

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE FÍSICA

ELISA RODRIGUES DE SOUSA COUTINHO

Estudo de dose ocupacional de radiação em cirurgias ortopédicas

Uberlândia
2024

ELISA RODRIGUES DE SOUSA COUTINHO

Estudo de dose ocupacional de radiação em cirurgias ortopédicas

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Física da Universidade Federal de
Uberlândia como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Física Médica.

Orientador: Prof. Dr. Lucio Pereira Neves

Uberlândia

2024

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

C871 2024	Coutinho, Elisa Rodrigues de Sousa, 1999- Estudo de dose ocupacional de radiação em cirurgias ortopédicas [recurso eletrônico] / Elisa Rodrigues de Sousa Coutinho. - 2024. Orientador: Lucio Pereira Neves. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Uberlândia, Graduação em Física Médica. Modo de acesso: Internet. Inclui bibliografia. Inclui ilustrações. 1. Física médica. I. Neves, Lucio Pereira, 1982-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Graduação em Física Médica. III. Título. CDU: 61:53
--------------	---

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

ELISA RODRIGUES DE SOUSA COUTINHO

Estudo de dose ocupacional de radiação em cirurgias ortopédicas

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Física da Universidade Federal de
Uberlândia como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em

Área de concentração: Física Médica

Uberlândia, 26 de setembro de 2024

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Lucio Pereira Neves – UFU

Orientador

Me. e Especialista Cássio Vilela Komatsu – HC-UFU/EBSERH e PPGEB-UFU

Me. e Especialista Samara Pavan de Souza – HC-UFG/EBSERH e PPGEB-UFU

Dedico este trabalho aos meus pais, que
sempre me apoiaram e incentivaram a seguir
meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Lucio Pereira Neves, o incentivo que foi me dado durante a minha graduação e por aceitar a função de orientação nesta caminhada acadêmica, compartilhando do seu conhecimento. Agradeço ainda a liberdade fornecida durante o desenvolvimento do trabalho proporcionando conforto e tranquilidade no amadurecimento deste.

À professora Ana Paula Perini que sempre incentivou e teve compaixão e empatia por todos os seus alunos.

À minha família, pelo amor incondicional e por me dar forças e acreditarem no meu potencial durante toda a minha caminhada.

Aos meus amigos que fiz durante a minha graduação, por me proporcionarem lembranças felizes e momentos de esparecimento.

À Universidade Federal de Uberlândia por ser responsável por toda minha graduação, pois foi onde pude amadurecer e adquirir todo o meu conhecimento que tenho hoje.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida pelo Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica Edital Nº 06/2022 PIBIC-CNPq que proporcionou o tema deste trabalho.

A todos, embora não citados, que contribuíram de alguma maneira para a conclusão do trabalho.

Este trabalho foi desenvolvido com o auxílio financeiro das agências de fomento:

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por meio dos projetos de pesquisa 312160/2023-2 (L.P.N), 312124/2021-0 (A.P.P), UNIVERSAL (407493/2021-2); MAI/DAI (403556/2020-1).

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) por meio dos projetos de pesquisa APQ-04215-22, APQ-01254-23 e APQ-04348-23.

Este trabalho fez parte do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Instrumentação Nuclear e Aplicações na Indústria e Saúde (INCT/INAIS), Projeto CNPq 406303/2022-3.

RESUMO

Proteger os profissionais de saúde durante cirurgias ortopédicas contra a exposição à radiação é crucial, sendo a dosimetria ocupacional uma ferramenta essencial para o monitoramento das doses recebidas. A exposição à radiação ionizante pode representar graves riscos para a saúde, tornando essencial garantir que as doses sejam mantidas dentro dos limites regulamentares, minimizando os riscos associados. A pesquisa analisou dados de bases eletrônicas (CAPES, MEDLINE, PUBMED e SCIELO) entre 1959 e 2024 para estimar a exposição à radiação de profissionais de saúde durante procedimentos cirúrgicos ortopédicos. Ao comparar os estudos, foi identificado que certas áreas do corpo, como mãos, olhos, tórax e gônadas, são mais suscetíveis à exposição à radiação. Infelizmente, os valores nestas áreas excedem frequentemente os limites regulamentares, necessitando de medidas adicionais de proteção e sensibilização. Em conclusão, a dosimetria ocupacional em cirurgias ortopédicas é fundamental para monitorar a exposição dos profissionais de saúde à radiação. Com uma abordagem criteriosa e estratégias bem definidas, é possível reduzir os riscos associados à exposição e proteger a saúde da equipe cirúrgica.

Palavras-chave: radiologia intervencionista; radiodiagnóstico; cirurgia ortopédica; dosimetria ocupacional; radioproteção.

ABSTRACT

Protecting healthcare professionals during orthopedic surgeries from radiation exposure is crucial, with occupational dosimetry serving as an essential tool for monitoring the doses received. Exposure to ionizing radiation can pose serious health risks, making it imperative to ensure that doses are kept within regulatory limits to minimize associated risks. This research analyzed data from electronic databases (CAPES, MEDLINE, PUBMED, and SCIELO) between 1959 and 2024 to estimate healthcare professionals' radiation exposure during orthopedic surgical procedures. A comparison of studies revealed that certain body areas, such as hands, eyes, chest, and gonads, are more susceptible to radiation exposure. Unfortunately, the radiation levels in these areas often exceed regulatory limits, highlighting the need for additional protective measures and increased awareness. In conclusion, occupational dosimetry in orthopedic surgeries is fundamental for monitoring healthcare professionals' radiation exposure. With a careful approach and well-defined strategies, it is possible to reduce the associated risks and safeguard the health of the surgical team.

Keywords: interventional radiology; radiodiagnosis; orthopedic surgery; occupational dosimetry; radioprotection.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Esquema do tubo de raios X	18
Figura 2 -	Esquema de emissão de raios X de freamento	19
Figura 3 -	Espectro contínuo de raio X	19
Figura 4 -	Esquema de emissão de raios X característicos	20
Figura 5 -	Limites anuais estabelecidos pela Norma CNEN-NN 3.01	20
Figura 6 -	Estrutura de um Intensificador de Imagem	24
Figura 7 -	Esquema de equipamento de fluoroscopia	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Relação da dose média de exposição à radiação ionizante no cristalino dos profissionais	26
Tabela 2 -	Relação da dose média de exposição à radiação ionizante nas gônadas dos profissionais	29
Tabela 3 -	Relação da dose média de exposição à radiação ionizante nas mãos dos profissionais	32
Tabela 4 -	Relação da dose média de exposição à radiação ionizante na tireoide dos profissionais	40
Tabela 5 -	Relação da dose média de exposição à radiação ionizante no tórax dos profissionais	44
Tabela 6 -	Média, mediana e valores mínimo e máximo para a região do cristalino	47
Tabela 7 -	Média, mediana e valores mínimo e máximo para a região das gônadas	48
Tabela 8 -	Média, mediana e valores mínimo e máximo para a região das mãos	49
Tabela 9 -	Média, mediana e valores mínimo e máximo para a região da tireoide	50
Tabela 10 -	Média, mediana e valores mínimo e máximo para a região do tórax	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>ALARA</i>	Tão baixo quanto razoavelmente exequível (<i>As low as reasonably achievable</i>)
CAE	Controle Automático de Exposição
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
DNA	Ácido desoxirribonucleico
EPC	Equipamento de proteção coletiva
EPI	Equipamento de proteção individual
<i>IAEA</i>	Agência Internacional de Energia Atômica (<i>International Atomic Energy Agency</i>)
<i>ICRP</i>	Comissão Internacional de Proteção Radiológica (<i>International Commission on Radiological Protection</i>)
<i>ICRU</i>	Comissão Internacional de unidades e medidas de radiação (<i>International Commission for radiation units and measurements</i>)
IRD	Instituto de Radioproteção e Dosimetria
LD	Lateral direito
LE	Lateral esquerdo
<i>NCRP</i>	Conselho Nacional de Proteção e Medidas de Radiação (<i>National Council on Radiation Protection and Measurements</i>)
<i>OSL</i>	Luminescência ópticamente estimulada (<i>Optically stimulated luminescence</i>)
RI	Radiologia intervencionista
<i>TLD</i>	Dosímetro termoluminescente (<i>Thermoluminescent dosimeter</i>)
<i>UNSCEAR</i>	Comitê Científico das Nações Unidas sobre os Efeitos da Radiação Atômica (<i>United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation</i>)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
1.1	OBJETIVOS.....	10
1.1.1	Objetivo geral.....	10
1.1.2	Objetivo específico	10
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1	RAIOS X	11
2.1.1	Radiação de freamento	12
2.1.2	Raios X característicos	13
2.1.3	Efeitos biológicos da radiação ionizante	13
2.1.4	Radiossensibilidade.....	15
2.2	PROTEÇÃO RADIOLÓGICA.....	15
2.2.1	Normas e legislação.....	16
2.2.2	Princípios básicos.....	17
2.2.3	Equipamentos de proteção individual e coletiva	17
2.3	RADIOLOGIA INTERVENCIONISTA.....	19
2.3.1	Equipamento de fluoroscopia	19
3	METODOLOGIA.....	21
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	22
4.1	ANÁLISE DAS DOSES RECEBIDAS PELA EQUIPE MÉDICA	47
4.2	ESTUDOS QUALITATIVOS SOBRE A EXPOSIÇÃO	51
5	CONCLUSÃO.....	54
	REFERÊNCIAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos na medicina impactaram significativamente a detecção e tratamento de problemas de saúde, tendo a radiologia intervencionista (RI) desempenhado um papel importante em procedimentos terapêuticos menos invasivos (CANEVARO, 2009).

A cirurgia ortopédica se beneficia da RI fornecendo procedimentos minimamente invasivos, como reparo de fraturas e tratamento de problemas articulares. No entanto, persistem preocupações sobre a exposição à radiação, tornando a dosimetria ocupacional uma questão crítica (CNEN, 2024; MOURA, 2015).

A introdução de técnicas de fluoroscopia, embora benéfica para os pacientes, levanta preocupações sobre o potencial aumento dos riscos de exposição à radiação para a equipe cirúrgica. Isto apresenta desafios únicos, incluindo a incerteza sobre os efeitos desconhecidos da exposição ocupacional a baixas doses (DOMINGOS, 2013; NUNES, 2022).

Nesse cenário, o monitoramento individual da exposição à radiação desempenha papel fundamental, fornecendo informações essenciais para o controle e redução da exposição. Seguindo as diretrizes da Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP, 2007), a definição de limites de exposição visa proteger a saúde dos profissionais, revisando constantemente as estimativas de risco e comprometendo-se com a segurança radiológica (DIETZE, 1994; MOURA, 2019; ANTUNES-RAPOSO, 2022).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar e quantificar a exposição à radiação ionizante enfrentada pelos profissionais de saúde durante a realização de procedimentos ortopédicos guiados por RI. Essa avaliação permite compreender a extensão da exposição dos membros da equipe médica, e verificar se os níveis de exposição estão dentro dos limites de segurança estabelecidos pelas diretrizes regulatórias e normas internacionais.

1.1.2 Objetivo específico

O estudo busca alcançar os seguintes objetivos específicos:

1. Revisar e compilar dados de estudos prévios que quantificaram a dose de radiação absorvida pelos diferentes membros da equipe cirúrgica durante a realização de cirurgias ortopédicas assistidas RI, considerando áreas específicas do corpo como cristalino, gônadas, mãos, tórax e tireoide;
2. Comparar os valores relatados na literatura com os limites de exposição ocupacional recomendados por normas regulamentadoras, incluindo as diretrizes da CNEN e da ICRP;
3. Analisar a eficácia das medidas de radioproteção descritas nos estudos revisados, incluindo o uso de equipamentos de proteção individual (EPIs), avaliando se essas medidas têm contribuído para a redução da exposição à radiação;
4. Oferecer recomendações e orientações baseadas nos dados revisados, com o objetivo de otimizar as práticas de radioproteção e promover um ambiente de trabalho mais seguro para os profissionais envolvidos em cirurgias ortopédicas guiadas por RI.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 RAIOS X

Os raios X são radiações eletromagnéticas de alta energia que foram descobertos por Wilhelm Roentgen em 1895 (LIMA, 2009; OKUNO e YOSHIMURA, 2010). A produção de raios X se inicia dentro do tubo de raios X, esquematizado na Figura 1.

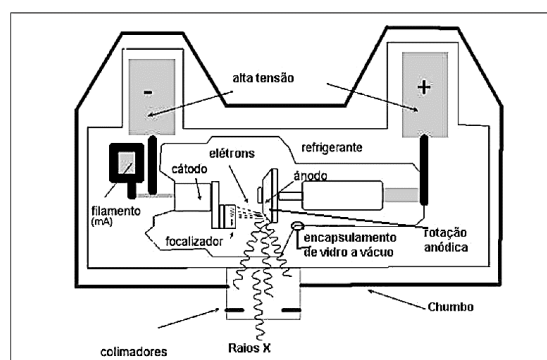
O tubo consiste em dois eletrodos metálicos, o cátodo e o anodo, contidos dentro de um encapsulamento de vidro a vácuo. O cátodo emite elétrons por emissão termiônica. Estes elétrons são acelerados até o anodo e atingem um ponto denominado ponto focal do alvo, produzindo raios X e calor (CANEVARO, 2009, p. 106).

Ainda, conforme Canevaro (2009, p. 106):

A tensão e a corrente aplicadas ao tubo definem as características da radiação X produzida. A corrente aplicada ao tubo (mA) é relacionada ao número de elétrons, e, portanto, ao número de fótons produzidos; já a tensão aplicada (kV) afeta a energia dos raios X, e, portanto, seu poder de penetração. O ponto focal é a região do alvo do tubo onde ocorrem as colisões dos elétrons emitidos pelo filamento, e é o local de origem dos raios X produzidos. O tamanho do ponto focal é muito importante para a formação da imagem. Um ponto focal menor resulta em imagens mais nítidas.

Além do funcionamento técnico do tubo de raio X, existem dois processos principais envolvidos na geração de raios X: a radiação de freamento e os raios X característicos (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

Figura 1 – Esquema do tubo de raios X



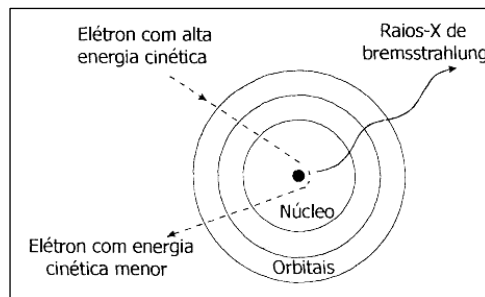
Fonte: CANEVARO (2009)

2.1.1 Radiação de freamento

Para Okuno e Yoshimura (2010, p. 36), “um fóton de raio X é criado quando um elétron sofre uma desaceleração brusca devido à atração causada pelo campo coulombiano do núcleo”. Portanto, essa interação do elétron com o núcleo pode ser vista na Figura 2.

Os raios X assim gerados são chamados radiação de freamento, tradução da palavra alemã *Bremsstrahlung*, e podem ter qualquer energia que depende do grau de aproximação do elétron do núcleo e da energia cinética do elétron. Assim, o espectro de raios X de freamento é contínuo [...] (OKUNO; YOSHIMURA. 2010, p. 36, grifo do autor).

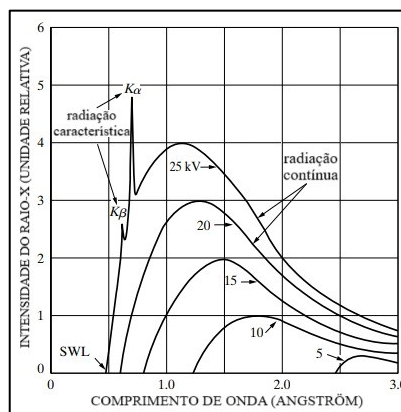
Figura 2 - Esquema de emissão de raios X de freamento



Fonte: ROS (2000)

O espectro contínuo, como observado na Figura 3, vem da energia emitida pela desaceleração, que está relacionada à distância entre o elétron e o núcleo. “Quanto mais próximo o elétron passar do núcleo, mais fortemente será defletido de sua trajetória inicial, transformando uma grande fração de sua energia cinética (até 100 %) em um fóton de raios X” (ROS, 2000, p. 12).

Figura 3 – Espectro contínuo de raio X



Fonte: Adaptado de CULLITY (2001, p. 5)

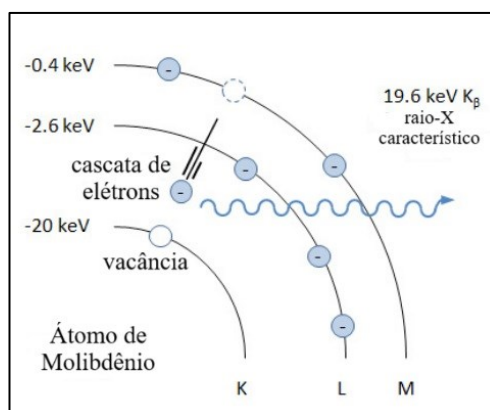
2.1.2 Raios X característicos

Os raios X característicos são produzidos quando um elétron transfere sua energia para outro de uma camada interna do alvo. Isso faz com que o elétron seja ejetado dessa camada, deixando o átomo instável e com uma vacância (ROS, 2000; IAEA, 2014).

Quando a vaga criada pelo elétron ejetado é preenchida com um elétron de uma camada mais externa, a energia correspondente à diferença entre os orbitais é emitida na forma de radiação eletromagnética, e o átomo volta ao seu estado normal [...]. Estes fótons emitidos são chamados de raios X característicos por apresentarem valores discretos de energia e por serem característicos dos átomos do alvo e dos orbitais envolvidos na transição dos elétrons (ROS, 2000, p.13).

A Figura 4 ilustra o processo de emissão de raios X característicos, com a ejeção do elétron, o preenchimento da vacância e a emissão dos raios X característicos.

Figura 4 – Esquema de emissão de raios X característicos



Fonte: Adaptado de IAEA (2014, p. 9)

2.1.3 Efeitos biológicos da radiação ionizante

O uso dos raios X na prática médica é bastante reconhecida, mas sua capacidade de ionização apresenta riscos significativos aos tecidos humanos. Conforme Lima (2009), “os primeiros estudos sobre os efeitos da radiação na genética foram divulgados somente em 1927”, indicando uma falta inicial de proteção adequada devido ao desconhecimento dos efeitos biológicos da radiação (CULLITY, 2001; LIMA, 2009; OKUNO, 2013).

A interação da radiação ionizante com átomos das células pode causar mutações genéticas, morte celular e danos ao DNA, variando sua resposta conforme o dano ao núcleo. No ciclo celular, as células mais suscetíveis à radiação são aquelas em fase de mitose, devido à replicação do DNA, e as células não diferenciadas, que se dividem mais frequentemente e necessitam de toda a informação contida no DNA (HERSCOVICI, 2000; IAEA, 2014).

A radiação pode interagir diretamente com moléculas essenciais como o DNA ou indiretamente, através da radiólise da água, formando radicais livres que danificam outras estruturas (ENDLICH, 2018; LOURENÇO, 2021).

A sequência dos efeitos biológicos da radiação passa pelos seguintes estágios, conforme descrito por Okuno e Yoshimura (2010, p. 204):

- a) estágio físico: dura cerca de 10^{-15} s, intervalo de tempo durante o qual ocorrem as ionizações e as excitações dos átomos que constituem as moléculas; as excitações causam pouco efeito, ao passo que as ionizações dos átomos causam desequilíbrio eletrostático das moléculas, que passam para o segundo estágio.
- b) estágio físico-químico: dura cerca de 10^{-6} s. Após o estágio físico, ocorrem as quebras das ligações químicas da molécula, em consequência da ionização de um dos seus átomos. Antes, os átomos de uma molécula permaneciam unidos por forças elétricas, mas esse equilíbrio pode ter sido rompido pela ionização de um único átomo.
- c) estágio químico: dura poucos segundos, quando os fragmentos da molécula se ligam a outras moléculas, algumas importantes, como as de proteína ou enzima.
- d) estágio biológico: dura dias, semanas ou anos, quando surgem efeitos bioquímicos ou fisiológicos que produzem alterações morfológicas e/ou funcionais dos órgãos.

A classificação dos efeitos induzidos pela radiação pode ser feita com base em diversos critérios, como o valor da dose, resposta do organismo, tempo de manifestação e a gravidade (SOUZA, 2008). Dessa forma, de acordo com o Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD), os efeitos podem ser classificados em efeitos estocásticos, reações teciduais, efeitos somáticos e genéticos.

Tauhata *et al.* (2014, p. 128, grifo do autor) descrevem os efeitos estocásticos como sendo “efeitos em que *a probabilidade de ocorrência é proporcional à dose de radiação recebida, sem a existência de limiar*”. As reações teciduais, por outro lado, são causadas por “doses elevadas, acima do limiar, *onde a severidade ou gravidade do dano aumenta com a dose aplicada*” (TAUHATA *et al.*, 2014, p. 129, grifo do autor).

Os efeitos somáticos “surgem do dano nas células do corpo e o efeito aparece na própria pessoa irradiada. Dependem da dose absorvida, da taxa de absorção da energia da radiação, da região e da área do corpo irradiada” (TAUHATA *et al.*, 2014, p. 130). Os efeitos genéticos são “efeitos que surgem no descendente da pessoa irradiada, como resultado do dano produzido pela radiação em células dos órgãos reprodutores, as gônadas. Têm caráter cumulativo e independe da taxa de absorção da dose” (TAUHATA *et al.*, 2014, p. 130).

Por fim, é importante considerar os efeitos imediatos e tardios da radiação. Os efeitos imediatos manifestam-se num curto intervalo de tempo após a exposição, geralmente associados a doses elevadas de radiação, como eritemas, náuseas e vômitos. Já os efeitos tardios surgem em um intervalo mais longo após a exposição e estão relacionados a doses menores de radiação (SOARES, 2011; OKUNO, 2013; TAUHATA, 2014).

2.1.4 Radiossensibilidade

A radiossensibilidade refere-se à resposta das células e tecidos à radiação ionizante. Bergonié e Tribondeau, em 1906, observaram que a radiossensibilidade variava em função do tecido biológico afetado e o estado metabólico, sendo pioneiros em relação à radiossensibilidade. Fatores como menor diferenciação celular, idade dos órgãos e tecidos e maior atividade metabólica podem aumentar a radiossensibilidade (BERGONIÉ, 1959).

2.2 PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

A proteção radiológica visa garantir a segurança dos profissionais e pacientes envolvidos com radiação ionizante, além de preservar o meio ambiente de seus efeitos prejudiciais (SOUZA, 2008; TAUHATA, 2014).

No ambiente clínico, abrange medidas preventivas, como a otimização dos protocolos de imagem, controle de qualidade dos equipamentos, monitoramento da dose por meio de dosímetros pessoais, uso de EPI e equipamentos de proteção coletiva (EPC) para proteção dos profissionais. Além disso, a proteção radiológica envolve a educação e o treinamento contínuo dos profissionais de saúde para a compreensão dos efeitos biológicos da radiação e das melhores práticas de segurança (IAEA, 2014; MOURA, 2015; ANDERSON, 2022).

2.2.1 Normas e legislação

A evolução da regulamentação internacional em proteção radiológica teve início no Segundo Congresso Internacional de Radiologia em 1928, com a criação da ICRP e do *International Committee on Radiation Units and Measurements* (ICRU), formado em 1925, que definiram diretrizes e unidades para esse campo. Desde então, surgiram diversas organizações, como a *National Council on Radiation Protection and Measurements* (NCRP), que propôs o princípio "As Low As Reasonably Achievable" (ALARA), recomendando que a exposição à radiação deve ser mantida tão baixa quanto razoavelmente possível, a *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation* (UNSCEAR) e a *International Atomic Energy Agency* (IAEA), para tratar de questões relacionadas aos efeitos e à segurança da energia nuclear (CLARKE, 2009; TAUHATA, 2014; DOROW, 2019).

No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) controla o uso de raios X, enquanto a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), estabelecida em 1956 seguindo recomendações internacionais, regulamenta o uso de radiação ionizante. A regulamentação brasileira foi aprimorada ao longo dos anos, alinhadas com as diretrizes da ICRP, com a revisão da Resolução nº 6 de 1973 resultando na CNEN-NE 3.01 em 1988, estabelecendo diretrizes fundamentais de proteção radiológica, que posteriormente foi incorporada à Portaria SVS/MS Nº 453 (ROS, 2000; DOROW, 2019).

A Norma CNEN-NE 3.01 foi atualizada, em 2005, para CNEN-NN 3.01, incorporando avanços internacionais e requisitos adicionais para transparência e preocupação ambiental. A Portaria SVS/MS Nº 453 foi substituída pela Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) Nº 330, de 2019 (RDC 330, 2019; DOROW, 2019).

A RDC 611, publicada em 2022, substituiu a RDC 330/2019 com o objetivo de aprimorar a qualidade e a segurança dos serviços de saúde, além de atualizar as normas técnicas e de proteção radiológica. Essa resolução, em vigor desde 1º de abril de 2022, exige que todos os serviços de saúde implementem um programa abrangente de gerenciamento de tecnologias em saúde. Entre as exigências da RDC 611/2022 estão a implementação de três programas específicos: Programa de Garantia da Qualidade, visando assegurar a eficiência e segurança nos processos realizados; Programa de Educação Permanente, para a capacitação e atualização contínua de todos os profissionais envolvidos nos serviços; e Programa de Proteção Radiológica, obrigatório para serviços que utilizem radiações ionizantes em atividades diagnósticas ou

intervencionistas, garantindo a proteção dos pacientes, profissionais e público em geral (RDC 330, 2019; RDC 611, 2022).

A limitação de dose estabelecida pela CNEN é apresentada na Figura 5, presente na Norma CNEN-NN 3.01, atualizada em 2024.

Figura 5 – Limites anuais estabelecidos pela Norma CNEN-NN 3.01

Limites de Dose Anuais ^[a]			
Grandeza	Órgão	Indivíduo ocupacionalmente exposto	Indivíduo do público
Dose efetiva	Corpo inteiro	20 mSv ^[b]	1 mSv ^[c]
Dose equivalente	Cristalino	20 mSv ^[b] (Alterado pela Resolução CNEN 114/2011)	15 mSv
	Pele ^[d]	500 mSv	50 mSv
	Mãos e pés	500 mSv	---

[a] Para fins de controle administrativo efetuado pela CNEN, o termo dose anual deve ser considerado como dose no ano calendário, isto é, no período decorrente de janeiro a dezembro de cada ano.

[b] Média aritmética em 5 anos consecutivos, desde que não exceda 50 mSv em qualquer ano.

(Alterado pela Resolução CNEN 114/2011)

[c] Em circunstâncias especiais, a CNEN poderá autorizar um valor de dose efetiva de até 5 mSv em um ano, desde que a dose efetiva média em um período de 5 anos consecutivos, não exceda a 1 mSv por ano.

[d] Valor médio em 1 cm² de área, na região mais irradiada.

Fonte: CNEN-NN 3.01 (2024, p. 18)

2.2.2 Princípios básicos

Os três princípios fundamentais da proteção radiológica são baseados em conceitos delineados pela ICRP e adotados pela RDC 611/2022, no Brasil, sendo eles justificação, otimização e limitação de dose.

A RDC 611 (2022, p.14) diz:

Art. 43. Todos os procedimentos realizados em serviços de radiologia diagnóstica ou intervencionista devem observar os princípios da justificação, da otimização, da limitação da dose e da prevenção de acidentes, de modo a garantir que a exposição do paciente aos riscos inerentes de cada tecnologia seja a mínima necessária para garantir a segurança do paciente e a qualidade esperada das imagens e procedimentos.

2.2.3 Equipamentos de proteção individual e coletiva

Os equipamentos de proteção individual (EPI) e coletiva são indispensáveis na radiologia intervencionista. A legislação brasileira, por meio da RDC 611/2022, estabelece diretrizes claras

para o uso de EPI e EPC em consonância com as recomendações da ICRP (RDC 611, 2022; ICRP, 2018).

Estudos demonstram que aventais plumbíferos, protetores de tireoide e óculos plumbíferos podem reduzir a exposição à radiação em cerca de 90% quando usados corretamente. Da mesma forma, luvas plumbíferas são frequentemente recomendadas para proteger as mãos durante procedimentos que envolvem contato direto com radiação ionizante. No entanto, o uso de luvas plumbíferas apresenta algumas limitações e desafios. Apesar de sua capacidade de atenuar a radiação, essas luvas podem causar desconforto, reduzir a destreza manual e comprometer a sensibilidade tátil, o que dificulta a realização de tarefas delicadas durante procedimentos. Por essa razão, é crucial avaliar cuidadosamente sua necessidade em cada situação e combiná-las com outras estratégias de proteção radiológica, como a limitação do tempo de exposição e o aumento da distância da fonte de radiação (RAZA, 2021; MOURA, 2019).

O uso de dosímetros pessoais pelos profissionais durante o trabalho é essencial para o monitoramento da exposição à radiação. Esses dosímetros devem ser verificados e substituídos mensalmente, seguindo rigorosamente as normativas de segurança (RDC 611, 2022; MOURA 2015).

A ICRP recomenda o uso de dois dosímetros torácicos, pois “a combinação das leituras de dois dosímetros, um protegido pelo avental e outro não protegido acima do avental ao nível do colarinho, fornece a melhor estimativa disponível da dose efetiva (ICRP, 2018, p. 13, tradução nossa). Além disso, dosímetros específicos para avaliar exposições em áreas como o cristalino e as mãos são recomendados (ICRP, 2018).

Nas salas de radiologia intervencionista, onde os procedimentos podem ser extensos, a proteção coletiva também assume um papel vital. Isso inclui blindagens suspensas, escudos móveis, saiotas de chumbo, paredes, piso e portas projetados para proporcionar proteção não apenas aos profissionais dentro da sala, mas também às áreas adjacentes (ICRP, 2018).

2.3 RADIOLOGIA INTERVENCIONISTA

A Radiologia Intervencionista (RI) é uma especialidade médica que utiliza técnicas de imagem, como raios X e fluoroscopia, para conduzir procedimentos minimamente invasivos (SOUZA, 2008; CANEVARO, 2009).

Algumas das vantagens da RI são a possibilidade de realização de procedimentos complexos com cortes cirúrgicos de pequena extensão, a diminuição da probabilidade de infecções, o rápido restabelecimento do paciente, a redução do tempo de internação e a diminuição dos custos hospitalares, tratando-se de uma técnica minimamente invasiva, segura e altamente eficaz (CANEVARO, 2009, p. 101).

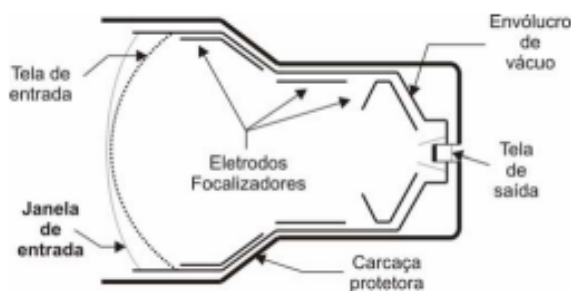
Durante o procedimento, a equipe cirúrgica permanece na sala com o paciente, podendo estarem expostos ao feixe primário e ao feixe de radiação espalhada. Apesar dos benefícios, a RI pode resultar em doses elevadas de radiação para pacientes e profissionais, o que pode levar a lesões radioinduzidas em algumas circunstâncias devido a exposições prolongadas (CANEVARO, 2009; MOURA, 2019).

2.3.1 Equipamento de fluoroscopia

Canevaro (2009, p. 105) diz: “A fluoroscopia proporciona uma imagem em movimento, em tempo real, permitindo sua aplicação em exames nos quais se deseja obter imagens dinâmicas de estruturas e funções do organismo”.

3 Essa modalidade difere dos equipamentos convencionais por introduzir tecnologias avançadas, como o intensificador de imagem de raios X e o painel plano digital. O intensificador de imagem, esquematizado na Figura 6, converte a baixa intensidade de fótons de raios X que saem do paciente em uma alta fluência de fótons visíveis, permitindo a formação de imagens em tempo real. Já os detectores de painel plano digital, utilizam materiais semicondutores para converter os fótons de raios X diretamente em sinais digitais. Esses detectores oferecem maior resolução espacial, ampla faixa dinâmica e menor distorção em comparação com os intensificadores de imagem, além de reduzirem a dose de radiação necessária para formar a imagem, otimizando a qualidade diagnóstica e a segurança dos pacientes e profissionais (PARIZOTI, 2008; CANEVARO, 2014; IAEA, 2014).

Figura 6 – Estrutura de um Intensificador de Imagem

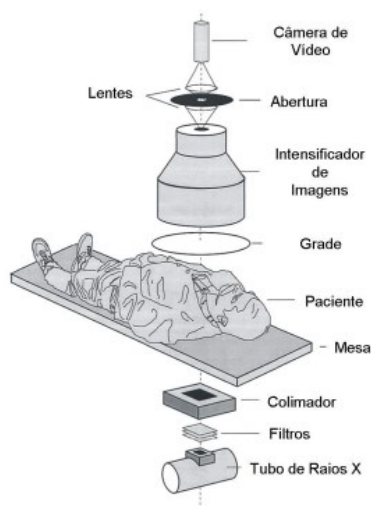


Fonte: PARIZOTI (2008)

O equipamento, mostrado na Figura 7, consiste em um gerador de raios X conectado ao Controle Automático de Exposição (CAE), que ajusta os parâmetros de produção dos raios X, controlando exposição, energia e tempo. No intensificador de imagem, uma tela fluorescente converte os fótons de raios X em luz visível, que é transformada em elétrons por um fotocátodo. Esses elétrons são acelerados, focados e reconvertidos em luz visível por uma tela de fósforo, gerando uma imagem ampliada que é exibida em um monitor (IAEA, 2014).

Esse processo melhora o brilho e a nitidez da imagem em tempo real, embora tecnologias mais modernas, como detectores de painel plano digital, já estejam substituindo os intensificadores devido a suas vantagens em resolução e redução de dose.

Figura 7 – Esquema de equipamento de fluoroscopia



Fonte: PARIZOTI (2008)

“Em fluoroscopia, são usados dois modos para fornecer energia ao tubo de raios X: exposição contínua e pulsada” (CANEVARO, 2009, p. 105). A exposição contínua utiliza uma corrente constante para adquirir imagens, enquanto o modo pulsado emite pulsos curtos e intensos, reduzindo a dose de radiação, útil para observar estruturas em movimento rápido (CANEVARO, 2009; IAEA, 2014).

3 METODOLOGIA

Este trabalho consiste em uma análise de publicações existentes na literatura científica. A pesquisa foi realizada por meio de plataformas online para coletar artigos, teses, livros e normas, com o objetivo de avaliar o cenário de trabalho dos profissionais envolvidos em cirurgias ortopédicas. As informações extraídas foram organizadas para proporcionar uma visão abrangente sobre as práticas de radioproteção, os níveis de exposição ocupacional e as medidas de segurança recomendadas para profissionais que utilizam radiação ionizante em cirurgias ortopédicas.

A pesquisa foi conduzida utilizando as seguintes bases de dados eletrônicas: *Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)*, *Medical Literature Analysis and Retrieval System Online (MEDLINE)*, *PubMed* e *Scientific Electronic Library Online (SciELO)*. Essas fontes foram escolhidas por sua abrangência e relevância nas áreas médica e de ciências da saúde. Para a realização das buscas, foram utilizados os seguintes descritores: radiologia intervencionista e *interventional radiology*; dosimetria ocupacional e *occupational dosimetry*; ortopedia e *orthopedics*; radioproteção e *radioprotection*.

A seleção das publicações foi feita utilizando os seguintes critérios:

- (i) Trabalhos em concordância com o tema, incluindo apenas artigos que abordavam diretamente radiologia intervencionista, dosimetria ocupacional, ortopedia e radioproteção;
- (ii) Presença de valores de doses de radiação;
- (iii) Doses recebidas pela equipe cirúrgica.

Após a seleção, as publicações foram lidas de forma crítica, concentrando-se nos aspectos mais relevantes, e foi realizada uma análise comparativa com o tema proposto neste projeto. Adicionalmente, foram consultadas as principais legislações e normas regulamentadoras

que regem o uso de radiação ionizante no Brasil, incluindo a RDC 611/2022 e a Norma NN-3.01 da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Por meio do estudo e análise dos artigos e trabalhos selecionados para a revisão, referentes ao tema proposto, foram obtidos os resultados deste Trabalho de Conclusão de Curso. Os dados coletados foram organizados nas Tabelas 1 a 5, com o objetivo de comparar as doses de radiação recebidas pela equipe cirúrgica em cirurgias ortopédicas que utilizam radiação ionizante.

A Tabela 1 apresenta os valores da dose média de exposição no cristalino por procedimento e/ou mês, incluindo informações sobre o profissional avaliado, autor, ano de publicação e observações relacionadas ao uso de dosímetros, acúmulo de dose e Equipamentos de Proteção Individual (EPIs). Da mesma forma, a Tabela 2 reúne os dados referentes às gônadas, a Tabela 3 detalha as mãos, a Tabela 4 aborda a tireoide e a Tabela 5 trata do tórax. Todas seguem o mesmo formato, facilitando a análise comparativa entre as diferentes áreas do corpo e os fatores envolvidos na exposição ocupacional à radiação.

No item 4.1, foram realizadas discussões detalhadas sobre os dados obtidos e apresentadas comparações com a legislação vigente. Estas discussões consideraram os limites de dose recomendados pelas principais normas regulamentadoras, como a RDC 611/2022 da ANVISA, a Norma NN-3.01 da CNEN e as recomendações da ICRP, avaliando a conformidade das práticas observadas nos estudos com as diretrizes estabelecidas.

O item 4.2 trata da discussão de estudos qualitativos sobre a exposição à radiação ionizante entre cirurgiões ortopédicos. Esses estudos, mesmo sem apresentar valores de doses específicos, foram utilizados por abordarem questões importantes, como o risco elevado de câncer e outras condições de saúde entre os profissionais, além de revelarem práticas inadequadas de proteção e monitoramento.

Tabela 1 – Relação da dose média de exposição à radiação ionizante no cristalino dos profissionais

(continua)

Autor	Profissional	Dose (mSv/mês) – meses acumulados	Dose (mSv/procedimento) – quantidade total	EPI	Monitoramento	Observação
LO <i>et al.</i> (1996)	Cirurgião	0.14 – 6	0.04 – 20	-	TLD	-
LEITE <i>et al.</i> (2007)	Instrumentador	3.30 – 11	0.15 – 242	-	Câmara de ionização	Estimativa máxima
LEITE <i>et al.</i> (2007)	Cirurgião	1.50 – 11	0.15 – 110	-	Câmara de ionização	Estimativa máxima
FUNAO <i>et al.</i> (2014)	Cirurgião principal	-	0.07 – 31	-	TLD	-
FUNAO <i>et al.</i> (2014)	Cirurgião assistente	-	0.06 – 31	-	TLD	-

Tabela 1 – Relação da dose média de exposição à radiação ionizante no cristalino dos profissionais

(continuação)

Autor	Profissional	Dose (mSv/mês) – meses acumulados	Dose (mSv/procedimento) – quantidade total	EPI	Monitoramento	Observação
FUNAO <i>et al.</i> (2014)	Técnico de radiologia	-	0.05 – 31	-	TLD	-
ROMANOVA <i>et al.</i> (2015)	Cirurgião	-	0.01 – 23	-	TLD	-
SALVO <i>et al.</i> (2017)	Cirurgião	0.05 - 36	0.01 – 210	Óculos plumbífero	TLD	-
SUZUKI <i>et al.</i> (2018)	Cirurgião A	0.41 – 9	0.03 – 139	Óculos plumbífero	OSL	16 anos de experiência
SUZUKI <i>et al.</i> (2018)	Cirurgião B	0.22 – 12	0.02 – 127	Óculos plumbífero	OSL	7 anos de experiência

Tabela 1 – Relação da dose média de exposição à radiação ionizante no cristalino dos profissionais

(conclusão)

Autor	Profissional	Dose (mSv/mês) – meses acumulados	Dose (mSv/procedimento) – quantidade total	EPI	Monitoramento	Observação
CUENCA <i>et al.</i> (2019)	Cirurgiões	0.04 – 4	-	Óculos plumbífero	TLD – parte frontal	Média entre 9 cirurgiões
CUENCA <i>et al.</i> (2019)	Cirurgiões	0.05 – 4	-	Óculos plumbífero	TLD – parte LE	Média entre 9 cirurgiões
CUENCA <i>et al.</i> (2019)	Cirurgiões	0.04 – 4	-	Óculos plumbífero	TLD – parte LD	Média entre 9 cirurgiões
ZIGOVSKI <i>et al.</i> (2019)	Cirurgião	0.53 – 1.6	0.06 - 14	-	TLD	Equipamentos diferentes
ZIGOVSKI <i>et al.</i> (2019)	Cirurgião	0.83 – 1.6	0.66 - 2	-	TLD	Equipamentos diferentes

Legenda – TLD: *Thermoluminescent dosimeter*, LD: Lateral direita, LE: Lateral esquerda, OSL: *Optically stimulated luminescence*.

Fonte: Autora (2024), empregando as referências listadas na tabela.

Tabela 2 – Relação da dose média de exposição à radiação ionizante nas gônadas dos profissionais

(continua)

Autor	Profissional	Dose (mSv/mês) – meses acumulados	Dose (mSv/procedimento) – quantidade total	EPI	Monitoramento	Observação
RILEY (1989)	Cirurgião principal	-	0.07 – 11	Avental de chumbo	TLD – fora do avental	-
RILEY (1989)	Cirurgião assistente	-	0.07 – 11	Avental de chumbo	TLD – fora do avental	-
LEITE <i>et al.</i> (2007)	Instrumentador	13.75 – 11	0.63 – 242	-	Câmara de ionização	Estimativa máxima
LEITE <i>et al.</i> (2007)	Cirurgião	6.25 – 11	0.63 – 110	-	Câmara de ionização	Estimativa máxima
PALÁCIO <i>et al.</i> (2014)	Cirurgião principal	0.47 – 6	0.06 – 45	Avental de chumbo	TLD – fora do avental	-

Tabela 2 – Relação da dose média de exposição à radiação ionizante nas gônadas dos profissionais

(continuação)

Autor	Profissional	Dose (mSv/mês) – meses acumulados	Dose (mSv/procedimento) – quantidade total	EPI	Monitoramento	Observação
PALÁCIO <i>et al.</i> (2014)	Cirurgião assistente	0.49 – 6	0.06 – 45	Avental de chumbo	TLD – fora do avental	-
PALÁCIO <i>et al.</i> (2014)	Instrumentador	0.12 – 6	0.02 – 45	Avental de chumbo	TLD – fora do avental	-
FUNAO <i>et al.</i> (2014)	Cirurgião principal	-	0.15 – 31	Avental de chumbo	TLD – fora do avental	-
FUNAO <i>et al.</i> (2014)	Cirurgião assistente	-	0.10 – 31	Avental de chumbo	TLD – fora do avental	-
FUNAO <i>et al.</i> (2014)	Técnico de radiologia	-	0.05 – 31	Avental de chumbo	TLD – fora do avental	-

Tabela 2 – Relação da dose média de exposição à radiação ionizante nas gônadas dos profissionais

(conclusão)

Autor	Profissional	Dose (mSv/mês) – meses acumulados	Dose (mSv/procedimento) – quantidade total	EPI	Monitoramento	Observação
MAHAJAN <i>et al.</i> (2015)	Cirurgiões	0.05 – 3	-	Avental de chumbo	TLD – fora do avental	Média entre 12 cirurgiões

Legenda – TLD: *Thermoluminescent dosimeter*.

Fonte: Autora (2024), empregando as referências listadas na tabela.

Tabela 3 – Relação da dose média de exposição à radiação ionizante nas mãos dos profissionais

(continua)

Autor	Profissional	Dose (mSv/mês) – meses acumulados	Dose (mSv/procedimento) – quantidade total	EPI	Monitoramento	Observação
RILEY (1989)	Cirurgião principal	-	0.18 – 11	-	TLD	-
RILEY (1989)	Cirurgião assistente	-	0.09 – 11	-	TLD	-
SMITH <i>et al.</i> (1992)	Cirurgiões	1.93 – 1	0.37 – 31	-	TLD	Média entre 6 cirurgiões; Mão direita
SMITH <i>et al.</i> (1992)	Cirurgiões	1.22 – 1	0.24 – 31	-	TLD	Média entre 6 cirurgiões; Mão esquerda
GOLDSTONE <i>et al.</i> (1993)	Cirurgiões	0.10 – 1	0.10 – 1	-	TLD	Média entre 2 cirurgiões

Tabela 3 – Relação da dose média de exposição à radiação ionizante nas mãos dos profissionais

(continuação)

Autor	Profissional	Dose (mSv/mês) – meses acumulados	Dose (mSv/procedimento) – quantidade total	EPI	Monitoramento	Observação
GOLDSTONE <i>et al.</i> (1993)	Cirurgiões	0.44 – 1	0.15 – 3	-	TLD	Média entre 4 cirurgiões
GOLDSTONE <i>et al.</i> (1993)	Cirurgião	0.05 – 1	0.01 – 7	-	TLD	-
GOLDSTONE <i>et al.</i> (1993)	Cirurgião	0.25 – 1	0.03 – 1	-	TLD	-
GOLDSTONE <i>et al.</i> (1993)	Cirurgião	2.33 – 1	0.15 – 15	-	TLD	-
NOORDEEN <i>et al.</i> (1993)	Cirurgiões	1.36 – 1	0.04 – 33	-	TLD	Mão esquerda; média entre 5 cirurgiões

Tabela 3 – Relação da dose média de exposição à radiação ionizante nas mãos dos profissionais

(continuação)

Autor	Profissional	Dose (mSv/mês) – meses acumulados	Dose (mSv/procedimento) – quantidade total	EPI	Monitoramento	Observação
NOORDEEN <i>et al.</i> (1993)	Cirurgiões	2.18 – 1	0.07 – 33	-	TLD	Mão direita; média entre 5 cirurgiões
NOORDEEN <i>et al.</i> (1993)	Cirurgiões	0.25 – 1	0.01 – 45	-	TLD	Mão esquerda; média entre 5 cirurgiões
NOORDEEN <i>et al.</i> (1993)	Cirurgiões	0.28 – 1	0.01 – 45	-	TLD	Mão direita; média entre 5 cirurgiões
LO <i>et al.</i> (1996)	Cirurgião	0.12 – 6	0.03 – 20	-	TLD	Mão direita
LO <i>et al.</i> (1996)	Cirurgião	0.02 – 6	0.01 – 20	-	TLD	Mão esquerda

Tabela 3 – Relação da dose média de exposição à radiação ionizante nas mãos dos profissionais

(continuação)

Autor	Profissional	Dose (mSv/mês) – meses acumulados	Dose (mSv/procedimento) – quantidade total	EPI	Monitoramento	Observação
BACK <i>et al.</i> (2004)	Cirurgiões	0.02 – 4	-	Luvas de tungstênio	TLD	Mão dominante – média entre 12 cirurgiões
BACK <i>et al.</i> (2004)	Cirurgiões	0.05 – 4	-	Luvas de tungstênio	TLD	Mão não dominante – média entre 12 cirurgiões
BLATTERT <i>et al.</i> (2004)	Cirurgião principal	-	0.06 – 12	-	TLD	Média entre 3 cirurgiões – grupo sênior
BLATTERT <i>et al.</i> (2004)	Cirurgião assistente	-	0.02 – 12	-	TLD	Média entre 3 cirurgiões – grupo sênior
BLATTERT <i>et al.</i> (2004)	Cirurgião principal	-	0.17 – 10	-	TLD	Média entre 6 cirurgiões – grupo júnior

Tabela 3 – Relação da dose média de exposição à radiação ionizante nas mãos dos profissionais

(continuação)

Autor	Profissional	Dose (mSv/mês) – meses acumulados	Dose (mSv/procedimento) – quantidade total	EPI	Monitoramento	Observação
BLATTERT <i>et al.</i> (2004)	Cirurgião assistente	-	0.20 – 10	-	TLD	Média entre 6 cirurgias – grupo júnior
HAFEZ <i>et al.</i> (2005)	Cirurgião estagiário A	2.24 – 5	1.87 – 6	-	TLD	-
HAFEZ <i>et al.</i> (2005)	Cirurgião estagiário B	0.20 – 2	0.02 – 22	-	TLD	-
HAFEZ <i>et al.</i> (2005)	Cirurgião	0.35 – 2	0.05 – 14	-	TLD	-
SINGH <i>et al.</i> (2007)	Cirurgião	0.16 – 12	0.02 – 80	-	TLD	Mão esquerda

Tabela 3 – Relação da dose média de exposição à radiação ionizante nas mãos dos profissionais

(continuação)

Autor	Profissional	Dose (mSv/mês) – meses acumulados	Dose (mSv/procedimento) – quantidade total	EPI	Monitoramento	Observação
SINGH <i>et al.</i> (2007)	Cirurgião	0.20 – 12	0.03 – 80	-	TLD	Mão direita
LEITE <i>et al.</i> (2007)	Instrumentador	5.50 – 11	0.25 – 242	-	Câmara de ionização	Estimativa máxima
LEITE <i>et al.</i> (2007)	Cirurgião	2.50 – 11	0.25 – 110	-	Câmara de ionização	Estimativa máxima
FUNAO <i>et al.</i> (2014)	Cirurgião principal	-	0.33 – 31	-	TLD	-
FUNAO <i>et al.</i> (2014)	Cirurgião assistente	-	0.15 – 31	-	TLD	-

Tabela 3 – Relação da dose média de exposição à radiação ionizante nas mãos dos profissionais

(continuação)

Autor	Profissional	Dose (mSv/mês) – meses acumulados	Dose (mSv/procedimento) – quantidade total	EPI	Monitoramento	Observação
MAHAJAN <i>et al.</i> (2015)	Cirurgiões	0.19 – 3	-	-	TLD	Média entre 12 cirurgiões - Mão esquerda
MAHAJAN <i>et al.</i> (2015)	Cirurgiões	0.24 – 3	0.01 – 147	-	TLD	Média entre 12 cirurgiões - Mão direita
VANOLI <i>et al.</i> (2017)	Cirurgião A	0.02 – 7	-	-	Crachá de filme	Mão direita
VANOLI <i>et al.</i> (2017)	Cirurgião B	0.01 – 7	-	-	Crachá de filme	Mão direita
CRISTANTE <i>et al.</i> (2019)	Cirurgião principal	0.19 – 12	0.03 – 81	-	Crachá de filme	-

Tabela 3 – Relação da dose média de exposição à radiação ionizante nas mãos dos profissionais

(conclusão)

Autor	Profissional	Dose (mSv/mês) – meses acumulados	Dose (mSv/procedimento) – quantidade total	EPI	Monitoramento	Observação
CRISTANTE <i>et al.</i> (2019)	Cirurgião assistente	0.05 – 12	0.01 - 81	-	Crachá de filme	-
ZIGOVSKI <i>et al.</i> (2019)	Cirurgião	0.79 – 1.6	0.09 - 14	-	TLD	Mão esquerda; equipamentos diferentes
ZIGOVSKI <i>et al.</i> (2019)	Cirurgião	1.14 – 1.6	0.13 - 14	-	TLD	Mão direita; equipamentos diferentes
ZIGOVSKI <i>et al.</i> (2019)	Cirurgião	0.68 – 1.6	0.54 - 2	-	TLD	Mão esquerda; equipamentos diferentes
ZIGOVSKI <i>et al.</i> (2019)	Cirurgião	0.85 – 1.6	0.68 - 2	-	TLD	Mão direita; equipamentos diferentes

Legenda – TLD: *Thermoluminescent dosimeter*.

Fonte: Autora (2024), empregando as referências listadas na tabela.

Tabela 4 – Relação da dose média de exposição à radiação ionizante na tireoide dos profissionais

(continua)

Autor	Profissional	Dose (mSv/mês) – meses acumulados	Dose (mSv/procedimento) – quantidade total	EPI	Monitoramento	Observação
BARRY (1984)	Cirurgião	0.19 – 12	0.03 – 79	-	TLD	-
RILEY (1989)	Cirurgião	-	0.01 – 11		TLD	-
NOORDEEN <i>et al.</i> (1993)	Cirurgiões	0.07 – 1	-	-	Crachá de filme	Média entre 5 cirurgiões; técnico controlando o II
NOORDEEN <i>et al.</i> (1993)	Cirurgiões	0.05 – 1	-	-	Crachá de filme	Média entre 5 cirurgiões; cirurgião controlando o II
LO <i>et al.</i> (1996)	Cirurgião	0.13 – 6	0.04 – 20	-	TLD	-

Tabela 4 – Relação da dose média de exposição à radiação ionizante na tireoide dos profissionais

(continuação)

Autor	Profissional	Dose (mSv/mês) – meses acumulados	Dose (mSv/procedimento) – quantidade total	EPI	Monitoramento	Observação
LO <i>et al.</i> (1996)	Cirurgião	0.08 – 6	0.02 – 20	Protetor de tireoide	TLD	-
BLATTERT <i>et al.</i> (2004)	Cirurgiões	-	0.01 – 10	-	TLD	Média entre 6 cirurgiões – grupo júnior
PALÁCIO <i>et al.</i> (2014)	Cirurgião principal	0.14 – 6	0.02 – 45	-	TLD	-
PALÁCIO <i>et al.</i> (2014)	Cirurgião assistente	0.21 – 6	0.03 – 45	-	TLD	-
PALÁCIO <i>et al.</i> (2014)	Instrumentador	0.09 – 6	0.01 – 45	-	TLD	-

Tabela 4 – Relação da dose média de exposição à radiação ionizante na tireoide dos profissionais

(continuação)

Autor	Profissional	Dose (mSv/mês) – meses acumulados	Dose (mSv/procedimento) – quantidade total	EPI	Monitoramento	Observação
FUNAO <i>et al.</i> (2014)	Cirurgião principal	-	0.08 – 31	Protetor de tireoide	TLD – fora do protetor	-
FUNAO <i>et al.</i> (2014)	Cirurgião assistente	-	0.07 – 31	Protetor de tireoide	TLD – fora do protetor	-
FUNAO <i>et al.</i> (2014)	Técnico de radiologia	-	0.05 – 31	Protetor de tireoide	TLD – fora do protetor	-
SULIEMAN <i>et al.</i> (2014)	Cirurgiões	-	0.04 – 76	-	TLD	Média entre 3 cirurgiões
MAHAJAN <i>et al.</i> (2015)	Cirurgiões	0.11 – 3	-	Protetor de tireoide	TLD – dentro do protetor	Média entre 12 cirurgiões

Tabela 4 – Relação da dose média de exposição à radiação ionizante na tireoide dos profissionais

(conclusão)

Autor	Profissional	Dose (mSv/mês) – meses acumulados	Dose (mSv/procedimento) – quantidade total	EPI	Monitoramento	Observação
VANOLI <i>et al.</i> (2017)	Cirurgião A	0.01 – 7	-	Protetor de tireoide	Crachá de filme – fora do protetor	-
VANOLI <i>et al.</i> (2017)	Cirurgião B	0.01 – 7	-	Protetor de tireoide	Crachá de filme – fora do protetor	-
ZIGOVSKI <i>et al.</i> (2019)	Cirurgião	0.70 – 1.6	0.56 - 2	-	TLD	Equipamentos diferentes

Legenda – TLD: *Thermoluminescent dosimeter*. II: Intensificador de imagem

Fonte: Autora (2024), empregando as referências listadas na tabela.

Tabela 5 – Relação da dose média de exposição à radiação ionizante no tórax dos profissionais

(continua)

Autor	Profissional	Dose (mSv/mês) – meses acumulados	Dose (mSv/procedimento) – quantidade total	EPI	Monitoramento	Observação
NOORDEEN <i>et al.</i> (1993)	Cirurgiões	0.04 – 1	-	Avental de chumbo	TLD – dentro do avental	Média entre 5 cirurgiões
LO <i>et al.</i> (1996)	Cirurgião	0.14 – 6	0.04 – 20	Avental de chumbo	TLD – fora do avental	-
LO <i>et al.</i> (1996)	Cirurgião	0.08 – 6	0.02 – 20	Avental de chumbo	TLD – dentro do avental	-
BLATTERT <i>et al.</i> (2004)	Cirurgiões	-	0.01 – 12	Avental de chumbo	TLD – fora do avental	Média entre 3 cirurgiões – grupo sênior
BLATTERT <i>et al.</i> (2004)	Cirurgiões	-	0.01 – 10	Avental de chumbo	TLD – fora do avental	Média entre 6 cirurgiões – grupo júnior

Tabela 5 – Relação da dose média de exposição à radiação ionizante no tórax dos profissionais

(continuação)

Autor	Profissional	Dose (mSv/mês) – meses acumulados	Dose (mSv/procedimento) – quantidade total	EPI	Monitoramento	Observação
KIROUSIS <i>et al.</i> (2009)	Cirurgião principal	-	0.04 – 25	Avental de chumbo	TLD – fora do avental	-
KIROUSIS <i>et al.</i> (2009)	Técnico radiológico	-	0.11 – 25	Avental de chumbo	TLD – fora do avental	-
KIROUSIS <i>et al.</i> (2009)	Cirurgião assistente	-	0.02 – 25	Avental de chumbo	TLD – fora do avental	-
PALÁCIO <i>et al.</i> (2014)	Cirurgião principal	0.15 – 6	0.02 – 45	Avental de chumbo	TLD – fora do avental	-
PALÁCIO <i>et al.</i> (2014)	Cirurgião assistente	0.36 – 6	0.05 – 45	Avental de chumbo	TLD – fora do avental	-

Tabela 5 – Relação da dose média de exposição à radiação ionizante no tórax dos profissionais

(continuação)

Autor	Profissional	Dose (mSv/mês) – meses acumulados	Dose (mSv/procedimento) – quantidade total	EPI	Monitoramento	Observação
PALÁCIO <i>et al.</i> (2014)	Instrumentador	0.12 – 6	0.02 – 45	Avental de chumbo	TLD – fora do avental	-
FUNAO <i>et al.</i> (2014)	Cirurgião principal	-	0.10 – 31	Avental de chumbo	TLD – fora do avental	-
FUNAO <i>et al.</i> (2014)	Cirurgião principal	-	0.05 – 31	Avental de chumbo	TLD – dentro do avental	-
FUNAO <i>et al.</i> (2014)	Cirurgião assistente	-	0.07 – 31	Avental de chumbo	TLD – fora do avental	-
FUNAO <i>et al.</i> (2014)	Cirurgião assistente	-	0.05 – 31	Avental de chumbo	TLD – dentro do avental	-

Tabela 5 – Relação da dose média de exposição à radiação ionizante no tórax dos profissionais

(continuação)

Autor	Profissional	Dose (mSv/mês) – meses acumulados	Dose (mSv/procedimento) – quantidade total	EPI	Monitoramento	Observação
FUNAO <i>et al.</i> (2014)	Técnico de radiologia	-	0.05 – 31	Avental de chumbo	TLD – dentro do avental	-
FUNAO <i>et al.</i> (2014)	Técnico de radiologia	-	0.07 – 31	Avental de chumbo	TLD – fora do avental	-
SULIEMAN <i>et al.</i> (2014)	Cirurgiões	-	0.01 – 76	Avental de chumbo	TLD – fora do avental	Média entre 3 cirurgiões
MAHAJAN <i>et al.</i> (2015)	Cirurgiões	0.06 – 3	-	Avental de chumbo	TLD – dentro do avental	Média entre 12 cirurgiões
SALVO <i>et al.</i> (2017)	Cirurgião	0.05 - 36	0.01 – 210	Avental de chumbo	TLD – fora do avental	-

Tabela 5 – Relação da dose média de exposição à radiação ionizante no tórax dos profissionais

(continuação)

Autor	Profissional	Dose (mSv/mês) – meses acumulados	Dose (mSv/procedimento) – quantidade total	EPI	Monitoramento	Observação
CRISTANTE <i>et al.</i> (2019)	Cirurgião principal	0.10 – 12	0.02 – 81	Avental de chumbo	Crachá de filme – fora do avental	-
CRISTANTE <i>et al.</i> (2019)	Cirurgião principal	0.01 – 12	-	Avental de chumbo	Crachá de filme – dentro do avental	-
CRISTANTE <i>et al.</i> (2019)	Cirurgião assistente	0.07 – 12	0.01 – 81	Avental de chumbo	Crachá de filme – fora do avental	-
CRISTANTE <i>et al.</i> (2019)	Cirurgião assistente	0.06 – 12	0.01 – 81	Avental de chumbo	Crachá de filme – dentro do avental	-
CRISTANTE <i>et al.</i> (2019)	Instrumentador	0.02 – 12	-	-	Crachá de filme	-

Tabela 5 – Relação da dose média de exposição à radiação ionizante no tórax dos profissionais

(conclusão)

Autor	Profissional	Dose (mSv/mês) – meses acumulados	Dose (mSv/procedimento) – quantidade total	EPI	Monitoramento	Observação
CRISTANTE <i>et al.</i> (2019)	Residente/Auxiliar	0.02 – 12	-	-	Crachá de filme	-
CRISTANTE <i>et al.</i> (2019)	Técnico de radiologia	0.02 – 12	-	Avental de chumbo	Crachá de filme – fora do avental	-
CRISTANTE <i>et al.</i> (2019)	Técnico de radiologia	0.01 – 12	-	Avental de chumbo	Crachá de filme – dentro do avental	-
ZIGOVSKI <i>et al.</i> (2019)	Cirurgião	0.88 – 1.6	0.10 - 14	Avental de chumbo	TLD – fora do avental	Equipamentos diferentes
ZIGOVSKI <i>et al.</i> (2019)	Cirurgião	1.12 – 1.6	0.90 - 2	Avental de chumbo	TLD – fora do avental	Equipamentos diferentes

Legenda – TLD: *Thermoluminescent dosimeter*.

Fonte: Autora (2024), empregando as referências listadas na tabela.

4.1 ANÁLISE DAS DOSES RECEBIDAS PELA EQUIPE MÉDICA

As análises comparativas das doses de radiação recebidas pela equipe médica, conforme apresentadas nas tabelas, evidenciam variações significativas entre os valores estimados por diferentes autores em distintas regiões anatômicas. Para que uma comparação precisa entre diferentes estudos seja viável, é essencial que as técnicas, os parâmetros e os tipos de equipamentos utilizados sejam padronizados e consistentemente documentados. Sem essa padronização e transparência, as comparações entre estudos tornam-se imprecisas, permitindo apenas uma análise aproximada. Além disso, as condições ambientais e operacionais, como a variação na quantidade de cirurgões presentes durante os procedimentos, o nível de especialização e a experiência dos cirurgões envolvidos, também diferem consideravelmente entre os diversos estudos. Essas diferenças tornam ainda mais complexa a obtenção de uma análise precisa das doses de radiação, pois essas variáveis podem impactar significativamente as medições.

Tabela 6 – Média, mediana e valores mínimo e máximo para a região do cristalino

Nível observado	Média	Mediana	Mín – Máx
mSv/mês	0.65	0.22	0.04 – 3.30
mSv/procedimento	0.11	0.05	0.01 – 0.66

Fonte: Autora (2024).

No que diz respeito ao cristalino (Tabelas 1 e 6), o estudo de LEITE *et al.* (2007) reportou a maior dose mensal registrada, de 3.30 mSv, para o instrumentador, enquanto CUENCA *et al.* (2019) relataram o menor valor mensal, de 0.04 mSv, para o cirurgião. Em termos de dose por procedimento, ZIGOVSKI *et al.* (2019) observaram a maior dose, de 0.66 mSv/procedimento, enquanto SALVO *et al.* (2017) e ROMANOVA *et al.* (2015) encontraram a menor dose, de 0.01 mSv/procedimento, todas para o cirurgião. Vale destacar que o estudo de LEITE *et al.* (2007) utilizou um método diferenciado para estimar as doses de radiação recebidas pelos profissionais, empregando uma câmara de ionização para medições durante cirurgias ortopédicas reais e em experimentos com fantasmas. Essa abordagem permitiu maior precisão na avaliação da exposição ocupacional. O estudo também considerou dados hospitalares para estimar o número anual de procedimentos, assumindo a não utilização de aventais plumbíferos, o que reforça a relevância dos resultados para a análise de cenários críticos. As doses estimadas por LEITE *et al.* (2007) são significativamente altas, com valores que indicam que o limite anual de dose para o cristalino

(20 mSv), estabelecido pela Norma CNEN NN 3.01, poderia ser facilmente excedido, especialmente para o instrumentador, sendo o mesmo profissional. Além disso, a dose mensal máxima estimada para o cirurgião (1.50 mSv) também se aproxima perigosamente desse limite. Em relação ao valor máximo encontrado por ZIGOVSKI *et al.* (2019), é relevante notar que o cirurgião em questão havia realizado apenas duas cirurgias. Mesmo assim, em cenários com mais de 30 cirurgias anuais, o limite anual para o cristalino também seria ultrapassado. As variações observadas evidenciam como a ausência ou inadequação de medidas de proteção pode impactar significativamente as doses recebidas, reforçando a necessidade de estratégias personalizadas de proteção para cada profissional da equipe cirúrgica.

Tabela 7 – Média, mediana e valores mínimo e máximo para a região das gônadas

Nível observado	Média	Mediana	Mín – Máx
mSv/mês	3.52	0.48	0.05 – 13.75
mSv/procedimento	0.18	0.07	0.02 – 0.63

Fonte: Autora (2024).

Tratando-se das gônadas (Tabelas 2 e 7), o estudo de LEITE *et al.* (2007) apresentou as maiores estimativas de dose mensal, com valores de 13.75 mSv para o instrumentador e 6.25 mSv para o cirurgião. Além desse trabalho, o maior valor de dose mensal subsequente foi encontrado por PALÁCIO *et al.* (2014), que registrou 0.49 mSv/mês, para o cirurgião assistente. Por outro lado, o menor valor mensal foi observado no estudo de MAHAJAN *et al.* (2015), que reportou 0.05 mSv para os cirurgiões. No que se refere às doses por procedimento, LEITE *et al.* (2007) novamente identificou os maiores valores, com 0.63 mSv/procedimento tanto para o cirurgião quanto para o instrumentador. Os menores valores por procedimento foram reportados por PALÁCIO *et al.* (2014), que registrou 0.02 mSv/procedimento para o instrumentador, e por FUNAO *et al.* (2014), que encontrou 0.05 mSv/procedimento para o técnico de radiologia. A dose média mensal foi de 3.52 mSv, com uma mediana de 0.48 mSv, o que evidencia a variabilidade entre os profissionais e procedimentos. Os valores extremos (0.05–13.75 mSv/mês) indicam que, em alguns casos, a exposição pode ultrapassar significativamente os limites desejáveis, com riscos potenciais para a saúde reprodutiva dos profissionais expostos. Quanto à dose por procedimento, a média foi de 0.18 mSv, com uma mediana de 0.07 mSv, e os valores variaram de 0.02 a 0.63 mSv, conforme evidenciado pelos estudos de PALÁCIO *et al.* (2014) e LEITE *et al.* (2007). Embora os valores mais elevados encontrados por LEITE *et al.* (2007) evidenciem o impacto de uma proteção inadequada, os dados de outros estudos indicam

que é possível reduzir consideravelmente a exposição com o uso adequado de EPIs e melhores práticas operacionais.

Tabela 8 – Média, mediana e valores mínimo e máximo para a região das mãos

Nível observado	Média	Mediana	Mín – Máx
mSv/mês	0.81	0.25	0.01 – 5.50
mSv/procedimento	0.18	0.09	0.01 – 1.87

Fonte: Autora (2024).

As mãos são relatadas por vários estudos como a região de maior exposição para os profissionais ortopédicos, pois elas estão frequentemente na área direta aos raios X, especialmente durante a manipulação de instrumentos cirúrgicos. O estudo conduzido por BACK *et al.* (2004) detalha sobre a proteção das mãos contra a radiação em procedimentos cirúrgicos com intensificadores de imagem, comparando o uso de uma luva protetora feita de tungstênio com a luva de chumbo. Os resultados indicaram um desempenho de 33% a mais de atenuação para a luva de tungstênio. Além disso, BACK *et al.* (2004) realizaram uma pesquisa em 30 hospitais, revelando que nenhum deles possuía proteção esterilizável para as mãos e apenas dois utilizavam luvas de chumbo. Em relação à Tabela 3, os maiores valores de dose mensal para as mãos foram encontrados por LEITE *et al.* (2007), com suas estimativas máximas de 5.50 mSv e 2.50 mSv para o instrumentador e cirurgião, respectivamente. Outros estudos também identificaram doses mais elevadas para as mãos do cirurgião, como GOLDSTONE *et al.* (1993), que reportou 2.33 mSv, NORDEEN *et al.* (1993), que encontrou 2.18 mSv na mão direita do cirurgião e HAFEZ *et al.* (2005), com 2.24 mSv, para as mãos de um cirurgião estagiário. Por outro lado, os menores valores foram obtidos por VANOLI *et al.* (2017), com 0.01 mSv/mês, e por LO *et al.* (1996) e BACK *et al.* (2004), ambos registrando 0.02 mSv/mês, todos para o cirurgião. No que diz respeito às doses por procedimento, os maiores valores foram reportados por HAFEZ *et al.* (2005), para um cirurgião estagiário, com 1.87 mSv/procedimento, e por ZIGOVSKI *et al.* (2019), com 0.68 mSv/procedimento, para o cirurgião. Os menores valores foram registrados por NORDEEN *et al.* (1993), GOLDSTONE *et al.* (1993), LO *et al.* (1996), MAHAJAN *et al.* (2015) e CRISTANTE *et al.* (2019) todos para os cirurgiões e com 0.01 mSv/procedimento. Mesmo se esses valores fossem extrapolados para um ano de trabalho, o limite recomendado de dose para as mãos ainda não seria excedido. Além disso, vários estudos apontam que a mão dominante do cirurgião tende a receber uma dose maior de radiação em comparação com a mão não dominante. Isso ocorre porque a mão dominante é geralmente a

mais próxima do feixe de raios X durante a manipulação dos instrumentos, sendo, portanto, mais exposta. A disparidade entre os valores evidencia a influência de fatores como a técnica utilizada, a proximidade ao feixe de raios X e o uso de dispositivos de proteção.

Tabela 9 – Média, mediana e valores mínimo e máximo para a região da tireoide

Nível observado	Média	Mediana	Mín – Máx
mSv/mês	0.15	0.10	0.01 – 0.70
mSv/procedimento	0.07	0.03	0.01 – 0.56

Fonte: Autora (2024).

O estudo conduzido por DEWEY *et al.* (1998) focou na avaliação da disponibilidade, eficácia e uso de protetores de tireoide por estagiários ortopédicos, correlacionando essas informações com a estimativa de exposição à radiação e testes de função tireoidiana. Foi identificado que os protetores de tireoide estavam disponíveis em apenas alguns hospitais. No entanto, a eficácia desses protetores foi comprovada pela redução significativa na exposição à radiação. Os testes de função tireoidiana mostraram resultados dentro dos limites normais, com uma observação interessante: níveis mais altos de hormônio estimulante da tireoide (TSH) foram encontrados nos estagiários com maior experiência, possivelmente devido à maior exposição cumulativa. Nas Tabelas 4 e 9, que abordam a região da tireoide, os maiores valores de exposição foram relatados por ZIGOVSKI *et al.* (2019), com 0.70 mSv/mês e 0.56 mSv/procedimento, ambos para o cirurgião, e por PALÁCIO *et al.* (2014), com 0.21 mSv/mês, para o cirurgião assistente. Os menores valores foram achados por RILEY *et al.* (1989) e BLATTERT *et al.* (2004), ambos com 0.01 mSv/procedimento, VANOLI *et al.* (2017), com 0.01 mSv/mês, e por NOORDEEN *et al.* (1993), que encontrou 0.05 mSv/mês e 0.07 mSv/mês, todos para os cirurgiões. Este último estudo, de NOORDEN *et al.* (1993) se concentrou em relatar as diferenças das doses quando o equipamento de raios X era operado pelo cirurgião em comparação com o técnico. Eles observaram que a dose de radiação diminuiu quando o equipamento era controlado pelo próprio cirurgião, sugerindo que o controle direto do equipamento pelo profissional que realiza a cirurgia pode influenciar positivamente na redução da exposição à radiação na região da tireoide.

Tabela 10 – Média, mediana e valores mínimo e máximo para a região do tórax

Nível observado	Média	Mediana	Mín – Máx
mSv/mês	0.18	0.06	0.01 – 1.12
mSv/procedimento	0.08	0.04	0.01 – 0.90

Fonte: Autora (2024).

Nas Tabelas 5 e 10, os maiores valores foram registrados no estudo de ZIGOVSKI *et al.* (2019), com 1.12 mSv/mês e 0.90 mSv/procedimento para o cirurgião. Esse estudo extrapolou a carga de trabalho do cirurgião ortopedista para estimar a exposição em 109 procedimentos anuais. Os resultados indicaram uma dose efetiva estimada para o tórax de 109 mSv/ano, aproximadamente cinco vezes maior que o limite estabelecido pelas normas de segurança, mas, considerando que o avental pode reduzir até 90% da dose, o resultado estaria dentro dos limites regulamentares. Apesar de, na prática, o cirurgião ter realizado apenas dois procedimentos, se ele realizasse mais de 23 procedimentos por ano, mantendo a dose média de 0.90 mSv/procedimento, o limite anual de dose também seria excedido. Os menores valores de dose foram encontrados no estudo de CRISTANTE *et al.* (2019), que registrou 0.01 mSv/mês para o cirurgião principal e o técnico radiologista, e 0.02 mSv/mês para o instrumentador e o auxiliar. Em relação à dose por procedimento, os menores valores também foram relatados por SULIEMAN *et al.* (2014) e BLATTERT *et al.* (2004), ambos registrando 0.01 mSv/procedimento. O estudo de BLATTERT *et al.* (2004), se concentrou em analisar a dependência da habilidade dos cirurgiões ortopédicos na exposição à radiação durante a fixação de fraturas de ossos longos. Comparando equipes cirúrgicas "sênior" e "júnior", constatou-se que os cirurgiões mais experientes utilizam a radiação de maneira mais consistente e padronizada, resultando em menor exposição. A análise também indicou que o uso de técnicas de modo pulsado poderia influenciar os resultados. O estudo destacou a importância de orientar cuidadosamente cirurgiões menos experientes para reduzir a exposição. Embora as médias e medianas indiquem valores geralmente baixos, os picos registrados em estudos como o de ZIGOVSKI *et al.* (2019) mostram que, sem as devidas precauções, o limite anual pode ser facilmente ultrapassado em cenários de alta carga de trabalho.

4.2 ESTUDOS QUALITATIVOS SOBRE A EXPOSIÇÃO

Os estudos sobre a exposição à radiação ionizante entre cirurgiões ortopédicos evidenciam um risco elevado de câncer e outras condições de saúde devido à exposição

ocupacional. MASTRANGELO *et al.* (2005) demonstraram um aumento significativo na incidência de câncer entre cirurgiões ortopédicos italianos expostos à radiação, com doses cumulativas médias de 35.2 mSv, e casos isolados com doses muito superiores, como os linfomas não-Hodgkin com doses de 685 e 360 mSv. Este estudo sublinha a necessidade de monitoramento rigoroso da exposição à radiação para evitar danos a longo prazo. FABRICANT *et al.* (2012) reforçaram a associação entre grandes exposições cumulativas de radiação em procedimentos de imagem médica e o desenvolvimento de tumores sólidos e hematológicos, destacando a importância de minimizar a exposição sem comprometer a qualidade do diagnóstico e tratamento.

CHOW *et al.* (2013) apontaram uma percepção de risco sobre a formação de catarata entre cirurgiões ortopédicos, devido à falta de informação sobre a radiação e a falta de utilização de óculos plumbíferos, sublinhando a necessidade de maior conscientização e fornecimento adequado de equipamentos de proteção. FAN *et al.* (2017) identificaram que o desconhecimento sobre os riscos radiológicos pode aumentar o sofrimento psicológico entre cirurgiões ortopédicos, ligando a exposição prolongada, mesmo em baixas doses, ao estresse psicológico e à depressão.

GIANNOUDIS *et al.* (1998) e GENDELBERG *et al.* (2016) enfatizaram a importância do treinamento especializado e programas educacionais focados em minimizar a exposição à radiação e a segurança radiológica em procedimentos ortopédicos. Esses estudos revelaram que a formação adequada pode reduzir significativamente a exposição à radiação e melhorar o desempenho técnico dos profissionais.

KANG *et al.* (2020) e LAI *et al.* (2020) destacaram a falta de adesão ao uso de dispositivos de proteção e de monitoramento, especialmente entre residentes e cirurgiões especialistas em coluna e trauma, que apresentaram doses anuais mais altas. LAI *et al.* (2020) ainda demonstraram a eficácia dos aventais de chumbo em proteger contra a radiação.

Os estudos realizados por NUGENT *et al.* (2015), QUERIDO e POVEDA (2015), FALAVIGNA *et al.* (2018), VIVAS *et al.* (2018), FIDAN *et al.* (2019), e PIRES *et al.* (2020) revelaram um panorama preocupante em relação à segurança radiológica entre os profissionais da área ortopédica em diferentes regiões do mundo. NUGENT *et al.* (2015) identificaram que, embora a maioria dos residentes ortopédicos na Irlanda relatasse o uso regular de aventais de proteção, medidas adicionais como o uso de protetores de tireoide eram empregadas com menos frequência. O estudo destacou a falta de adesão ao princípio ALARA e o baixo uso de dosímetros para monitorar a exposição à radiação como áreas de preocupação. QUERIDO e

POVEDA (2015) evidenciaram uma prática ainda mais alarmante com medidas de proteção entre profissionais de enfermagem em centros cirúrgicos, onde a maioria não fazia uso dos equipamentos de proteção além do desconhecimento sobre os efeitos da radiação.

Os estudos subsequentes expandiram essa preocupação para outras regiões. FALAVIGNA *et al.* (2018) revelaram práticas inadequadas de proteção radiológica entre cirurgiões de coluna na América Latina, destacando a falta de utilização de dosímetros e a pouca adesão a práticas ideais de segurança durante fluoroscopia. VIVAS *et al.* (2018) na Argentina corroboraram essas descobertas, ressaltando a urgência de conscientização e ação em relação à proteção radiológica, especialmente a lacuna significativa na utilização e monitoramento adequado de dosímetros entre os profissionais de ortopedia e traumatologia. FIDAN *et al.* (2019) na Turquia identificaram um padrão semelhante de falta de adesão às medidas de segurança radiológica entre os cirurgiões ortopédicos, com baixa utilização de dosímetros e ausência de placas de alerta em salas cirúrgicas, levantando preocupações significativas.

Finalmente, os estudos conduzidos por PIRES *et al.* (2020) e BARBOSA e SILVA (2022) no Brasil, reforçaram essas descobertas, evidenciando uma falta generalizada de conformidade com práticas de proteção radiológica entre cirurgiões ortopédicos. Apesar de muitos profissionais utilizarem algum tipo de proteção radiológica, uma proporção significativa não fazia uso de dosímetros para monitorar sua exposição, evidenciando um conhecimento insuficiente sobre proteção radiológica.

5 CONCLUSÃO

A exposição à radiação ionizante durante procedimentos cirúrgicos ortopédicos guiados por RI representa um risco ocupacional significativo para a saúde da equipe cirúrgica. Essa pesquisa revelou uma grande variabilidade nas doses de radiação recebidas, influenciada por fatores como as técnicas cirúrgicas, a qualidade dos equipamentos e a adesão às medidas de proteção radiológica.

Embora os valores médios de dose estejam abaixo dos limites regulamentares, os valores máximos em alguns estudos indicam que, em certas situações, a exposição pode ultrapassar os limites, aumentando o risco de doenças relacionadas à radiação, como câncer, especialmente quando o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) é inadequado ou ausente.

A falta de padronização nas metodologias dos estudos dificulta comparações precisas e a identificação de tendências claras. A variabilidade nos protocolos de segurança, na manutenção dos equipamentos e na adesão ao uso de EPIs contribui para essa imprecisão, podendo resultar na subestimação da exposição real dos profissionais.

Para reduzir os riscos, é essencial adotar protocolos padronizados para a avaliação da exposição, otimizar os procedimentos cirúrgicos para reduzir o tempo de radiação, garantir o uso adequado de EPIs, manter os equipamentos de fluoroscopia em bom estado e investir em programas de treinamento e educação em radioproteção. A aplicação do princípio ALARA e o uso consistente de dosímetros são fundamentais para minimizar os riscos associados à exposição ocupacional à radiação.

A escassez de pesquisas nacionais sobre o tema evidencia a necessidade de mais estudos para entender a realidade brasileira e desenvolver estratégias de proteção radiológica mais adequadas ao contexto do país.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, T. J.; ERDMANN, A. L.; STEIN BACKES, M. T. S.** Gestão do cuidado em enfermagem na proteção radiológica em radiologia intervencionista. *Revista Gaúcha de Enfermagem*, Porto Alegre, v. 43, 2022. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/rgenf/article/view/127591>. Acesso em: 31 maio. 2024.
- ANTUNES-RAPOSO, J. A.; FRANÇA, D.; LIMA, A.; MENDONÇA-GALAIO, L.; SACADURA-LEITE, E.** Avaliação da utilização de equipamentos de proteção individual em trabalhadores expostos a radiação ionizante num centro hospitalar universitário português. *Revista Brasileira de Medicina do Trabalho*, v. 20, n. 02, p. 240–248, 2022. Disponível em: <https://www.rbmt.org.br/details/1683/en-US/avaliacao-da-utilizacao-de-equipamentos-de-protecao-individual-em-trabalhadores-expostos-a-radiacao-ionizante-num-centro-hospitalar-universitario-port>. Acesso em: 18 fev. 2023.
- ATTIX, F. H.** Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2004.
- BACK, D. L.; HILTON, A. I.; BRIGGS, T. W.; SCOTT, J.; BURNS, M.; WARREN, P.** Radiation protection for your hands. *Injury*, v. 36, n. 12, p. 1416–1420, dez. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.injury.2004.09.024>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16051240/>. Acesso em: 21 ago. 2023.
- BARBOSA, H. B.; SILVA, A. M. M. D.** Perception of Orthopedics Surgeons about the Risks of Radiation Exposure in Fluoroscopy. *Rev Bras Ortop (Sao Paulo)*, v. 57, n. 4, p. 546–551, jul. 2022. DOI: 10.1055/s-0042-1748968. PMID: 35966435; PMCID: PMC9365486.
- BARRY, T. P.** Radiation exposure to an orthopedic surgeon. *Clinical orthopaedics and related research*, v. 182, p. 160–164, fev. 1984. PMID: 6692610. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6692610/>. Acesso em: 02 ago. 2023.
- BLATTERT, T. R.; FILL, U. A.; KUNZ, E.; PANZER, W.; WECKBACH, A.; REGULLA, D. F.** Skill dependence of radiation exposure for the orthopaedic surgeon during interlocking nailing of long-bone shaft fractures: a clinical study. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, v. 124, n. 10, p. 659–664, dez. 2004. DOI: 10.1007/s00402-004-0743-9. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15365718/>. Acesso em: 13 mai. 2023.
- BRASIL.** RDC 330 de 20 de dezembro de 2019. Brasília: Ministério da Saúde, 2019. Disponível em: https://cvs.saude.sp.gov.br/zip/U_RS-MS-ANVISA-RDC-330_201219.pdf. Acesso em: nov. 2023.
- BRASIL.** RDC 611 de 09 de março de 2022. Brasília: Ministério da Saúde, 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-611-de-9-de-marco-de-2022-386107075>. Acesso em: nov. 2023.
- BRASIL.** Norma CNEN NN 3.01. Brasília: Comissão Nacional de Energia Nuclear, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/cnen/pt-br/acesso-rapido/normas/grupo-3/NormaCNENNN3.01.pdf>. Acesso em: mai. 2024.

BERGONIE, J.; TRIBONDEAU, L. Interpretation of Some Results of Radiotherapy and an Attempt at Determining a Logical Technique of Treatment: De Quel ques Resultats de la Radiotherapie et Essai de Fixation d'une Technique Rationnelle. *Radiation Research*, p. 587-588, 25 mar. 1959.

CANEVARO, L. Aspectos físicos e técnicos da Radiologia Intervencionista. *Revista Brasileira de Física Médica*, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 101–115, 2015. DOI: 10.29384/rbfm.2009.v3.n1.p101-115. Disponível em: <https://www.rbfm.org.br/rbfm/article/view/50>. Acesso em: 1 mar. 2024.

CHOW, R.; BEAUPRE, L. A.; RUDNISKY, C. J.; OTTO, D.; CLARK, M. Surgeons' perception of fluoroscopic radiation hazards to vision. *American journal of orthopedics (Belle Mead, N.J.)*, v. 42, n. 11, p. 505–510, nov. 2013. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24340320/>. Acesso em: 28 mai. 2023.

CLARKE, R. R. H.; VALENTIN, J. The history of ICRP and the evolution of its policies. *ICRP Publication 109. Ann ICRP*, v. 39, n. 1, p. 75-110, 2009.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Diretrizes básicas de proteção radiológica: Norma CNEN NN 3.01 - Resolução 164/2014. Disponível em: <https://www.gov.br/cnen/pt-br/acesso-rapido/normas/grupo-3/grupo3-nrm301.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2023.

CRISTANTE, A. F.; BARBIERI, F.; SILVA, A. A. R. da.; DELLAMANO, J. C. Radiation exposure during spine surgery using c-arm fluoroscopy. *Acta Ortopédica Brasileira*, v. 27, n. 1, p. 46–49, jan. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-785220192701172722>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aob/a/Z6FmZJBctsqgKWgPHBM3Qnt/?lang=en#>. Acesso em: 18 mai. 2023.

CUENCA, C.; MENTION, P. J.; VERGNENEGRE, G.; MATTHIEU, P. A.; CHARISSOUX, J. L.; MARCHEIX, P. S. Are orthopedic surgeons exposed to excessive eye irradiation? A prospective study of lens irradiation in orthopedics and traumatology. *Orthopaedics & traumatology, surgery & research: OTSR*, v. 105, n. 3, p. 569–572, mai. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2019.01.013>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30898557/>. Acesso em: 19 jan. 2023.

CULLITY, B. D.; STOCK, S. R. Elements of X-ray Diffraction, 3ª Edition. New York: Prentice-Hall, 2001.

DEWEY, P.; INCOLL, I. Evaluation of thyroid shields for reduction of radiation exposure to orthopaedic surgeons. *The Australian and New Zealand journal of surgery*, v. 68, n. 9, p. 635-63, set. 1998. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1445-2197.1998.tb04832.x>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9737257/>. Acesso em: 25 mai. 2023.

DIETZE, G.; MENZEL, H. G. Aspects of ICRP 60 and ICRU 47 Relevant to Individual Monitoring of External Exposure. *Radiation Protection Dosimetry*, v. 54, n. 3–4, p. 167–173, 1994. Disponível em: <https://academic.oup.com/rpd/article/54/3-4/167/3107420>. Acesso em: 15 mai. 2023.

DOMINGOS, L. H. Avaliação e otimização da dose por procedimento e da dose ocupacional em cirurgias ortopédicas. 2013. Dissertação (Mestrado em Radiologia) – Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Coimbra, Instituto Politécnico de Coimbra, Coimbra, 2013. Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/15518>. Acesso em: 15 jan. 2023.

DOROW, P. F.; MEDEIROS, C. de (org.). Proteção radiológica no diagnóstico e terapia [recurso eletrônico]. Florianópolis: Publicações do IFSC, 2019. 138 p. Disponível em: <https://www.ifsc.edu.br/documents/30701/523474/PROTEÇÃO+RADIOLOGICA+ebook+final.pdf/10be750c-0d7c-484f-8baf-c33053f203cd>. Acesso em: 02 jun. 2023.

ENDLICH, L. L. Avaliação de doses ocupacionais em cirurgias ortopédicas. 2018. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

FABRICANT, P. D.; BERKES, M. B.; DY, C. J.; BOGNER, E. A. Diagnostic medical imaging radiation exposure and risk of development of solid and hematologic malignancy. *Orthopedics*, v. 35, n. 5, p. 415-420, mai. 2012. DOI: 10.3928/01477447-20120426-11. PMID: 22588399.

FALAVIGNA, A.; RAMOS, M. B.; IUTAKA, A. S.; MENEZES, C. M.; EMMERICH, J.; TABOADA, N.; RIEW, K. D. Knowledge and Attitude Regarding Radiation Exposure Among Spine Surgeons in Latin America. *World neurosurgery*, v. 112, p. 823-829, fev. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.01.166>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29410173/>. Acesso em: 02 fev. 2023.

FAN, G.; WANG, Y.; GUO, C.; LEI, X.; HE, S. Knowledge deficiency of work-related radiation hazards associated with psychological distress among orthopedic surgeons: A cross-sectional study. *Medicine*, v. 96, n. 21, e6682, mai. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000006682>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5457848/>. Acesso em: 27 mai. 2023.

FIDAN, F.; ÇETIN, M. Ü.; KAZDAL, C.; KILIÇ, F.; ÖZKAYA, U. Behaviour and knowledge skill levels of orthopedic surgeons about radiation safety and fluoroscopy use: A survey analysis. *Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica*, v. 53, n. 4, p. 301-305, jul. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aott.2019.04.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1017995X18304486>. Acesso em: 18 jul. 2023.

FUNAO, H.; ISHII, K.; MOMOSHIMA, S.; IWANAMI, A.; HOSOGANE, N.; WATANABE, K.; NAKAMURA, M.; TOYAMA, Y.; MATSUMOTO, M. Surgeons' exposure to radiation in single- and multi-level minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion; a prospective study. *PloS one*, v. 9, n. 4, abr. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095233>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24736321/>. Acesso em: 29 jan. 2023.

GENDELBERG, D.; HENNRIKUS, W.; SLOUGH, J.; ARMSTRONG, D.; KING, S. A. Radiation Safety Training Program Results in Reduced Radiation Exposure for Orthopaedic Residents Using the Mini C-arm. *Clinical orthopaedics and related research*, v. 474, n. 2, p. 580–584, fev. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11999-015-4631-0>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26566977/>. Acesso em: 15 fev. 2023.

GIANNOUDIS, P. V.; MCGUIGAN, J.; SHAW, D. L. Ionising radiation during internal fixation of extracapsular neck of femur fractures. *Injury*, v. 29, n. 6, p. 469–472, jul. 1998. DOI: 10.1016/s0020-1383(98)00090-4. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9813706/>. Acesso em: 13 mai. 2023.

GOLDSTONE, K. E.; WRIGHT, I. H.; COHEN, B. Radiation exposure to the hands of orthopaedic surgeons during procedures under fluoroscopic X-ray control. *The British journal of radiology*, v. 66, n. 790, p. 899–901, out. 1993. DOI: <https://doi.org/10.1259/0007-1285-66-790-899>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8220973/>. Acesso em: 02 ago. 2023.

HAFEZ, M. A.; SMITH, R. M.; MATTHEWS, S. J.; KALAP, G.; SHERMAN, K. P. Radiation exposure to the hands of orthopaedic surgeons: are we underestimating the risk? *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, v. 125, n. 5, p. 330–335, jun. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00402-005-0807-5>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15843947/>. Acesso em: 08 ago. 2023.

HERSCOVICI, D. Jr.; SANDERS, R. W. The effects, risks, and guidelines for radiation use in orthopaedic surgery. *Clinical orthopaedics and related research*, v. 375, p. 126–132, jun. 2000. DOI: <https://doi.org/10.1097/00003086-200006000-00015>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10853161/>. Acesso em: 12 jul. 2023.

IAEA, 2014. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Diagnostic Radiology Physics: A Handbook for Teachers and Students. Vienna.

ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann. ICRP* 37 (2-4).

ICRP, 2018. Occupational radiological protection in interventional procedures. ICRP Publication 139. *Ann. ICRP* 47(2).

KANG, S.; CHA, E. S.; BANG, Y. J.; NA, T. W.; LEE, D.; SONG, S. Y.; LEE, W. J. Radiation exposure and fluoroscopically-guided interventional procedures among orthopedic surgeons in South Korea. *Journal of occupational medicine and toxicology (London, England)*, v. 15, p. 24, ago. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12995-020-00276-x>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7418415/>. Acesso em: 19 jan. 2023.

KIROUSIS, G.; DELIS, H.; MEGAS, P.; LAMBIRIS, E.; PANAYIOTAKIS, G. Dosimetry during intramedullary nailing of the tibia. *Acta orthopaedica*, v. 80, n. 5, p. 568–572, out. 2009. DOI: <https://doi.org/10.3109/17453670903350057>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19916691/>. Acesso em: 20 ago. 2023.

LAI, C. H.; FINLAY, A.; CANNADA, L. K.; CHEN, A. F.; CHOU, L. B. Radiation Exposure and Case Characteristics in National Sample of Female Orthopaedic Trauma and Arthroplasty Surgeons. *The Iowa orthopaedic journal*, v. 40, n. 1, p. 5–11, 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32742202/>. Acesso em: 17 ago. 2023.

LEITE, E. S.; UVA, A. S.; SERRANHEIRA, F. Exposição a radiações ionizantes em cirurgia ortopédica num hospital público de Lisboa. *Escola Nacional de Saúde Pública. Universidade NOVA de Lisboa*, v. 6, p. 55–66, fev. 2007. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10362/17034>. Acesso em: 8 jun. 2023.

LIMA, R. DA S.; AFONSO, J. C.; PIMENTEL, L. C. F. Raios-x: fascinação, medo e ciência. *Química Nova*, v. 32, n. 1, p. 263–270, 2009.

LO, N. N.; GOH, P. S.; KHONG, K. S. Radiation dosage from use of the image intensifier in orthopaedic surgery. *Singapore medical journal*, v. 37, n. 1, p. 69-74, fev. 1996. PMID: 8783918. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8783918/>. Acesso em: 25 mai. 2023.

LOURENÇO, J. C. DE C. Modelo para estimar doses acumuladas em tempo real para procedimentos intervencionistas. 2021. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2021.

MAHAJAN, A.; SAMUEL, S.; SARAN, A. K.; MAHAJAN, M. K.; MAM, M. K. Occupational radiation exposure from C arm fluoroscopy during common orthopaedic surgical procedures and its prevention. *Journal of clinical and diagnostic research: JCDR*, v. 9, n. 3, p. 01–04, mar. 2015. DOI: <https://doi.org/10.7860/JCDR/2015/10520.5672>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25954671/>. Acesso em: 30 mai. 2023.

MASTRANGELO, G.; FEDELI, U.; FADDA, E.; GIOVANAZZI, A.; SCOIZZATO, L.; SAIA, B. Increased cancer risk among surgeons in an orthopaedic hospital. *Occupational medicine*, Londres, v. 55, n. 6, p. 498-500, set. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1093/occmed/kqi048>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16140840/>. Acesso em: 23 fev. 2023.

MOURA, M. F. DE. Estudo sobre a proteção radiológica de uma sala de radiologia intervencionista em um hospital em Uberlândia. 2019. Dissertação (Graduação em Física Médica) – Instituto de Física, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/27471>. Acesso em: 12 de jan. 2024.

MOURA, R.; BACCHIM NETO, F. A. Proteção radiológica aplicada à radiologia intervencionista. *Jornal Vascular Brasileiro*, v. 14, n. 3, p. 197–199, jul. 2015.

NOORDEEN, M. H.; SHERGILL, N.; TWYMAN, R. S.; COBB, J. P.; BRIGGS, T. Hazard of ionizing radiation to trauma surgeons: reducing the risk. *Injury*, v. 24, n. 8, p. 562-564, set. 1993. DOI: [https://doi.org/10.1016/0020-1383\(93\)90039-9](https://doi.org/10.1016/0020-1383(93)90039-9). Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8244554/>. Acesso em: 02 ago. 2023.

NUGENT, M.; CARMODY, O.; DUDENEY, S. Radiation safety knowledge and practices among Irish orthopaedic trainees. *Irish journal of medical science*, v. 184, n. 2, p. 369–373, jun. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11845-014-1121-4>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24756327/>. Acesso em: 11 jun. 2023.

NUNES, A. A. Avaliação da exposição ocupacional às radiações ionizantes no serviço de ortopedia do Hospital Regional de Araguaína (HRA). 2022. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear - Aplicações) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023. DOI: 10.11606/D.85.2023.tde-10072023-083419. Acesso em: 02 fev. 2023.

OKUNO E., YOSHIMURA E. M. Física das Radiações – 1ª edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 296 p.

OKUNO, E. Efeitos biológicos das radiações ionizantes: acidente radiológico de Goiânia. *Estudos Avançados*, v. 27, n. 77, p. 185–200, 2013.

PALÁCIO, E. P.; RIBEIRO, A. A.; GAVASSI, B. M.; STASI, G. G. D.; GALBIATTI, J. A.; DURIGAM JUNIOR, A.; MIZOBUCHI, R. R. Exposure of the surgical team to ionizing radiation during orthopedic surgical procedures. *Revista brasileira de ortopedia*, v. 49, n. 3, p. 227–232, mai. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rboe.2014.04.008>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbort/a/BHcJcW9kJ6bMxzQDw7z7ZWY/?lang=pt#>. Acesso em: 15 jun. 2023.

PARIZOTI, A. Otimização de imagens e proteção radiológica em fluoroscopia. 2008. Dissertação (Mestrado em Física Aplicada à Medicina e Biologia) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2008. DOI: 10.11606/D.59.2008.tde-16072008-114028. Acesso em: 21 maio 2024.

PIRES, R. E.; REIS, I. G. N.; DE FARIA, Â. R. V.; GIORDANO, V.; LABRONICI, P. J.; BELANGERO, W. D. The hidden risk of ionizing radiation in the operating room: a survey among 258 orthopaedic surgeons in Brazil. *Patient safety in surgery*, v. 14, p. 16, abr. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13037-020-00238-6>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32336990/>. Acesso em: 17 jul. 2023.

QUERIDO, F. M.; POVEDA, V. de B. Exposição da equipe de Enfermagem à radiação em centro cirúrgico: um estudo descritivo. *Revista SOBECC*, [S. I.], v. 20, n. 1, p. 2–8, 2015. Disponível em: <https://revista.sobecc.org.br/sobecc/article/view/73>. Acesso em: 29 ago. 2023.

RAZA, M.; HOUSTON, J.; GELEIT, R.; WILLIAMS, R.; TROMPETER, A. The use of ionising radiation in orthopaedic surgery: principles, regulations and managing risk to surgeons and patients. *European journal of orthopaedic surgery & traumatology: orthopedie traumatologie*, v. 31, n. 5, p. 947–955, abr. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00590-021-02955-9>.

RILEY, S. A. Radiation exposure from fluoroscopy during orthopedic surgical procedures. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, v. 248, p. 257–260, nov. 1989. PMID: 2805490. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2805490/>. Acesso em: 02 ago. 2023.

ROMANOVA, K.; VASSILEVA, J.; ALYAKOV, M. Radiation exposure to the eye lens of orthopaedic surgeons during various orthopaedic procedures. *Radiation protection dosimetry*, v. 165, n. 1-4, p. 310–313, jul. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1093/rpd/ncv122>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25944961/>. Acesso em: 10 jan. 2023.

ROS, R. A. Metodologia de controle de qualidade de Equipamentos de raios x (nível diagnóstico) utilizados em calibração de instrumentos, São Paulo, 2000, Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN).

SALVO, J. P.; ZARAH, J.; CHAUDHRY, Z. S.; POEHLING-MONAGHAN, K. L. Intraoperative Radiation Exposure During Hip Arthroscopy. *Orthopaedic journal of sports*

medicine, v. 5, n. 7, jul. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1177/2325967117719014>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5524238/>. Acesso em: 31 mai. 2023.

SINGH, P. J.; PERERA, N. S.; DEGA, R. Measurement of the dose of radiation to the surgeon during surgery to the foot and ankle. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, v. 89, n. 8, p. 1060-1063, ago. 2007. DOI: 10.1302/0301-620X.89B8.19529. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17785746/>. Acesso em: 12 jun. 2023.

SMITH, G. L.; BRIGGS, T. W.; LAVY, C. B.; NORDEEN, H. Ionising radiation: are orthopaedic surgeons at risk? *Annals of the Royal College of Surgeons of England*, v. 74, n. 5, p. 326-328, set. 1992. PMID: 1416705. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1416705/>. Acesso em: 02 ago. 2023.

SOARES, F. A. P.; PEREIRA, A. G.; FLÔR, R. DE C. Utilização de vestimentas de proteção radiológica para redução de dose absorvida: uma revisão integrativa da literatura. *Radiologia Brasileira*, v. 44, n. 2, p. 97-103, mar. 2011.

SOUZA, E. DE.; SOARES, J. P. DE M. Correlações técnicas e ocupacionais da radiologia intervencionista. *Jornal Vascular Brasileiro*, v. 7, n. 4, p. 341-350, dez. 2008.

SULIEMAN, A.; ALZIMAMI, K.; HABEEBALLA, B.; OSMAN, H.; ABDELAZIZ, I.; SASSI, S. A.; SAM, A. K. Evaluation of occupational and patient radiation doses in orthopedic surgery. *Appl Radiat Isot*, v. 100, p. 65-69, jun. 2015. DOI: 10.1016/j.apradiso.2014.11.020.

SUZUKI, A.; MATSUBARA, K.; SASA, Y. Measurement of radiation doses to the eye lens during orthopedic surgery using an C-arm X-ray system. *Radiation protection dosimetry*, v. 179, n. 2, p. 189-195, abr. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1093/rpd/ncx250>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29136218/>. Acesso em: 16 abr. 2023.

TAUHATA, L.; SALATI, I. P. A.; DI PRINZIO, R.; DI PRINZIO, M. A. R. R. Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos - 10ª ed. Rio de Janeiro: IRD/CNEN. 344p. 2014.

VANOLI, F.; GENTILE, L.; IGLESIAS, S. L.; CENTENO, E. L.; DIAZ, M. P.; NOREZ, C. A. A. Exposición a la radiación de los cirujanos en la fijación interna de fracturas de radio distal. *Revista de la Asociación Argentina de Ortopedia y Traumatología*, v. 82, n. 4, p. 271-277, dez. 2017. Disponível em: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-74342017000400003&lng=es&tlng=es. Acesso em: 31 jul. 2023.

VIVAS, M.; HERRERA, H.; GUYOT, J. P.; ARAUJO, G. S.; RUSSO, B. D.; CASTELLINI, J. Informe sobre la radio-exposición en el personal quirúrgico de Ortopedia y Traumatología: Principios, marco legal y análisis situacional en la Argentina. *Revista de la Asociación Argentina de Ortopedia y Traumatología*, v. 83, n. 3, p. 210-213, set. 2018. Disponível em: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-74342018000300011&lng=es&tlng=es. Acesso em: 18 set. 2023.

ZIGOVSKI, T. P.; ENDLICH, L. L.; SATO, A. D.; FILIPOV, D.; CORRÊA, J. N. Assessment of orthopedist exposure to occupational doses of radiation in foot and ankle surgeries. *Scientific Journal of the Foot & Ankle*, [S. I.], v. 13, n. 2, p. 147-153, mai. 2019.

DOI: 10.30795/scijfootankle.2019.v13.947. Disponível em:

<https://jfootankle.com/ScientificJournalFootAnkle/article/view/947>. Acesso em: 19 set. 2022.