar riscos, persistem lacunas importantes entre o que é regulamentado e o que se materializa nos processos assistenciais.

Ao observar o cenário internacional, nota-se uma tendência de redução gradual das doses recebidas pelos trabalhadores, resultado associado à renovação tecnológica dos equipamentos, ao uso sistemático de ferramentas de vigilância e à consolidação de culturas institucionais orientadas pela segurança. Contudo, essa tendência não encontra equivalência plena no contexto brasileiro.

Mesmo nos estudos nacionais identificados, sobressai a constatação de que a efetividade das normativas como as CNEN NN 3.01 e NN 3.02, entre outras depende menos de sua existência formal e mais da capacidade institucional de incorporá-las de modo sistemático às rotinas de trabalho.

A partir da articulação dos achados, observa-se que a proteção radiológica não pode ser tratada apenas como um conjunto de normas, mas como uma política institucional que requer planejamento, responsabilização e continuidade. O fortalecimento de programas de radioproteção demanda investimentos em infraestrutura, supervisão técnica qualificada, rigor no controle das doses ocupacionais e valorização do monitoramento como elemento central da segurança do trabalhador.

A formação continuada das equipes, integrada às exigências legais e articulada com a realidade dos serviços, também se destaca como componente indispensável para o enfrentamento das exposições evitáveis.

Os resultados reunidos nesta revisão apontam, portanto, para a necessidade de ampliar a produção científica brasileira, aprimorar os sistemas de vigilância ocupacional e incentivar práticas organizacionais que convertam os dispositivos normativos em ações efetivas de proteção.

A consolidação desses elementos representa o caminho mais consistente para garantir ambientes assistenciais mais seguros, reduzir riscos cumulativos e promover condições de trabalho compatíveis com os padrões internacionais de segurança radiológica.

## REFERÊNCIAS

BAUDIN, C. et al. Occupational exposure to ionizing radiation in medical staff: trends during the 2009–2019 period in a multicentric study. *European Radiology*, Heidelberg, v. 33, n. 6, p. 4220–4229, 2023. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36930262/>. Acesso em: 27 nov. 2025.

BAUDIN, C. et al. Radiation protection in a cohort of healthcare workers: knowledge, attitude, practices, feelings and IR-exposure in French hospitals. *Journal of Radiological Protection*, Bristol, v. 44, n. 1, p. 013501, 2024. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38569480/>. Acesso em: 27 nov. 2025.

BEHZADMEHR, R. et al. Radiation protection among health care workers: knowledge, attitude, practice, and clinical recommendations: a systematic review. *Reviews on Environmental Health*, v. 36, n. 2, p. 223–234, 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32894727/>. Acesso em: 27 nov. 2025.

BOLBOL, S. A. et al. Healthcare workers exposure to ionizing radiation: oxidative stress and antioxidant response. *Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine*, v. 25, n. 2, p. 72–77, 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34421241/>. Acesso em: 27 nov. 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 330, de 20 de dezembro de 2019. Dispõe sobre boas práticas para serviços de radiologia diagnóstica ou intervencionista. Brasília: ANVISA, 2019.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 611, de 9 de fevereiro de 2022. Estabelece requisitos técnicos para equipamentos emissores de radiação ionizante utilizados em radiologia médica. Brasília: ANVISA, 2022.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR-32 – Segurança e Saúde no Trabalho em Serviços de Saúde. Portaria nº 485, de 11 de novembro de 2005. Disponível em: <https://www.gov.br>. Acesso em: 27 nov. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR-6 – Equipamento de Proteção Individual – EPI. Portaria nº 3.214, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br>. Acesso em: 27 nov. 2025.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (Brasil). *CNEN NN 3.01: Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica*. Brasília: CNEN, 2025.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (Brasil). *CNEN NN 3.02: Serviços de Radioproteção*. Brasília: CNEN, 2018.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (Brasil). *CNEN NN 3.05: Requisitos de Radiodiagnóstico Médico*. Brasília: CNEN, 2013.

COSTA, K. M. R. Aplicabilidade dos direitos fundamentais aos trabalhadores autônomos. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 8, n. 5, p. 556–567, 2022.

DOI: 10.34117/bjdv8n5-556.

DANTAS, H. L. L. de. Revisão integrativa: panorama atual e caminhos metodológicos para pesquisas na saúde. *Revista Recien*, v. 12, n. 39, p. 104–112, 2022. Disponível em: <https://recien.com.br/index.php/Recien/article/view/575>. Acesso em: 27 nov. 2025.

DHOLLANDE, S. et al. Building a framework for an integrative literature review for novice researchers: a step-by-step guide. *Journal of Nursing Education and Practice*, v. 12, n. 5, p. 1–8, 2022. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8894639/>. Acesso em: 27 nov. 2025.

FILGUEIRAS, V. A. (org.). *Saúde e segurança do trabalho no Brasil*. Salvador: ABET, 2017. Disponível em: <https://abet-trabalho.org.br/wp-content/uploads/2018/12/Livro-Saúde-e-Segurança-do-Trabalho-no-Brasil.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2025.

MANENTI, G. et al. Low-dose occupational exposure to ionizing radiation and cardiovascular effects: a narrative review. *Healthcare*, Basel, v. 12, n. 2, p. 238, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-9032/12/2/238>. Acesso em: 27 nov. 2025.

McNAMARA, D. A. et al. Comparison of radiation exposure among interventional echocardiographers, interventional cardiologists, and sonographers during percutaneous structural heart interventions. *JAMA Network Open*, v. 5, n. 7, e2222879, 2022. Disponível em: <https://jamanetwork.com/journals/jamanetworkopen/fullarticle/2793929>. Acesso em: 27 nov. 2025.

MILDER, C. M. et al. Occupational radiation dose trends in U.S. radiologic technologists assisting with fluoroscopically guided interventional procedures, 1980–2020. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*, New York, v. 35, n. 4, p. 561–569, 2024. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38599279/>. Acesso em: 27 nov. 2025.

MUSSMANN, B. et al. Radiation dose to multidisciplinary staff members during complex interventional procedures. *Radiography*, London, v. 30, n. 2, p. 321–328, 2024. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38241981/>. Acesso em: 27 nov. 2025.

O'ROURKE, M. et al. An investigation into the knowledge, attitudes, and practice of radiation protection in interventional radiology and cardiac catheter-laboratories. *Journal of Medical Imaging and Radiation Sciences*, v. 55, n. 3, p. 101440, 2024. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38908031/>. Acesso em: 27 nov. 2025.

SANTOS, C. J. et al. Public policies for occupational safety and health in Brazil. *Ciência & Saúde Coletiva*, Rio de Janeiro, v. 30, n. spe., p. 1–12, 2025. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/HZNPry4YF8PXQ8qGbHSBqgk/>. Acesso em: 28 nov. 2025.

SEBASTIÃO, L. M.; FLÔR, R. C.; ANDERSON, T. J. A prática de proteção radiológica em um serviço de neurorradiologia intervencionista. *Revista Brasileira de Medicina do*

*Trabalho*, v. 20, n. 3, 2022. Disponível em: <https://www.rbmt.org.br/details/1705/pt-BR/a-pratica-de-protecao-radiologica-em-um-servico-de-neurorradiologia-intervencionista>. Acesso em: 27 nov. 2025.

SCHULTZ, I.; CHANG, X.; KENDALL, E. (org.). *Handbook of disability, work and health*. Cham: Springer, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-24334-0>. Acesso em: 28 nov. 2025.

VIEIRA, G. S.; MARTINEZ, M. C.; CARDOSO, M. R. A. Cancer mortality in workers at risk of occupational exposure to ionizing radiation in a company in the nuclear sector headquarters in São Paulo. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 27, e240011, 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbepid/a/RcnbC4CjsZJL59Ncfjdmp9J/>. Acesso em: 27 nov. 2025.

ZABARMAWI, Y. et al. Assessment of oxidative stress biomarkers in healthcare workers exposed to low dose of ionizing radiation in Saudi Arabia. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, v. 18, 2025. No prelo. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1687850725004935>. Acesso em: 27 nov. 2025.