

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA - UFU
INSTITUTO DE FÍSICA - INFIS

KAREN LEITE MACHADO

**Análise computacional da exposição ocupacional em
cirurgias ortopédicas que empregam fluoroscopia**

Uberlândia
2022

Karen Leite Machado

**Análise computacional da exposição ocupacional em cirurgias
ortopédicas que empregam fluoroscopia**

Monografia apresentada ao Curso de Física Médica da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para a obtenção do título de bacharel em Física Médica.

Universidade Federal de Uberlândia

Orientador: Prof. Dr. Lucio Pereira Neves

Uberlândia
2022

Agradecimentos

Agradeço principalmente a minha mãe, Elaine Alves Silva Machado, pelo apoio e por sempre estar ao meu lado em todas as minhas escolhas.

À minha família por todo o suporte e incentivo.

Ao meu namorado, Kaio Henrique Viana Gomes, pelo companheirismo e auxílio.

Aos meus amigos e colegas de curso que cumpriram esta jornada ao meu lado.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Lucio Pereira Neves, pela colaboração, conselhos e dedicação durante toda a graduação.

Ao Otavio Tavares pelo auxílio durante as simulações.

Ao Dr. Richard Kramer por fornecer os objetos simuladores utilizados neste trabalho.

À todos os professores e membros do Instituto de Física - INFIS, que colaboraram direta ou indiretamente para minha formação.

*“Nada na vida deve ser temido, apenas compreendido.
Agora é a hora de entender mais, para que tenhamos menos medo”
Marie Curie*

Resumo

Entre as práticas comuns à radiologia intervencionista é possível citar as cirurgias ortopédicas guiadas por fluoroscopia, técnica capaz de fornecer imagens contínuas no e instantâneas das estruturas ósseas. Entretanto a equipe que utiliza esta técnica cirúrgica coloca-se em exposição ocupacional à radiação. Devido o perfil da jornada de trabalho desta equipe, cujo tempo dos procedimentos é prolongado, baixa adesão de equipamentos de proteção coletiva (EPC) os riscos tornam-se maiores. Com este enfoque, este trabalho tem como objetivo analisar as variáveis espaciais das salas de cirurgia ortopédicas, como o tamanho e a presença de EPC, a fim de minimizar esta exposição, e assim, diminuir os riscos dela advindos. Para isto, foi reproduzido de maneira computacional, por meio da simulação de Monte Carlo, cenários referentes aos diferentes portes de salas cirúrgicas previstas na RDC-050, associado à presença ou ausência de EPC. Foram encontradas diminuição no percentual da energia depositada para 12 dos 17 dos órgãos analisados no estudo para a sala cirúrgica de grande porte, quando comparado com a de médio porte. Quanto ao uso de EPC tornou-se notável uma diminuição em todos os órgãos estudados, esse valor podendo chegar em até 50% para algumas regiões. Foi possível concluir então, que dentro dos padrões da simulação, o ambiente que ocasionou a menor exposição ocupacional foi a sala de grande porte associada a utilização de EPC. Entretanto, o valor da deposição de energia ainda foi considerável para todos os órgãos, promovendo inclusive o aumento percentual de $(10.15 \pm 0.12)\%$ na dose recebida pelo olho, o que ressalta a importância da também associação dos equipamentos de proteção individual (EPI).

Palavras-chave: Fluoroscopia; Radiologia Intervencionista; Porte de Salas Cirúrgicas; Proteção Radiológica; Equipamento de Proteção Coletiva; Simulação de Monte Carlo.

Abstract

Among the practices common to interventional radiology, it is possible to mention orthopedic surgeries guided by fluoroscopy, a technique capable of providing continuous and instantaneous images of bone structures. However, the team that uses this surgical technique puts itself in occupational exposure to radiation. Due to the profile of the workday of this team, whose time of the procedures is prolonged, low adherence of collective protection equipment (CPE) the risks become greater. With this focus, this work aims to analyze the spatial variables of orthopedic operating rooms, such as the size and presence of CPE, in order to minimize this exposure, and thus, reduce the risks arising from it. For this, scenarios referring to the different sizes of operating rooms provided for in RDC-050, associated with the presence or absence of CPE, were reproduced in a computational way, through Monte Carlo simulation. A decrease in the energy deposition percentage was found for 12 of the 17 of the organs analyzed in the study for the large operating room, when compared to the medium-sized one. Regarding the use of CPE, a decrease in all the organs studied became noticeable, this value being able to reach up to 50% for some regions. It was possible to conclude, then, that within the simulation standards, the environment that caused the lowest occupational exposure was the large room associated with the use of CPE. However, the dose value was still considerable for all organs, including a percentage increase of $(10.15 \pm 0.12)\%$ in the deposited energy received by the eye, which highlights the importance of also associating personal protective equipment (PPE).

Keywords: Fluoroscopy; Interventional Radiology; Size of Operating Rooms; Radiological Protection; Collective Protection Equipment; Monte Carlo simulation..

Lista de abreviaturas e siglas

IOE	Indivíduo Ocupacionalmente Exposto
EPI	Equipamento de Proteção Individual
EPC	Equipamento de Proteção Coletiva
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância
NN	Norma Nuclear
SPG	Sala de Porte Grande
SPM	Sala de Porte Médio
CEPC	Com Utilização de EPC
SEPC	Sem Utilização de EPC

Lista de ilustrações

Figura 1 – Arco para Procedimentos Cirúrgicos e Vasculares WHA-200	16
Figura 2 – Utilização de EPCs em fluoroscopia	18
Figura 3 – Arco para Procedimentos Cirúrgicos e Vasculares WHA-200 em Monte Carlo	21

Lista de tabelas

Tabela 1 – Limite de dose segundo a CNEN-NN-3	15
Tabela 2 – Dimensões das salas operatórias de diferentes portes	16
Tabela 3 – Diferença percentual da energia depositada na célula entre as geometrias da sala de porte grande e sala de porte médio sem a utilização de EPC	23
Tabela 4 – Diferença percentual da energia depositada na célula entre os casos de utilização e não utilização de EPC	25
Tabela 5 – Diferença percentual da energia depositada na célula entre as geometrias da sala de porte grande e sala de porte médio com a utilização de EPC	26
Tabela 6 – Resultados obtidos para a sala cirúrgica de grande porte	29
Tabela 7 – Resultados obtidos para a sala cirúrgica de médio porte	29

Sumário

	Lista de ilustrações	7
	Lista de tabelas	8
1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Justificativa	12
1.2	Definição do Problema	12
1.3	Objetivos	12
1.3.1	Objetivo Geral	12
1.3.2	Objetivos Específicos	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Radiações Ionizantes	14
2.1.1	Grandezas Dosimétricas	14
2.1.2	Interação da Radiação com a Matéria Biológica	14
2.1.3	Raio-x	15
2.2	Centro Cirúrgico	15
2.3	Fluoroscópio	16
2.4	Proteção Radiológica	17
3	METODOLOGIA	20
3.1	O Método de Monte Carlo	20
3.2	Arco Cirúrgico	20
3.3	Objetos simuladores antropomórficos	21
3.4	Geometria da simulação	21
3.5	Análise dos resultados	22
4	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	23
4.1	Apresentação dos resultados	23
4.2	Análise percentual para os diferentes portes de sala sem a utilização de EPC	23
4.3	Análise percentual para a utilização de EPC	24
4.4	Análise percentual para os diferentes portes de sala com a utilização de EPC	26
5	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	28
6	APÊNDICE A	29

REFERÊNCIAS	30
-----------------------	----

1 Introdução

A radiologia intervencionista é definida como a área que utiliza das radiações ionizantes, como o raio-x, para fins terapêuticos ou para a obtenção de imagens diagnósticas. Como exemplo para estes métodos é possível citar as cirurgias ortopédicas guiadas por meio de imagens de fluoroscopia Santos (2011).

Esta técnica é capaz de fornecer imagens contínuas e instantâneas das estruturas ósseas e assim otimizar a precisão em, por exemplo, cirurgias de osteossíntese como uma maneira de para auxílio na colocação adequada do material ortopédico, além de possuir a vantagem de diminuir o tempo cirúrgico, conseqüentemente diminuindo os riscos operatórios (PALACIO, 2014).

Entretanto, procedimentos que envolvem a utilização de fluoroscopia estão entre os procedimentos que mais promovem a exposição de Indivíduos Ocupacionalmente Expostos (IOE) e a alta complexidade dos procedimentos eleva a exposição para longos períodos o que pode ocasionar sérios danos à saúde da equipe envolvida no procedimento (ALONSO, 2005; KING, 2002). Existe ainda o agravante que, as equipes de cirurgias, principalmente as relacionadas a ortopedia, uma vez que são elas as que mais utilizam o fluoroscópio (MAHAJAN, 2015) não são tradicionalmente monitoradas quanto à exposição à radiação ionizante (OLIVEIRA, 2009).

Tal monitoramento torna-se uma necessidade, uma vez que, estudos sugerem que os olhos e as mãos do cirurgião possam ser os locais de maior exposição (HOFFLER, 2020) e são locais os quais o uso de equipamentos de proteção individuais (EPI), como o avental de chumbo, não garantem a proteção e o uso de EPIs específicos para esses órgãos possuem um uso limitado nos procedimentos cirúrgicos (KESAVACHANDRAN, 2012).

Um estudo realizado no Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Pernambuco, acompanhou durante um ano um grupo de cirurgiões, que foram instruídos a utilizarem dosímetros em todos os seus procedimentos os quais utilizaram alguma fonte de radiação ionizante. No final do estudo, a dose efetiva média recebida por estes profissionais foi de $27,41mSv$ (MELO, 2015). Valor o qual ultrapassa o limite de $20mSv$ permitidos pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN, 2014a). Um estudo realizado nos Estados Unidos mostrou que cirurgiões ortopédicos do gênero feminino possuem maior incidência de câncer de mama que as demais mulheres do país (VALONE, 2016).

O risco de exposição para a equipe presente na cirurgia ortopédica pode ser minimizado através da otimização das medidas de proteção, que além da utilização correta dos EPIs, inclui também escolher qual o ambiente mais seguro para a execução destes procedimentos.

A Resolução RDC-n.0 50 de 21 de fevereiro de 2002, a qual dispõe sobre o Regulamento Técnico para estruturas físicas hospitalares (ANVISA, 2002) documento o qual rege a construção de ambientes hospitalares, prevê diferentes modelos de salas cirúrgicas, com

diferentes variações de tamanho e diferentes componentes físicos. Pode-se então, por meio de simulações computacionais utilizando o código de Monte Carlo, analisar qual o ambiente que promove uma menor exposição da equipe à radiação, otimizando a utilização dos EPIs.

1.1 Justificativa

A escolha do tema do presente trabalho, deu-se devido ao risco que a exposição à radiação ionizante, quando não controlada e minimizada de acordo com as diretrizes da radioproteção, pode causar danos à saúde do indivíduo exposto.

Dada a vulnerabilidade da equipe de cirurgias ortopédicas e o aumento crescente da exposição ocupacional desta, devido ao tempo de exposição, número de procedimentos e falta de conhecimento sobre o uso adequado de EPIs (KING, 2002; KESAVACHANDRAN, 2012) este trabalho tem como objetivo analisar fatores ambientais como o tamanho da sala cirúrgica e os materiais que a compõem, de acordo com os modelos previstos na RDC-050, a fim de diminuir a exposição destes profissionais à radiação ionizante.

1.2 Definição do Problema

Dada a caracterização dos aspectos citados acima, nota-se a necessidade de acompanhar, monitorar e analisar a exposição ocupacional em equipes de cirurgias ortopédicas que utilizam técnicas de fluoroscopia. Este trabalho irá realizar a análise desta exposição por meio de simulações computacionais e comparar os portes das salas cirúrgicas estabelecidas na RDC-050 em questão de dose absorvida pelo IOE para uma possível otimização da exposição ocupacional.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Determinar e analisar a exposição ocupacional da equipe de cirurgia ortopédica durante a utilização de técnicas de fluoroscopia para determinar qual o ambiente hospitalar mais seguro para a realização destes procedimentos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar a simulação de Monte Carlo;
- Analisar a dose recebida pelos IOEs;
- Comparar a dose recebida em salas de diferentes portes.
- Comparar a dose recebida em salas com e sem a utilização de EPC.

2 Referencial teórico

2.1 Radiações Ionizantes

Radiação é o nome dado ao transporte da energia emitida por uma fonte em algum meio, como o ar, vácuo ou material. A radiação pode ser classificada como corpusculares e ondulatórias. A primeira se refere a partículas atômicas e subatômicas que possuem energia, tal como as partículas α e elétron. Já a segunda classificação são ondas como a radiação eletromagnética (OKUNO, 2010).

Quanto à radiação ionizante, é aquela capaz de arrancar um elétron de um átomo ou molécula causando assim a sua ionização. Esta também recebe uma subclassificação, podendo ser diretamente ionizante, que são as partículas carregadas como elétrons e pósitrons e indiretamente ionizantes, como fótons e nêutrons. No caso de indiretamente ionizantes, a ionização ocorre devido a interação do átomo ou molécula com uma partícula carregada que foi gerada pelo contato inicial com o fóton ou nêutron (ATTIX, 2004).

2.1.1 Grandezas Dosimétricas

Dentro da dosimetria existem diversas unidades de medidas associadas às propriedades individuais de cada caso e de seus subprodutos. A dose equivalente, unidade utilizada para reunir e sintetizar as diferentes capacidades de ionização e penetração, assim, consequentemente a capacidade de dano biológico ao tecido. Como uma variação da sua definição, podemos utilizar também a dose equivalente em órgãos e dose equivalente efetiva (TAUHATA, 2013).

2.1.2 Interação da Radiação com a Matéria Biológica

Segundo Okuno (2010), os efeitos biológicos da radiação podem ser classificados em duas categorias:

- **Reações Teciduais:** São danos nos tecidos ou órgãos que decorrem de uma exposição a uma elevada dose de radiação que causa a morte de um número elevado de células de um tecido. Para este caso existe um limiar de dose para o surgimento destas reações, a gravidade das reações são proporcionais ao valor da dose. Estas também podem ser classificadas como reações teciduais imediatas, como eritemas e mucosite ou reações teciduais tardias como a catarata.
- **Efeitos estocásticos:** São alterações na estrutura da célula que podem levar ao desenvolvimento de cânceres caso a alteração ocorra em células somáticas e alterações em descendentes caso a alteração ocorra em células germinativas. Neste caso, os

efeitos acontecem de maneira probabilística onde a maior dose aumenta as chances de ocorrência dos efeitos estocásticos, não havendo um limiar de dose

De acordo com a Norma Nuclear-CNEN-NN3.01-Diretrizes Básicas de Proteção Radiológicas, publicada em março de 2014, estabelece os limites de doses individuais que IOEs e Indivíduos públicos podem ser expostos em órgãos ou tecidos de interesse. Excetuam-se as denominadas exposições médicas, que englobam pacientes expostos a técnicas de diagnóstico ou terapia. Os valores dos limites podem ser encontrados na Tabela 1

Tabela 1 – Limite de dose segundo a CNEN-NN-3

ÓRGÃO	DOSE - IOE	DOSE - IP
Corpo Inteiro	20mSv	1mSv
Cristalino	20mSv	15mSv
Pele	500mSv	50mSv
Mãos e Pés	500mSv	-

Fonte: (CNEN, 2014b)

Assim sendo, torna-se responsabilidade mútua de empregadores e IOE a monitoração e verificação do cumprimento dos requisitos de proteção radiológica para que as doses recebidas estejam dentro dos limites estipulados pela CNEN.

2.1.3 Raio-x

Os raios-X são uma onda eletromagnética com comprimento de onda muito menor que o da luz e frequência acima da ultravioleta, que apresenta o caráter dual entre onda e partícula. Eles recebem a classificação de radiação eletromagnética e indiretamente ionizante. Estes raios se originam em estruturas chamadas de “Tubos de Raio-X”, compostas por um filamento metálico que se aquece devido a uma diferença de potencial e solta um elétron, este elétron colide com um alvo de alto ponto de fusão o qual vai emitir o raio-x (OKUNO, 2010).

2.2 Centro Cirúrgico

O centro cirúrgico representa uma das áreas de maior complexidade dentro dos hospitais, composto por uma rede de instalações destinadas à realização de procedimentos anestésicos, operatórios e pós operatórios. Dentro desta rede, as salas operatórias representam o ambiente de maior importância dentro do centro cirúrgico. Estas salas são destinadas a realização do ato anestésico e cirúrgico e tem sua estrutura padronizada e regulamentada pela Resolução RDC-n. 50 de 21 de fevereiro de 2002, a qual dispõe sobre o Regulamento Técnico para estruturas físicas hospitalares (SOBECC, 2017).

Segundo a Resolução RDC-n.50 (ANVISA, 2002) as salas operatórias são classificadas em três grupos de acordo com o seu tamanho físico: pequeno, médio e grande porte. No

entanto, esta classificação não se aplica a complexidade dos procedimentos cirúrgicos ou quantidade de equipamentos e materiais utilizados nele (SOBECC, 2017). As definições das dimensões das salas operatórias podem ser encontradas na Tabela 2.

Tabela 2 – Dimensões das salas operatórias de diferentes portes

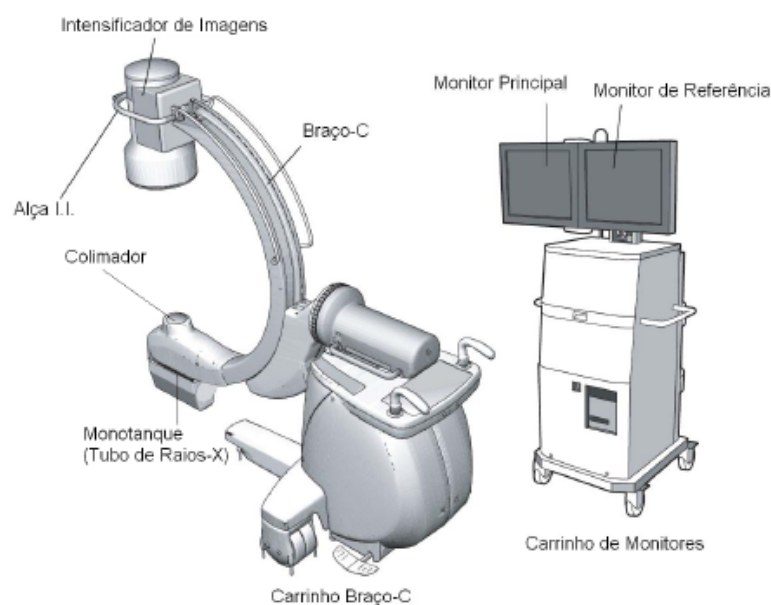
Porte	Tamanho (m ²)	Largura (m)	Altura (m)
Pequeno	20.00	3.45	2.70
Médio	25.00	4.65	2.70
Grande	36.00	5.00	2.70

Fonte: (ANVISA, 2002)

2.3 Fluoroscópio

A fluoroscopia é uma técnica de imagens obtidas por meio de raios-x que entrega imagens em tempo real. Um fluoroscópio é composto por uma fonte de raio-x, um intensificador de imagens, uma câmara de vídeo que permite que as imagens sejam gravadas e reproduzidas em um monitor e um braço em C com capacidade de giro. Os raios-x gerados no tubo atravessam o corpo do paciente rumo ao intensificador de imagens, este por sua vez converte a radiação coletada em luz, logo em seguida, essa luz é convertida em sinais de vídeo e exibidos no monitor de TV acoplado ao equipamento. Estas imagens podem ser impressas em filmes radiográficos caso solicitado (SANTOS, 2011).

Figura 1 – Arco para Procedimentos Cirúrgicos e Vasculares WHA-200



Fonte: Manual de operação WHA-200

2.4 Proteção Radiológica

Define-se como proteção radiológica o conjunto de ações cujo objetivo seja proteger o homem dos riscos oferecidos pela utilização das radiações ionizantes. A RDC N°330, de 20 de dezembro de 2019, que dispõe sobre as diretrizes básicas de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico, define os princípios básicos da proteção radiológica em 4 tópicos:

- Justificação da prática e das exposições médicas individuais.
- Otimização da proteção radiológica.
- Limitação de doses individuais.
- Prevenção de acidentes.

Como otimização das medidas de proteção radiológica, a portaria em questão ressalta o planejamento das práticas que utilizam radiações ionizantes de modo a serem executadas para que a magnitude das doses individuais sejam mínimas, que atinja o menor número de pessoas e que minimize a probabilidade de exposições acidentais.

De acordo com Santos (2011), em procedimentos guiados por fluoroscopia, para a diminuição do nível de exposição às radiações ionizantes da equipe podem ser obtidas através de técnicas de monitoramento destas exposições, na qual a autora destaca:

- Controle dos parâmetros de exposição.
- Limitação do número de procedimentos.
- Uso de EPIs e EPCs.
- Melhor distribuição da equipe cirúrgica dentro da sala de cirurgia.

O controle de parâmetros como tensão, corrente e tempo são responsáveis pela intensidade do feixe, podendo aumentar ou reduzir a taxa de exposição. O parâmetro de dose é dado pelo produto da taxa de exposição pelo tempo a ela exposto. Já parâmetros como a energia do feixe determina a capacidade de penetração dos fótons que o compõem (TAUHATA, 2013).

A quantidade de procedimentos realizados pela mesma equipe cirúrgica está diretamente ligado ao tempo quanto parâmetro de exposição, em estudos realizados por Silva (2011) a dose equivalente nas mãos dos profissionais podem ultrapassar o limite anual de 500 mSv caso um profissional realize múltiplos procedimentos ao longo do ano.

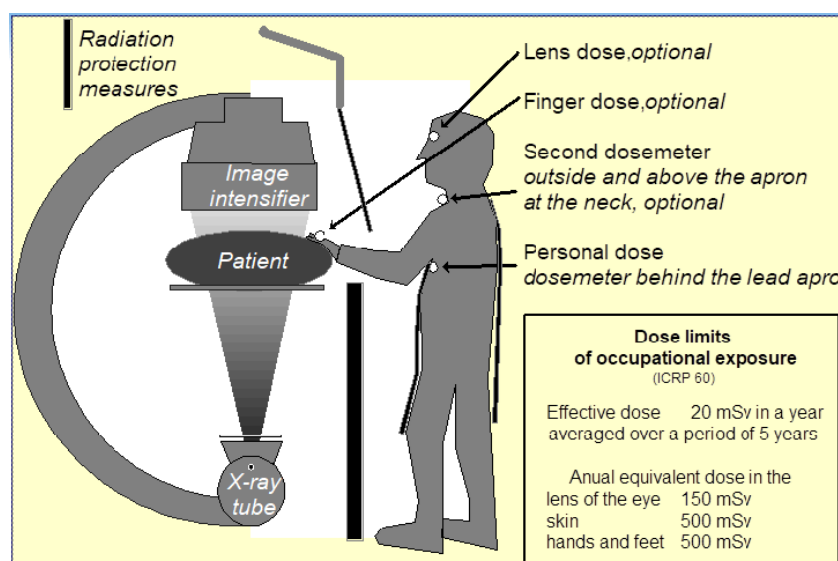
Ao interagir com o paciente, alguns fótons de raio-X são totalmente absorvidos, enquanto outros estarão sujeitos a uma absorção parcial e sofrerão efeitos de espalhamento em diversas direções, o que dará origem a radiação espalhada a qual atingirá a equipe

médica. Esta radiação também está relacionada aos parâmetros de exposição (tempo, tensão, corrente e energia)(SANTOS, 2011).

A intensidade do campo de radiação formada por esta radiação espalhada obedece a lei física chamada de “Lei do Inverso do Quadrado das Distâncias” a qual diz que a intensidade de radiação de uma fonte, ou seja, a potência gerada por unidade de área, é inversamente proporcional ao quadrado da distância do ponto até a fonte. Então, se a distância do profissional do tubo de raios-X for dobrada, a taxa de exposição é reduzida em $\frac{1}{4}$ (HOFF, 2014).

Já quanto ao uso de EPIs, como os aventais e óculos plumbíferos e os protetores de tireóide são capazes de atenuar até 75% do feixe. Para isso o avental deve possuir a espessura de 0,5mm equivalente de chumbo, para uso de até 100kVp. Os equipamentos de proteção coletivos (EPCs) como os dispositivos de proteção acoplados ao equipamento de raio-x também são efetivos (SANTOS, 2011). Entre estes são aplicados a fluoroscopia a utilização de um saíote de plumbífero acoplado a lateral da mesa envolvendo a fonte e um visor de vidro plumbífero móvel acoplado entre a mesa e o amplificador de imagens, como pode ser visto na figura 2

Figura 2 – Utilização de EPCs em fluoroscopia



Fonte: Training material: Occupational exposure and protective devices - International Commission on Radiological Protection

Visando confirmar a efetividade destes equipamentos de proteção, Casagrande (2014) realizou um estudo no Centro de Diagnóstico e Tratamento Intervencionista (CDTI) de um hospital de Porto Alegre, onde valores de kerma no ar foram coletados a partir de um simulador não antropomórfico de tórax em procedimentos de hemodinâmica. O

estudo comprovou que a utilização destes equipamentos foram efetivos em reduzir a taxa de kerma no ar em até 91%.

3 Metodologia

A pesquisa tem sua natureza qualitativa e exploratória e utilizou de meios computacionais para a análise da exposição ocupacional da equipe de cirurgia ortopédica em procedimentos que utilizam técnicas de fluoroscopia.

Verificou-se o melhor ambiente para a realização dos procedimentos de acordo com os padrões de salas operatórias em um hospital público de grande porte. Também analisou o melhor posicionamento para a equipe envolvida e a eficiência dos EPC.

3.1 O Método de Monte Carlo

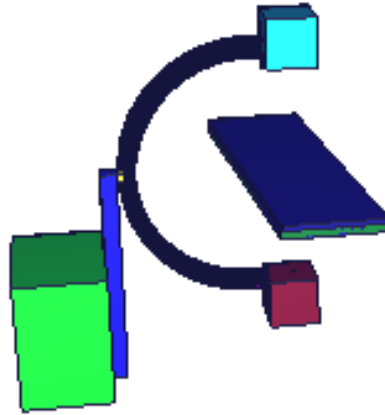
O método de Monte Carlo é uma ferramenta estatística capaz de realizar análises de efeitos estocásticos através de funções de probabilidades. O caráter aleatório das trajetórias das partículas de radiação no ar permite a utilização deste método para aproximar o comportamento destas partículas ao interagir com a pele (YORIYAZ, 2015).

A RDC 050 (ANVISA, 2002) contém o regulamento técnico para a construção da infraestrutura física de ambientes hospitalares, prevê três tipos de salas cirúrgicas: a sala de pequena, média e de grande cirurgia. Sendo possível realizar cirurgias ortopédicas nas salas de médio e grande porte, estes ambientes foram reproduzidos na simulação.

3.2 Arco Cirúrgico

O Arco cirúrgico escolhido para a reprodução no código de monte carlo foi o Arco para Procedimentos Cirúrgicos e Vasculares OPESCOPE ACTIV /OPESCOPE PLENO modelo WHA-200 produzido pela Shimadzu Corporation (Figura 1). A escolha deste aparelho foi feita devido a facilidade de encontrar as especificações técnicas da fonte e estrutura física em seu manual de instruções online. O tubo de raio-x utilizado neste modelo opera em uma tensão de 120 *kv*, ânodo de tungstênio, com uma filtração adicional de 2,99 *mm* de alumínio e angulação anódica de 8°(SHIMADZU, 2011). A réplica na simulação pode ser visualizada na Figura 3

Figura 3 – Arco para Procedimentos Cirúrgicos e Vasculares WHA-200 em Monte Carlo



Fonte: Autoria Própria

3.3 Objetos simuladores antropomórficos

Os objetos simuladores antropomórficos virtuais, também chamados fantasmas, tem como objetivo reproduzir da maneira mais realista possível características, como absorção e espalhamento da radiação, de um corpo humano. Neste trabalho, foram utilizados os fantasmas de voxel. Estes simuladores são considerados os mais realistas possíveis por serem criados a partir de um sequenciamento de imagens tomográficas reais de tecidos e órgãos humanos, assim fornecendo informações anatômicas precisas. Esta imagem tomográfica, quando computadorizada representa uma matriz bidimensional de pixels, quando multiplicado pela espessura da fatia que a imagem tomográfica representa, obtém-se o voxel. (BOIA, 2010)

O modelo utilizado neste trabalho foi o simulador antropomórfico virtual masculino MASH3 desenvolvido por Kramer (2010).

3.4 Geometria da simulação

Para a realização da simulação, foram construídas quatro geometrias, duas referentes à sala cirúrgica de grande porte e duas referentes à sala cirúrgica de médio porte. A sala cirúrgica de pequeno porte não foi incluída na discussão devido a incompatibilidade entre o tamanho do equipamento e seu espaço físico disponível.

Em cada uma das classificações quanto ao tamanho, foram colocadas duas situações: a primeira onde o ambiente conta com EPC, como saiotas e vidro plumbífero e a segunda onde estes EPC não estão sendo utilizados. As salas contêm um aparelho emissor de raio-

X para fluoroscopia, o Arco Cirúrgico. Um fantoma de voxel representando o IOE, um cilindro de água representando o paciente e outros três cilindros de água que representam a equipe cirúrgica e possíveis acompanhantes, como alunos em hospitais universitários.

Os *tallies* são utilizados para identificar o tipo de informação a ser coletada pela simulação na célula. Para este trabalho foi utilizado o *tally* F6, que reconhece a deposição de energia na célula ($MeV/g/source\ particle$).

3.5 Análise dos resultados

A análise dos resultados obtidos através da simulação foi dividida em duas fases: Análise percentual da energia depositada órgão a órgão pelo IOE entre as salas de diferentes portes, a fim de detectar a influência do tamanho da estrutura física de cada caso. No final foi possível comparar entre os valores das quatro simulações o ambiente de menor da exposição ocupacional.

4 Apresentação e discussão dos resultados

4.1 Apresentação dos resultados

Os resultados obtidos por meio da simulação estão apresentados nas tabelas 6 e 7, disponíveis no Apêndice A (capítulo 6) para a sala grande e para a sala média respectivamente. Os valores apresentados estão de acordo com o *tally* F6 e com unidades de ($MeV/g/source\ particle$).

4.2 Análise percentual para os diferentes portes de sala sem a utilização de EPC

Os resultados contidos na tabela 3 apresentam a diferença percentual entre os valores obtidos nas simulações das geometrias referentes a sala de porte grande e porte médio. A sala utilizada como base para os cálculos foi a sala de porte médio.

Porcentagens negativas representam uma diminuição e porcentagens positivas representam um aumento da energia depositada no órgão ou tecido em questão quando o procedimento foi realizado em uma sala de porte grande (SPG) quando comparados ao procedimento realizado em uma sala de porte médio (SPM).

$$Percentual = \frac{(SPG - SPM)}{SPM} \cdot 100 \quad (4.1)$$

Tabela 3 – Diferença percentual da energia depositada na célula entre as geometrias da sala de porte grande e sala de porte médio sem a utilização de EPC

Órgão/Tecido	Diferença Percentual	Incerteza (%)
Conjunto de ossos compactos	-0,73	0,01
Colon	8,25	0,05
Pulmão	-5,78	0,03
Estômago	-0,08	0,06
Seios	-1,94	0,09
Demais tecidos e órgãos	-0,70	0,01
Testículos	22,46	0,13
Bexiga	11,76	0,17
Esôfago	-0,11	0,14
Fígado	0,49	0,04
Tireoide	-10,73	0,12
Superfície óssea	-0,75	0,01
Cérebro	-0,98	0,07
Glândulas salivares	-0,36	0,08
Pele	-0,93	0,01
Olhos	1,01	0,13
Lentes dos olhos	-11,69	0,27

Os resultados apresentaram variação em todos os órgãos, e isso pode ser explicado pelas diferentes interações da radiação com as diferenças nos cenários das simulações. Quando em contato com uma superfície, a partícula de radiação pode ter sua trajetória alterada ou ser absorvida devido às suas interações por meio de Espalhamento Coerente, Efeito Compton e/ou Efeito Fotoelétrico.

Nos dados apresentados na tabela 3 nota-se variações positivas e negativas. Cólon, testículos, bexiga, esôfago e os olhos apresentaram um aumento da energia recebida. O maior valor de aumento foi de $(22.46 \pm 0.13)\%$, para os testículos, o aumento significativo nos valores de irradiação de tal órgão destaca-se devido a probabilidade de acontecimento de efeitos estocásticos, o que como citado por Okuno (2010), pode levar ao surgimento de alterações nas células germinativas independente de um limiar de dose.

Entretanto, uma diminuição de $(11.69 \pm 0.27)\%$ na lente dos olhos também compõem fator relevante na análise, uma vez que esta área encontra-se entre as mais afetadas por radiações ionizantes dentre os indivíduos do grupo alvo deste estudo (HOFFLER, 2020).

Já os órgãos que apresentaram maior valor absoluto de energia depositada, como pele, superfície óssea e pulmão apresentaram uma diminuição nos valores de desta deposição, o que efetivamente representa a maior alteração nestes valores. A tireóide, órgão de interesse do ponto de vista da radioproteção, também teve uma diminuição considerável, no total de $(10.73 \pm 0.12)\%$.

4.3 Análise percentual para a utilização de EPC

Os resultados apresentados na tabela 4 mostram a diferença percentual para os casos de utilização(CEPC) e não utilização de EPC (SEPC), como o saioté e o vidro plumbífero utilizados no equipamento de fluoroscopia. Foram utilizados como base para os cálculos as geometrias da sala de grande e médio porte sem a utilização destes equipamentos, os valores contidos na tabela em questão apresentam a alteração do valor das energias depositadas nos órgãos do IOE em um ambiente com a utilização destes equipamentos.

$$Percentual = \frac{(CEPC) - (SEPC)}{SEPC} \cdot 100 \quad (4.2)$$

Tabela 4 – Diferença percentual da energia depositada na célula entre os casos de utilização e não utilização de EPC

Órgão/Tecido	Sala Grande		Sala Média	
	Diferença Percentual	Incerteza (%)	Diferença Percentual	Incerteza (%)
Conjunto de ossos compactos	-35,02	0,01	-35,17	0,02
Colon	-28,38	0,02	-24,35	0,07
Pulmão	-10,49	0,01	-10,65	0,04
Estômago	-16,79	0,02	-18,38	0,08
Mama	-11,29	0,03	-15,16	0,11
Demais tecidos e órgãos	-32,95	0,00	-33,03	0,01
Testículos	-51,17	0,06	-38,92	0,18
Bexiga	-22,41	0,07	-13,20	0,24
Esôfago	-6,81	0,05	-10,22	0,18
Fígado	-14,64	0,01	-9,47	0,05
Tireoide	-8,73	0,05	-9,49	0,15
Superfície óssea	-35,65	0,01	-35,70	0,02
Cérebro	-9,44	0,03	-12,37	0,09
Glândulas salivares	-9,99	0,03	-14,34	0,10
Pele	-40,03	0,00	-40,20	0,01
Olhos	-7,90	0,05	-15,54	0,16
Lentes dos olhos	-16,01	0,11	-22,59	0,36

A utilização de EPCs diminuiu deposição de energia no IOE em todos os cenários, promovendo a redução de até $(51.17 \pm 0.06)\%$ para os testículos na sala de grande porte. Houve também uma diminuição considerável nas doses recebidas para pele e superfície óssea, órgãos que recebem a maior dose absoluta, de aproximadamente 40% e 35% em ambas as geometrias.

4.4 Análise percentual para os diferentes portes de sala com a utilização de EPC

Os resultados presentes na tabela 5 foram adquiridos utilizando a mesma análise da seção 4.2, mas com os valores referente a simulação com a utilização de EPC.

Tabela 5 – Diferença percentual da energia depositada na célula entre as geometrias da sala de porte grande e sala de porte médio com a utilização de EPC

Órgão/Tecido	Diferença Percentual	Incerteza (%)
Conjunto de ossos compactos	-0,51	0,01
Colon	2,48	0,05
Pulmão	-5,61	0,03
Estômago	1,86	0,06
Mama	2,54	0,07
Demais tecidos e órgãos	-0,58	0,01
Testículos	-2,12	0,14
Bexiga	-0,10	0,19
Esôfago	3,68	0,12
Fígado	-5,25	0,03
Tireoide	-9,98	0,11
Superfície óssea	-0,68	0,01
Cérebro	2,32	0,06
Glândulas salivares	4,70	0,07
Pele	-0,65	0,01
Olhos	10,15	0,12
Lentes dos olhos	-4,18	0,25

Ao ser realizada a comparação entre as energias recebidas para a simulação sem a utilização de EPC 3 e com a utilização de EPC 5, observamos que órgãos que anteriormente sofreram uma variação percentual positiva agora receberam uma variação percentual negativa, como os testículos que foram de $(22.46 \pm 0.13)\%$ para $(-2.12 \pm 0.14)\%$, fígado $(0.49 \pm 0.04)\%$ para $(-5.25 \pm 0.03)\%$ e bexiga $(11.76 \pm 0.17)\%$ para $(-0.10 \pm 0.19)\%$.

Também ocorreram, mudanças nas variações anteriormente negativas, que agora se tornam positivas, como por exemplo o estômago, mamas, esôfago e cérebro. Entretanto, estes órgãos mantiveram uma variação absoluta abaixo de 5%.

Quanto ao caso dos olhos, que sem a utilização do EPC sofreu uma alteração de $(1.01 \pm 0.13)\%$ e no caso com a utilização do EPC $(10.15 \pm 0.12)\%$, ressalta que mesmo

com a utilização de EPC os EPI são indispensáveis para manter a dose tão baixa quanto possível.

5 Conclusões e considerações finais

Neste trabalho foram analisados os diferentes portes de salas cirúrgicas de um Hospital Público de grande porte, em procedimentos guiados por fluoroscopia, a fim de analisar qual dos ambientes promoveria a menor exposição ocupacional à equipe no local. Garantindo assim que as doses de radiação que a equipe está exposta se mantenham as menores possíveis. Também foi analisada a efetividade do uso de equipamentos de proteção coletiva para fluoroscópios, sendo eles o saíote e vidro plumbífero acoplados no fluoroscópio.

Foi constatado uma diminuição percentual da exposição do IOE na maioria dos órgãos analisados no estudo quando o procedimento foi realizado na sala de grande porte, com o destaque para a as lentes dos olhos, local considerado como um dos mais afetados, sofrendo uma redução de $(11.69 \pm 0.27)\%$. Entretanto, quando não utilizados os EPC, a utilização da sala de grande porte promoveu um aumento na exposição de outros órgãos, chegando a $(22.46 \pm 0.13)\%$ nos testículos.

Quanto à utilização dos EPC, em ambos os cenários, estes se provaram eficientes em reduzir a exposição de todos os órgãos observados no estudo. Quando utilizados na sala cirúrgica de grande porte, estes diminuíram o aumento percentual positivo existente no cenário sem a sua utilização.

Esta associação de fatores, a utilização da sala cirúrgica de grande porte junto aos EPC, configuraram a simulação com a menor exposição ocupacional. Entretanto, os valores observados para os olhos, cujo o aumento percentual para este cenário foi de $(10.15 \pm 0.12)\%$ exemplifica a necessidade da associação dos EPI no esquema de proteção radiológica, uma vez que, mesmo na geometria de menor exposição, ainda existem uma nível de exposição ocupacional que pode ser evitado.

6 Apêndice A

Tabela 6 – Resultados obtidos para a sala cirúrgica de grande porte

Órgão/Tecido	Sala Grande			
	Sem EPC	Incerteza (%)	Com EPC	Incerteza (%)
Conjunto de ossos compactos	4,02E-04	6,00E-04	2,61E-04	5,90E-03
Colon	1,08E-04	2,30E-03	7,70E-05	2,06E-02
Pulmão	1,77E-03	1,40E-03	1,58E-03	1,12E-02
Estômago	6,99E-05	2,80E-03	5,82E-05	2,37E-02
Mama	1,48E-05	3,80E-03	1,32E-05	3,13E-02
Demais tecidos e órgãos	7,42E-04	4,00E-04	4,98E-04	4,20E-03
Testículos	1,91E-05	5,80E-03	9,33E-06	6,08E-02
Bexiga	7,40E-06	7,50E-03	5,74E-06	6,80E-02
Esôfago	9,85E-06	5,80E-03	9,18E-06	4,84E-02
Fígado	8,08E-04	1,70E-03	6,90E-04	1,41E-02
Tireoide	1,62E-05	5,40E-03	1,48E-05	4,47E-02
Superfície óssea	1,18E-03	6,00E-04	7,56E-04	6,00E-03
Cérebro	2,32E-04	3,10E-03	2,10E-04	2,57E-02
Glândulas salivares	1,60E-05	3,30E-03	1,44E-05	2,72E-02
Pele	1,42E-03	4,00E-04	8,53E-04	4,00E-03
Olhos	1,16E-05	5,90E-03	1,07E-05	4,87E-02
Lentes dos olhos	7,39E-07	1,26E-02	6,20E-07	1,07E-01

Tabela 7 – Resultados obtidos para a sala cirúrgica de médio porte

Órgão/Tecido	Sala Média			
	Sem EPC	Incerteza (%)	Com EPC	Incerteza (%)
Conjunto de ossos compactos	4,05E-04	1,39E-02	2,63E-04	1,30E-02
Colon	9,93E-05	5,20E-02	7,51E-05	4,49E-02
Pulmão	1,88E-03	2,93E-02	1,68E-03	2,38E-02
Estômago	6,99E-05	6,20E-02	5,71E-05	5,03E-02
Mama	1,51E-05	8,57E-02	1,28E-05	6,67E-02
Demais tecidos e órgãos	7,47E-04	1,00E-02	5,00E-04	9,20E-03
Testículos	1,56E-05	1,26E-01	9,53E-06	1,22E-01
Bexiga	6,62E-06	1,68E-01	5,75E-06	1,79E-01
Esôfago	9,86E-06	1,37E-01	8,86E-06	1,09E-01
Fígado	8,04E-04	3,81E-02	7,28E-04	3,06E-02
Tireoide	1,81E-05	1,18E-01	1,64E-05	9,53E-02
Superfície óssea	1,18E-03	1,41E-02	7,62E-04	1,32E-02
Cérebro	2,34E-04	6,85E-02	2,05E-04	5,59E-02
Glândulas salivares	1,61E-05	7,58E-02	1,38E-05	6,15E-02
Pele	1,44E-03	9,20E-03	8,58E-04	8,80E-03
Olhos	1,15E-05	1,26E-01	9,71E-06	1,05E-01
Lentes dos olhos	8,36E-07	2,74E-01	6,47E-07	2,30E-01

Referências

- ALONSO, T. C. *Investigação das doses ocupacionais da equipe médica em procedimentos hemodinâmicos*. Tese (Tese de Mestrado) — Universidade Federal de Minas Gerais - Escola de Engenharia, 2005.
- ANVISA, A. N. de V. S. *Resolução RDC n50, de 21 de fevereiro de 2002. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para planejamento, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde*. Brasília: Diário Oficial da União, 2002.
- ATTIX, F. H. *Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry*. 1. ed. Rio de Janeiro: Wiley-VCH, 2004.
- BOIA, L. da S. *Metodologia Computacional para geração de modelos antropomórficos de voxels para simulação por monte carlo de tratamentos radioterápicos*. Tese (Tese de Doutorado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.
- CASAGRANDE, S. Avaliação dos equipamentos de proteção coletiva em uma sala de hemodinâmica. *International Joint Conference RADIO*, Gramado, 2014.
- CNEN. *CNEN NN 3.01: Diretrizes básicas de proteção radiológica*. 2014. Disponível em: <<http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm301.pdf>> Acesso em: 24 Jan. 2022.
- CNEN, C. N. de E. N. *Norma Nuclear cnen NN3.02 Diretrizes básicas de proteção radiológica*. Brasília: Diário Oficial da União, 2014.
- HOFF, G. Aplicabilidade da lei do inverso do quadrado da distância em radiologia convencional e mamografia. *International Joint Conference*, 2014.
- HOFFLER, E. Fluoroscopic radiation exposure: are we protecting ourselves adequately? *The Journal of bone and joint surgery*, Online, v. 97, n. 9, 2020.
- KESAVACHANDRAN, C. N. Radiation exposure of eyes, thyroid gland and hands in orthopaedic staff: a systematic review. *European journal of medical research*, v. 17, n. 1, 2012.
- KING, J. N. Using a sterile disposable protective surgical drape for reduction of radiation exposure to interventionalists. *American Journal of Roentgenology*, Online, v. 178, n. 1, p. 153–157, 2002.
- KRAMER, R. Fash and mash: female and male adult human phantoms based on polygon mesh surfaces: II. dosimetric calculations. *Physics in medicine and biology*, v. 55, n. 1, p. 163–189, 2010.
- MAHAJAN, A. Occupation radiation exposure from c arm fluoroscopy during common orthopedic surgical procedures and its prevention. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, Online, v. 9, n. 5, p. 1–4, 2015.
- MELO, F. A. de. A importância do uso do dosímetro nos profissionais médicos no serviço de hemodinâmica. *Brazilian Journal of Radiation Sciences*, Gramado, v. 3, n. 1, p. 1–7, 2015.

- OKUNO, E. *Física das Radiações Ionizantes*. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- OLIVEIRA, A. D. Caracterização do feixe de radiação x num bloco operatório em cirurgia ortopédica. *Revista Portuguesa de Saúde Pública*, Lisboa, v. 27, n. 1, p. 59–70, 2009.
- PALACIO, E. P. e. a. Exposure of the surgical team to ionizing radiation during orthopedic surgical procedures. *Rev. bras. ortop.*, online, v. 49, n. 3, p. 227–232, 2014.
- SANTOS, R. P. dos. *Exposição ocupacional às radiações ionizantes durante cirurgias ortopédicas guiadas fluoroscopicamente*. Tese (Tese de Mestrado) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Engenharia Biomédica, 2011.
- SHIMADZU. *Instruções de uso Arco para Procedimentos Cirúrgicos e Vasculares WHA-200 MODS. OPESCOPE ACTIVO E OPESCOPE PLENO*. 2011.
- SILVA, A. J. da. *Avaliação da dose ocupacional oriunda dos procedimentos especiais guiados por luoroscopia: cateterismo cardíaco*. Tese (Tese de Mestrado) — Instituto de pesquisas energéticas e nucleares, 2011.
- SOBECC, A. B. de Enfermeiros de Centro Cirúrgico Recuperação Anestésica e Centro de Material e E. *Diretrizes de Práticas em Enfermagem Cirúrgica e Processamento de Produtos para a Saúde*. 7. ed. São Paulo: Malone, 2017.
- TAUHATA, L. *Radioproteção e Dosimetria Fundamentos*. 9. ed. Rio de Janeiro: Instituto de RadioPROTEÇÃO e Dosimetria CNEN, 2013.
- VALONE, L. C. Breast radiation exposure in female orthopaedic surgeons. *The Journal of bone and joint surgery, American*, v. 98, n. 21, p. 1808–1813, 2016.
- YORIYAZ, H. Método de monte carlo: princípios e aplicações em física médica. *Revista Brasileira de Física Médica*, São Paulo, v. 3, n. 1, p. 141–149, 2015.