



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

**Pós-Graduação em Engenharia Biomédica**

**WALTER JUNIOR SIEPIERSKI**

**ESTUDO DE DOSES EM PROFISSIONAIS QUE REALIZAM  
PROCEDIMENTOS DE COLANGIOPANCREATOGRÁFIA  
RETROGRADA ENDOSCÓPICA**

**Uberlândia  
2024**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

**Pós-Graduação em Engenharia Biomédica**

**WALTER JUNIOR SIEPIERSKI**

**ESTUDO DE DOSES EM PROFISSIONAIS QUE REALIZAM  
PROCEDIMENTOS DE COLANGIOPANCREATOGRÁFIA  
RETROGRADA ENDOSCÓPICA**

Trabalho de Conclusão de Mestrado apresentado ao Instituto de Física da Universidade Federal de Uberlândia como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. William de Souza Santos.

**Uberlândia  
2024**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

S572e  
2024 Siepierski, Walter Junior, 1997-  
Estudo de doses em profissionais que realizam procedimentos de  
colangiopancreatografia retrograda endoscópica [recurso eletrônico] /  
Walter Junior Siepierski. - 2024.

Orientador: William de Souza Santos.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Biomédica.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2024.5178>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Engenharia Biomédica. I. Santos, William de Souza, 1979-,  
(Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-  
graduação em Engenharia Biomédica. III. Título.

CDU: 62:61

---

André Carlos Francisco  
Bibliotecário Documentalista - CRB-6/3408



## ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Engenharia Biomédica				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 110, PPGEB				
Data:	dezenove de julho de dois mil e vinte e quatro	Hora de início:	14:00	Hora de encerramento:	15:35
Matrícula do Discente:	12312EBI011				
Nome do Discente:	Walter Junior Siepierski				
Título do Trabalho:	Estudo de doses em profissionais que realizam procedimentos de colangiopancreatografia retrógrada endoscópica				
Área de concentração:	Engenharia Biomédica				
Linha de pesquisa:	Tecnologias em Radiações, Imagens Médicas e Biológicas				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Cálculo de dose fetal e pediátrica em radioterapia com fóton e próton: uso do método Monte Carlo				

Reuniu-se, pela plataforma ConferênciaWeb, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Biomédica, assim composta: Professores Doutores: Walmir Belinato - IFBA, Campus Vitória da Conquista, BA.; Diego Castanon Galeano - HJUM-UFMT/EBSERH; William de Souza Santos - PPGEB/UFU orientador do candidato.

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa, Dr. William de Souza Santos, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato, agradeceu a presença do público, e concedeu ao discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir, o senhor presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir o candidato. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o candidato:

[Aprovado].

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **William de Souza Santos, Presidente**, em 19/07/2024, às 15:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Walmir Belinato, Usuário Externo**, em 19/07/2024, às 15:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Diego Castanon Galeano, Usuário Externo**, em 19/07/2024, às 15:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **5540624** e o código CRC **F15FA676**.



## TERMO DE RESPONSABILIDADE DE AUTORIA

Eu, Walter Junior Siepierski, discente do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica, matrícula nº 12312EBI011, declaro, para os devidos fins e efeitos, junto a Universidade Federal de Uberlândia, que, sob as penalidades previstas no artigo 299 do Código Penal Brasileiro, e/ou demais leis sobre o tema, os produtos apresentados nos componentes curriculares que constituem na minha DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, TESE DE DOUTORADO, ARTIGOS PUBLICADOS OU QUALQUER OUTRO PRODUTO QUE TENHA SIDO ORIGINADO DO TRABALHO DE PESQUISA não contêm plágio, não foram escritos por outrem (incluindo tecnologias de Inteligência artificial ou similares), ou representam compra fraudulenta de documentos científicos.

Por ser verdade, e por ter ciência do referido artigo, firmo a presente declaração.

Uberlândia - MG, 03. de julho de 2024.

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** WALTER JUNIOR SIEPIERSKI  
Data: 03/07/2024 14:29:48-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Assinatura gov.br



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

**Pós-Graduação em Engenharia Biomédica**

**WALTER JUNIOR SIEPIERSKI**

**Banca Examinadora:**

---

Orientador: Prof. Dr. William de Souza Santos

---

Doutor em Física

Walmir Belinato

---

Doutor em Física

Diego Castanon Galeano

**Uberlândia  
2024**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por me dar forças todos os dias e me fazer perseverar nesta etapa da minha vida.

Agradeço aos meus pais, Walter e Eliane, e às minhas irmãs, Luana e Larissa, pelo carinho recebido nas ligações quase diárias durante esses anos longe de casa.

À toda minha família, minha avó Estelita, todos os tios, tias, primos, primas e amigos.

À minha noiva Eduarda e a sua família por todo apoio e motivação que me deram.

Ao meu orientador Prof. Dr. William de Souza Santos, por toda atenção e ensinamentos, ao Prof. Dr. Lucio Pereira Neves por todo apoio, à Samara Pavan pela ajuda nas medições e todos os outros colegas que de alguma forma contribuíram para este trabalho.

Este trabalho foi realizado com o apoio financeiro da UFU e pelas agências de fomento Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por meio das bolsas de Produtividade em Pesquisa 309675/2021-9 (W.S.S), 312124/2021-0 (A.P.P.) e 312160/2023-2 (L.P.N.), pelo Projeto UNIVERSAL 407493/2021-2; e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), por meio dos projetos APQ-04215-22, APQ-01254-23 e APQ-04348-23. Este trabalho é parte do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Instrumentação Nuclear e Aplicações na Indústria e Saúde (INAIS) 406303/2022-3.

O autor também agradece por sua bolsa de Apoio Técnico a Pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) 370926/2023-4.

## RESUMO

A colangiopancreatografia endoscópica retrógrada (CPRE) é atualmente recorrente em procedimentos médicos, seja na área do diagnóstico ou na execução da cirurgia. No entanto, esta é uma técnica que utiliza radiação ionizante, a qual tem por função a produção de imagens do interior do corpo que em contrapartida gera radiação espalhada e por este motivo o estudo e análise dos seus efeitos colaterais se torna pertinente quando se considera a exposição frequente e a saúde dos profissionais que executam a CPRE. Destaca-se também a pesquisa sobre os fatores implicantes ao risco, como o tempo e distância em exposição, e os equipamentos de proteção para os indivíduos ocupacionalmente expostos (IOEs), já que a falta de planejamento e blindagem contra a radiação, nestes procedimentos, está correlacionada ao surgimento de efeitos deletérios que incluem: desenvolvimento de catarata, dermatites e até cânceres. O corpo humano interage de diferentes formas quando há o contato com a radiação, isto ocorre devido a sensibilidade que os diferentes tecidos possuem, pois, quanto maior a sensibilidade do tecido, maior a sua vulnerabilidade. Este estudo de revisão bibliográfica e reprodução de ambiente em procedimentos de CPRE, tem como objetivo estudar as doses em que os IOEs estão sujeitos durante os processos que vão executar, e sua relação com o tempo de exposição e distância do centro espalhador. Durante o estudo foi possível observar a variação de dose com relação a diferentes posições entre duas pessoas, e também da quantidade de dose em alguns dos órgãos mais radiosensíveis. É importante ressaltar a aplicação das técnicas focadas em reduzir ao máximo a exposição à radiação ionizante sem que comprometa a qualidade das imagens de raio x.

Palavras-chave: CPRE, dosimetria, radiação ionizante.

## **ABSTRACT**

Endoscopic retrograde cholangiopancreatography (ERCP) is currently common in medical procedures, whether in the area of diagnosis or surgery. However, this is a technique that uses ionizing radiation, whose function is to produce images of the interior of the body, which in return generates scattered radiation and for this reason the study and analysis of its side effects becomes pertinent when considering exposure. frequency and the health of professionals who perform ERCP. Also noteworthy is the research on factors implicating risk, such as time and distance of exposure, and protective equipment for occupationally exposed individuals (IOEs), as the lack of planning and shielding against radiation in these procedures, It is correlated with the emergence of harmful effects that include: development of cataracts, dermatitis and even cancer. The human body interacts in different ways when there is contact with radiation, this occurs due to the sensitivity that different tissues have, as the greater the sensitivity of the tissue, the greater its vulnerability. This bibliographical review and environmental reproduction study in ERCP procedures aims to study the doses to which the IOEs are subjected during the processes they are going to carry out, and their relationship with the exposure time and distance from the spreading center. During the study it was possible to observe the dose variation in relation to different positions between two people, and also the amount of dose in some of the most radiosensitive organs. It is important to highlight the application of techniques focused on reducing exposure to ionizing radiation as much as possible without compromising the quality of x-ray images.

Keywords: ERCP, dosimetry, ionizing radiation.

## Lista de Figuras

Figura 1: Catarata radioinduzida.....	13
Figura 2: Imagem fluoroscópica realizada durante CPRE .....	16
Figura 3: Radiografia realizada na mão de Anna Bertha Ludwig .....	19
Figura 4: Efeitos ocorrentes da interação da radiação com a matéria .....	20
Figura 5: Câmara de ionização.....	25
Figura 6: Objeto simulador espalhador .....	26
Figura 7: Representação da vista de entrada da sala de cirurgia .....	27
Figura 8: Representação da vista de fundo da sala de cirurgia .....	27
Figura 9: Esquema do posicionamento do objeto simulador e dos profissionais .....	28
Figura 10: Doses registadas no médico e no assistente.....	31
Figura 11: Posicionamento dos profissionais durante o procedimento .....	33
Figura 12: Ambiente cirúrgico e posicionamento dos profissionais envolvidos .....	34
Figura 13: Sala de cirurgia esquematizada em simulação computacional.....	35

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1: Fator de qualidade para os diferentes tipos de radiação .....	22
Tabela 2: Fator peso para os diferentes tipos de tecido .....	23
Tabela 3: Limites de doses anuais para indivíduos ocupacionais e públicos.....	24
Tabela 4: Dose para a altura do cristalino no médico e assistente .....	30
Tabela 5: Dose para a altura da tireoide no médico e assistente .....	30
Tabela 6: Dose para a altura das gônadas no médico e assistente.....	30
Tabela 7: Comparação da redução de dose entre o médico e assistente .....	36

## **Lista de Siglas**

CPRE - colangiopancreatografia endoscópica retrógrada

IOEs - indivíduos ocupacionalmente expostos

ALARA - Tão Baixo Quanto Razoavelmente Exequível (do inglês As Low As Reasonably Achievable)

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS .....	15
2.1 Objetivo Geral.....	15
2.2 Objetivos específicos.....	15
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	16
3.1 Funcionamento da CPRE .....	17
3.2 Descoberta dos Raios X e sua evolução .....	18
3.3 Interação da Radiação com a Matéria .....	20
3.4 Definições de dose empregadas neste estudo .....	21
4. MATERIAIS E MÉTODO .....	25
4.1 Equipamentos utilizados .....	25
4.2 Ambiente para a realização das medidas.....	26
4.3 Coleta de dados .....	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	30
6. CONCLUSÃO .....	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	37

## 1. INTRODUÇÃO

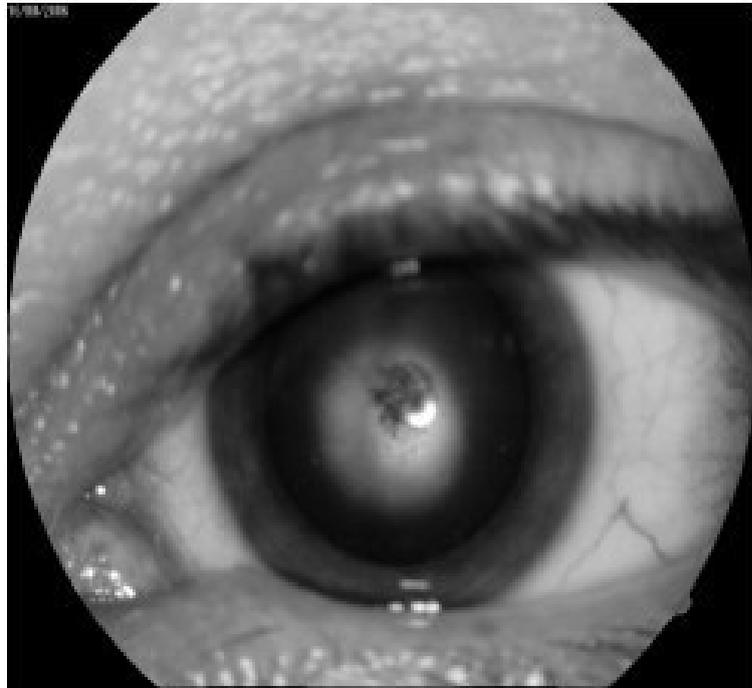
Atualmente a colangiopancreatografia endoscópica retrógrada (CPRE) tem se tornado um procedimento cada vez mais utilizado no tratamento e diagnóstico de condições pancreatobiliares complexas (MOFFATT, 2014). O que antes era predominantemente uma ferramenta diagnóstica, agora se transformou também em uma intervenção terapêutica muito importante para lidar com uma variedade de condições, desde pancreatite crônica até complicações pós-transplante de fígado, além de ser um dos procedimentos gastrointestinais rotineiros mais complexos (KESWANI, 2017; TSAPAKI, 2017).

Essa mudança e ampliação na utilização da CPRE trouxe consigo uma crescente demanda por profissionais altamente qualificados. À medida que o procedimento se torna mais complexo a habilidade do profissional se torna um fator necessário para o sucesso do tratamento. Profissionais mais experientes tendem a completar a CPRE de forma mais rápida e eficiente, o que pode resultar em uma redução na exposição do paciente e da equipe à radiação ionizante e a outros riscos que envolvem cirurgias como a exposição à agentes infecciosos (KESWANI, 2017). Além do mais, a experiência do profissional pode influenciar diretamente na minimização de erros durante o procedimento, contribuindo para a segurança e um melhor pós cirúrgico (KESWANI, 2017).

A exposição à radiação ionizante durante procedimentos médicos apresenta riscos tanto para os pacientes quanto para os profissionais de saúde envolvidos. Esses riscos estão associados aos efeitos biológicos da radiação nos tecidos e células do corpo humano (OKUNO, 2018). Para os pacientes, a exposição à radiação durante a CPRE pode aumentar o risco de desenvolver câncer devido aos efeitos mutagênicos da radiação no DNA das células (OKUNO, 2018). Além disso, há a possibilidade de ocorrerem reações teciduais adversas, como eritema, queimaduras ou necrose, tais efeitos são comumente associados com doses elevadas resultantes de longos períodos de exposição contínua (OKUNO, 2018).

Para os profissionais, a exposição de forma repetitiva, mesmo que recebendo doses inferiores à dos pacientes durante procedimentos, pode resultar em doses cumulativas significativas ao longo do tempo, aumentando o risco de danos ao DNA das células somáticas e o desenvolvimento de câncer (BURGIO, 2018). A radiação ionizante pode causar danos aos olhos, aumentando o risco de desenvolvimento de catarata (Figura 1) que é definida pela opacidade do cristalino (HAMADA, 2020). O desencadeamento geralmente se inicia após o corpo humano absorver cerca de 0,5 Gy de dose e está associada a um dos principais motivos de cegueira do mundo em indivíduos adultos (FLAXMAN, 2017; LOGANOVSKY, 2020; O'CONNOR, 2013)

Figura 1: Catarata radioinduzida



Fonte: Fedirko *et al*, 2019

Além disso, órgãos como a tireoide e partes do sistema reprodutor são particularmente sensíveis à radiação ionizante e estão entre os que mais se danificam quando expostos repetidamente (INCA, 2010). Esses riscos ressaltam a importância da proteção radiológica durante os procedimentos médicos. A existência de limites de doses estabelecidos pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e *International Commission on Radiological Protection* (ICRP), tanto para o público em geral quanto para os indivíduos ocupacionalmente expostos (IOEs), reforça o alerta.

Tais limites estabelecem os valores máximos de exposição à radiação considerados seguros e servem como parâmetro para nortear as práticas de proteção radiológica, contribuindo para a avaliação e o controle adequado da exposição. Existe também o princípio ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*) que diz que as doses de radiação utilizadas em procedimentos devem ser tão baixas quanto razoavelmente exequíveis, ou seja, procedimento ideal é aquele em que se usa o mínimo de radiação sem comprometer a qualidade do diagnóstico.

Diante da complexidade e dos riscos associados aos procedimentos de CPRE, o presente trabalho pretende avaliar a exposição à radiação nos IOEs, com foco nos olhos, a tireoide e os órgãos reprodutores.

Este estudo busca quantificar os níveis de exposição a que os profissionais de saúde estão sujeitos durante a realização da CPRE, bem como as variáveis relacionadas às doses recebidas por eles, como distância, tempo e parâmetros de aquisição de imagem.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo desse trabalho é simular presencialmente um ambiente hospitalar e avaliar as doses em órgãos sensíveis à radiação de profissionais que realizam a CPRE. O espaço realizado será em uma sala específica para este tipo de procedimento no Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Uberlândia.

### **2.2 Objetivos específicos**

Revisar estudos anteriores que já encontraram valores de doses associadas a este procedimento.

Simular situação extrema em que os profissionais não dispõem de equipamentos de proteção radiológica.

Compreender as variantes responsáveis pela exposição à radiação ionizante, específicas deste procedimento.

### 3. REVISÃO DA LITERATURA

Durante uma CPRE, uma série de procedimentos são realizados para diagnosticar e tratar condições relacionadas ao pâncreas e às vias biliares. Isso inclui a canulação dos ductos pancreáticos e biliares, a execução de colangiografia e pancreatografia, a esfínterectomia endoscópica e a colocação de próteses, como *stents*, quando necessário. Todos esses passos ocorrem enquanto o paciente está sob sedação, utilizando um instrumento chamado duodenoscópio, que é inserido via oral e se estende até o duodeno (SILVEIRA, 2009).

No procedimento, o endoscopista orienta o duodenoscópio para acessar os ductos pancreáticos e biliares, permitindo a injeção de contraste para avaliar a morfologia e função dos órgãos. Imagens fluoroscópicas (Figura 2) são frequentemente empregadas para fornecer imagens contínuas em tempo real, auxiliando na visualização do posicionamento do cateter e do contraste nos ductos. Esse monitoramento é utilizado para assegurar a precisão e segurança dos procedimentos (ENESTVEDT, 2016).

Figura 2: Imagem fluoroscópica realizada durante CPRE



Fonte: Enestvedt *et al.*, 2016

O físico médico na área da radiologia colabora na definição dos protocolos de imagem, na calibração dos equipamentos de fluoroscopia e na avaliação da exposição radiológica durante a CPRE. Além disso, ele é responsável por reforçar as medidas de proteção radiológica, como o uso adequado de aventais plumbíferos e óculos de proteção, garantindo um ambiente de trabalho seguro para toda a equipe médica, é importante ressaltar a aplicação do princípio ALARA que visa minimizar as doses no paciente sem prejudicar a qualidade da imagem.

### 3.1 Funcionamento da CPRE

Para a realização do procedimento, alguns passos importantes, apresentados por FREY *et al.* (1982), são descritos aqui.

- Preparação do Paciente: Antes do procedimento, o paciente é sedado para garantir conforto durante a CPRE.
- Inserção do Endoscópio: Um endoscópio flexível é inserido pela boca do paciente, passando pela garganta, esôfago e estômago até alcançar o duodeno, onde está localizada a abertura do ducto biliar.
- Identificação dos ductos: Uma vez que o endoscópio atinge o duodeno, o médico identifica a abertura do ducto biliar principal (colédoco) e do ducto pancreático.
- Injeção de Contraste: Um contraste é injetado nos ductos para torná-los visíveis em radiografias. Isso permite que o médico visualize possíveis obstruções, pedras, estreitamentos ou outras anormalidades no local.
- Realização de Intervenções: Durante a CPRE, o médico pode realizar procedimentos terapêuticos, como a remoção de cálculos biliares, a drenagem de ductos obstruídos ou a coleta de amostras de tecido para biópsia.

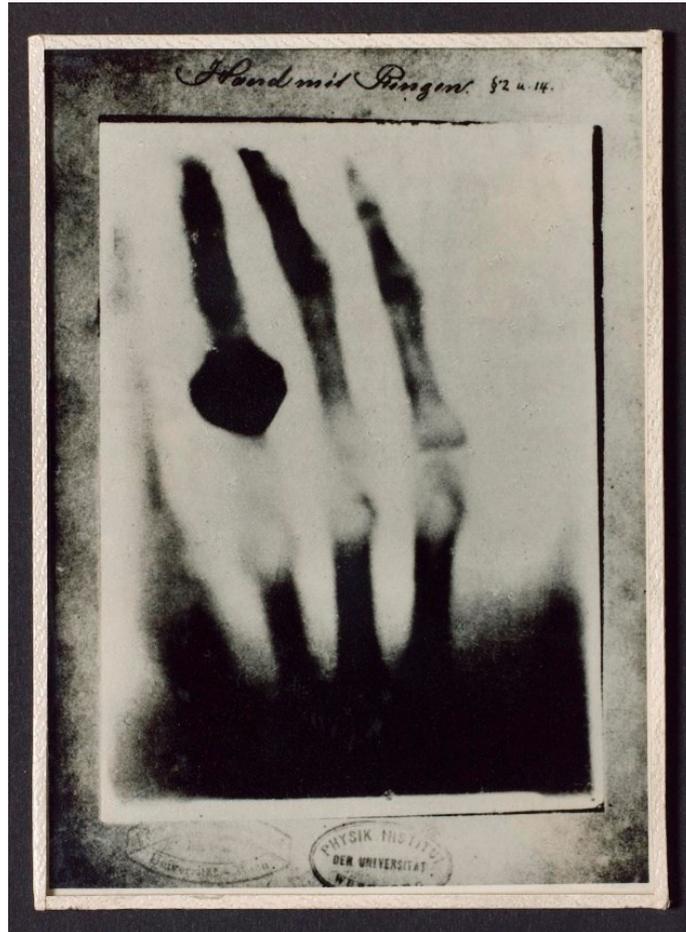
- Monitoramento e Acompanhamento: Durante todo o procedimento, o médico monitora as imagens dos ductos em um monitor para orientar as intervenções necessárias.
  
- Pós-Procedimento: Após a CPRE, o paciente é monitorado para garantir a recuperação adequada da sedação e para detectar possíveis complicações, como sangramento ou perfuração.

### **3.2 Descoberta dos Raios X e sua evolução**

A descoberta dos raios X por Wilhelm Conrad Roentgen, um físico alemão, em 1895 foi um marco na história da ciência e da medicina. Roentgen realizava experimentos com tubos de Crookes quando observou que ao passar uma corrente elétrica através de um tubo de vácuo contendo gás a baixa pressão, um papel recoberto com platinocianeto de bário, colocado próximo ao tubo, começava a emitir uma luz fluorescente, mesmo sem ser exposto diretamente à corrente elétrica, essa luz era produzida por uma radiação invisível que estava atravessando o tubo de vácuo e atingindo o material. Ele nomeou essa radiação de "raios X". O mais impressionante era que esses raios X tinham a capacidade de atravessar objetos sólidos opacos, como papel, madeira e até mesmo o próprio corpo humano, e impressionavam uma placa fotográfica (OKUNO, 2018; PANCHBHAI, 2015).

Roentgen realizou uma série de experimentos para estudar as propriedades desses raios, revelando seu potencial para aplicações médicas. Logo ficou claro que os raios X poderiam ser utilizados para produzir imagens do interior do corpo humano sem a necessidade de cirurgia invasiva, abrindo caminho para o nascimento da radiologia diagnóstica, a primeira radiografia da história (Figura 3) foi realizada em Anna Bertha Ludwig, esposa de Roentgen, foi feita uma imagem da mão que demorou cerca de 15 minutos de exposição (OKUNO, 2018). Em poucas semanas após a descoberta, os raios X estavam sendo amplamente utilizados em hospitais e clínicas médicas para diagnosticar fraturas ósseas, localizar corpos estranhos e identificar doenças internas (PANCHBHAI, 2015).

Figura 3: Radiografia realizada na mão de Anna Bertha Ludwig



Fonte: Science Museum Group, 1895

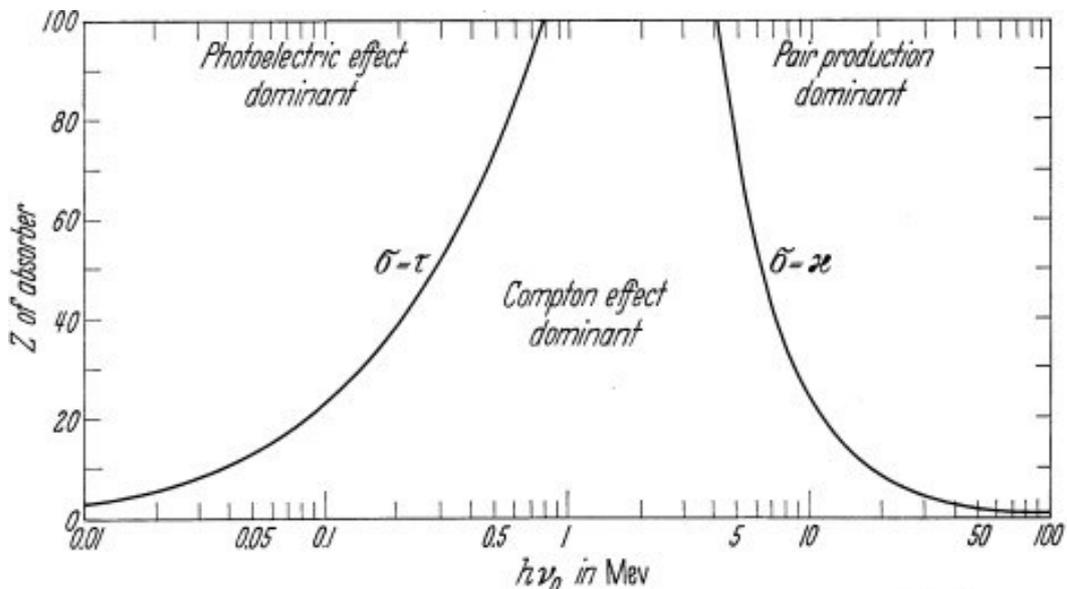
Outro nome importante foi o engenheiro elétrico britânico John Ambrose Fleming, que projetou os primeiros tubos de raios X portáteis, facilitando sua utilização em diferentes ambientes clínicos (SÜSSKIND, 1980). Além disso, o engenheiro elétrico americano William Coolidge desenvolveu o tubo de raios X de cátodo quente em 1913, um avanço significativo que permitiu a produção de raios X com maior intensidade e consistência (KELLEY, 1973).

No século XX, houve a evolução sobre as imagens estáticas, os médicos perceberam que poderiam usar os raios-X de forma contínua para visualizar o movimento interno do corpo em tempo real. Isso levou ao desenvolvimento da fluoroscopia, uma técnica que permitia aos médicos observar o interior do corpo enquanto o paciente se movia durante procedimentos médicos (KROHMER, 1989).

### 3.3 Interação da Radiação com a Matéria

A maneira como a radiação interage com o corpo humano em um ambiente hospitalar, faz com que ocorram diferentes eventos com características distintas, que podem contribuir positivamente ou negativamente para a formação de imagem. São eles, o Efeito Compton, o Efeito Fotoelétrico e Produção de Pares (Figura 4).

Figura 4: Efeitos ocorrentes da interação da radiação com a matéria



Fonte: EVANS, 1958

O efeito Compton ocorre quando um fóton de alta energia colide com um elétron de um átomo, resultando na dispersão do fóton e na ejeção do elétron, suas principais características incluem a perda de energia do fóton incidente, que é transferida para o elétron, e a mudança de direção do fóton espalhado em relação à sua direção original. Esse fenômeno é responsável por parte da radiação espalhada em exames de imagem, o que pode causar artefatos e comprometer a qualidade das imagens radiográficas (EVANS, 1958; HAMOUDA, 2017).

O comportamento do efeito Compton é influenciado pela energia do fóton incidente e pelo ângulo de espalhamento. Quanto maior a energia do fóton, maior é a probabilidade de ocorrer o espalhamento Compton. Além disso, o ângulo de espalhamento pode variar de acordo com a energia do fóton e a massa do elétron (EVANS, 1958).

Já o efeito Fotoelétrico, é o fator contribuinte para a formação da imagem em baixas energias, isso porque quando um fóton de radiação é absorvido por um elétron em um átomo ocorre ejeção desse elétron do átomo, chamado de fotoelétron, que então interage com um detector para formar uma imagem (BUSHBERG, 2011).

Outro efeito que ocorre na interação da radiação com a matéria é a produção de pares, que acontece com energias mais altas, este efeito se dá pela interação do elétron incidente com o núcleo do material irradiado, que então produz um par de elétron e pósitron, que posteriormente são aniquilados, portanto não interferem na formação da imagem pois a energia necessária para que isso ocorra é bem maior que os níveis aplicados em raio x comum (SEIBERT, 2005).

A obtenção da imagem se deve ao fato de que os diversos tecidos do corpo humano possuem diferentes interações com o feixe de raios X, e também a maneira com que os sensores recebem a radiação. Por exemplo, tecidos densos como os ossos absorvem mais raios X do que tecidos mais moles, como músculos ou órgãos internos. Portanto, quando um feixe de raios X passa pelo corpo, a quantidade de radiação absorvida pelos diferentes tecidos varia, o que resulta na formação de uma imagem diferenciada (BUSHBERG, 2011).

### 3.4 Definições de dose empregadas neste estudo

- a) Dose Absorvida: representa a quantidade de energia depositada nos tecidos humanos pelo feixe de radiação ionizante durante um procedimento radiológico. Essa energia depositada pode causar danos biológicos aos tecidos. No sistema internacional de unidades, a dose absorvida é expressa em gray (Gy), calculada pela seguinte equação:

$$D = \frac{dE}{dm} \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

$D$  é a dose absorvida em gray (Gy).

$dE$  é a energia depositada nos tecidos em joules (J).

$dm$  é a massa do tecido em quilogramas (kg).

- b) Dose Equivalente: refere-se aos diferentes tipos de radiação e seus efeitos biológicos relativos. Isso é importante porque cada tipo de radiação tem capacidades específicas de causar danos aos tecidos. A dose equivalente é calculada multiplicando a dose absorvida pelo fator de qualidade da radiação, que é uma medida da capacidade da radiação em causar danos biológicos. A unidade de medida da dose equivalente é o sievert (Sv) e sua equação é:

$$H_T = w_R \cdot D_T \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde:

$H$  é a dose equivalente em sievert (Sv).

$D_T$  é a dose absorvida em gray (Gy) no tecido T.

$w_R$  é o fator de ponderação da radiação. Este fator é adimensional, e varia para cada tipo de radiação afetando diretamente na deposição de energia sobre o tecido. A tabela 1 apresenta o fator correspondente às energias.

Tabela 1: Fator de qualidade para os diferentes tipos de radiação

<b>Tipo de radiação</b>	<b>Fator qualidade (<math>w_R</math>)</b>
Fótons	1
Elétrons e Múons	1
Prótons	2
Partícula $\alpha$ , fragmentos de fissão e íons pesados	20
Nêutrons	Variável

Fonte: ICRP, 2007

- c) Dose Efetiva: é uma medida da dose equivalente ponderada para diferentes tecidos do corpo, levando em consideração a sensibilidade de cada tecido à radiação. Essa medida é usada para estimar os riscos à saúde associados à exposição à radiação em exames de imagem. A dose efetiva é expressa em sievert (Sv) e é usada para garantir que os procedimentos radiológicos sejam

realizados com o mínimo de risco possível para o paciente, a equação relacionada a esta medida é:

$$E = \sum_T w_T H_T \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde:

$E$  é a dose efetiva em Sievert (Sv).

$w_T$  é o fator peso do tecido (valor adimensional)

$H_T$  é a dose equivalente nos tecidos em Sievert (Sv).

Assim como existe uma ponderação para o fator de qualidade de radiação, há também o fator peso do tecido que está relacionado com a sua radiosensibilidade, apresentado na tabela 2.

Tabela 2: Fator peso para os diferentes tipos de tecido

<b>Tecido/Órgão</b>	<b>Fator peso (<math>w_T</math>)</b>
Medula óssea	0,12
Cólon	0,12
Pulmão	0,12
Estômago	0,12
Mamas	0,12
Gônadas	0,08
Bexiga	0,04
Esôfago	0,04
Fígado	0,04
Tireoide	0,04
Superfície óssea	0,01
Cérebro	0,01
Glândulas salivares	0,01
Pele	0,01
Demais tecidos	0,12
Total	1,00

Fonte: ICRP, 2007

A ICRP é o órgão responsável por propor limites de doses a que os profissionais expostos devem obedecer por questões de segurança. Conforme a publicação 103 (ICRP, 2007), a tabela 3 apresenta os níveis de exposição tanto para IOE quanto para indivíduos do público.

Tabela 3: Limites de doses anuais para indivíduos ocupacionais e públicos

<b>Tipo de limite</b>	<b>Ocupacional</b>	<b>Público</b>
<b>Dose efetiva</b>	20 mSv por ano, sendo uma média para o período de 5 anos	1 mSv por ano
<b>Dose equivalente (anual)</b>		
	<b>Ocupacional</b>	<b>Público</b>
Cristalino	150 mSv	15 mSv
Pele	500 mSv	50 mSv
Mãos e pés	500 mSv	--

Fonte: ICRP, 2007

Respeitar esses limites propostos é de grande importância, que visa garantir a proteção radiológica tanto do indivíduo público quanto o ocupacional, especialmente este segundo grupo, pois está em contato com a radiação de forma mais frequente, aumentando conseqüentemente o risco em desenvolver reações radioinduzidas.

## 4. MATERIAIS E MÉTODO

### 4.1 Equipamentos utilizados

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram utilizados equipamentos para medição e registro de dose, são estes: uma câmara de ionização 1800 cc, modelo 10X6-1800 (Figura 4), uma fita métrica, suporte para posicionamento da câmara e um notebook para visualização da leitura registrada.

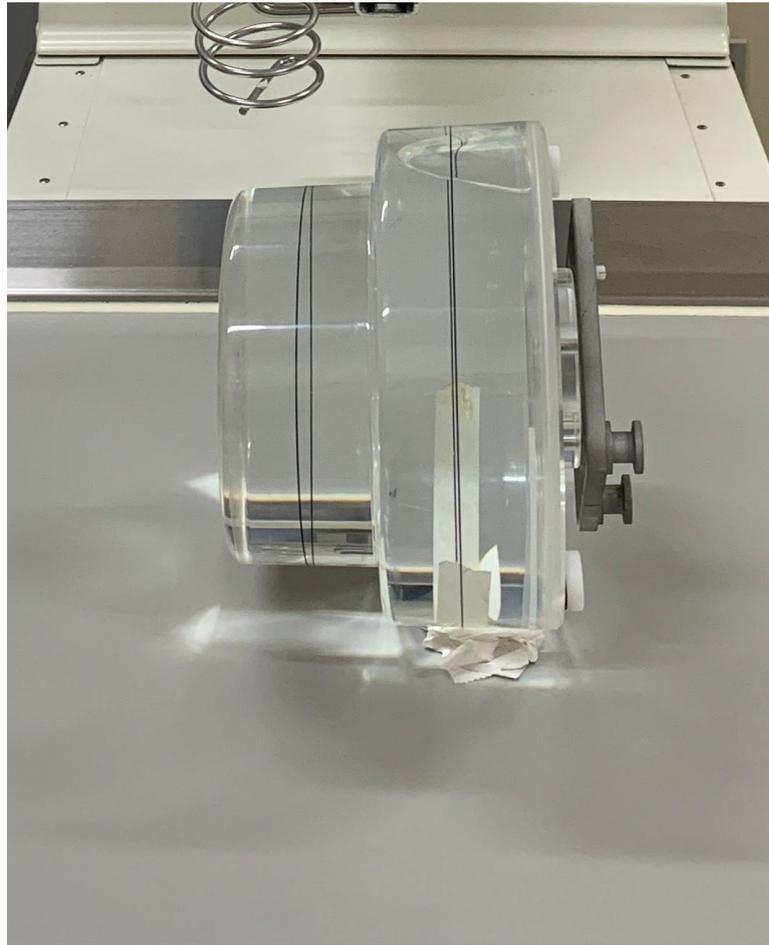
Figura 5: Câmara de ionização



Fonte: Radcal

Para representar o paciente durante a realização do procedimento foi utilizado um objeto simulador no formato cilíndrico preenchendo por água (Figura 5), como um meio espalhador da radiação. Esse foi posicionado sobre a mesa de procedimentos, simulando a região torácica.

Figura 6: Objeto simulador espalhador



Fonte: Autor, 2024

As imagens de raio X foram feitas pelo equipamento SIEMENS Axiom Iconos R 100 com o tubo posicionado na parte superior. Os parâmetros de aquisição de imagem estavam configurados como “exposição automática” que varia os valores de corrente e tensão conforme a espessura do paciente e campo de visão aplicado.

#### **4.2 Ambiente para a realização das medidas**

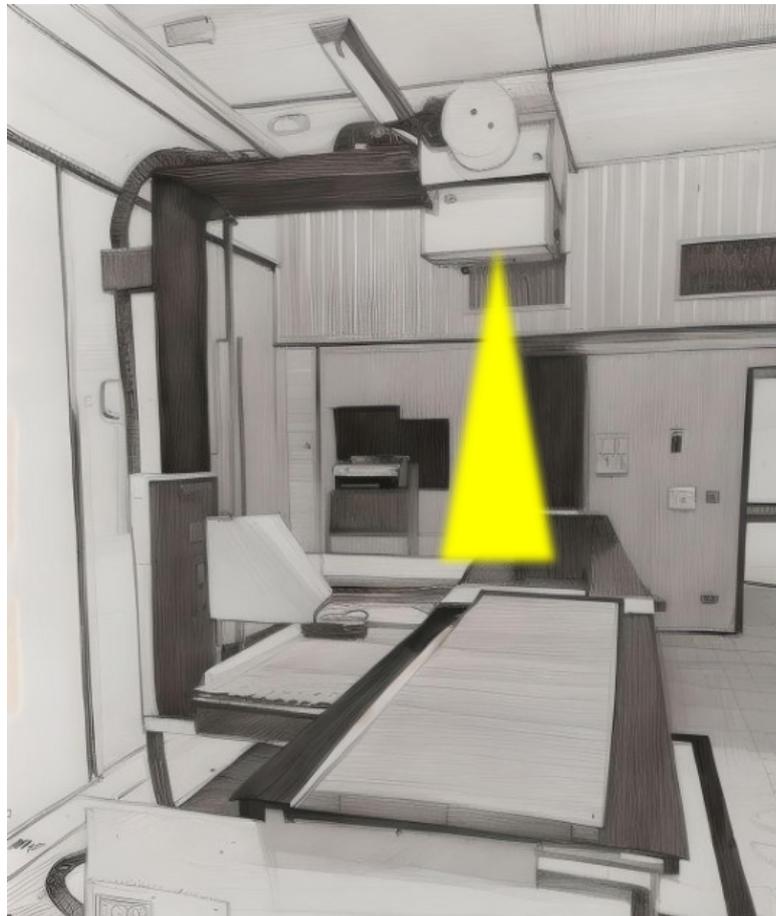
Esta pesquisa foi realizada especificamente em procedimentos de CPRE, no setor da radiologia no Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Uberlândia. A sala possui medidas de 7,45 m de comprimento, 4,45 m de largura e 3,17 m de altura. As Figuras 7 e 8, mostram duas vistas da sala.

Figura 7: Representação da vista de entrada da sala de cirurgia



Fonte: Autor, 2024

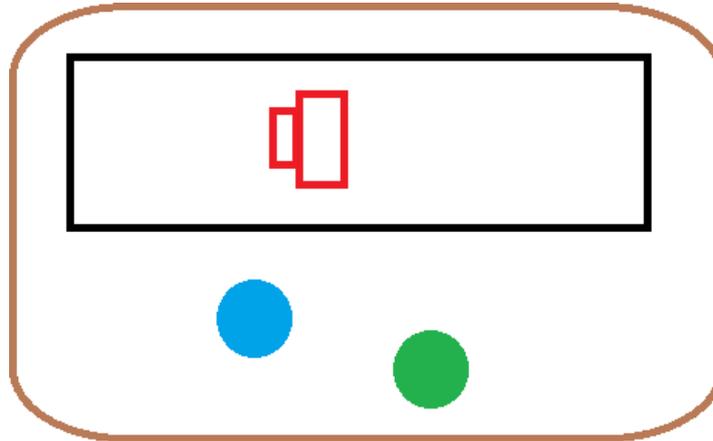
Figura 8: Representação da vista de fundo da sala de cirurgia



Fonte: Autor, 2024

A imagem a seguir apresenta como foram posicionados os profissionais durante o procedimento. O paciente que foi simulado pelo objeto simulador de vermelho e posicionado sobre a mesa, o médico representado pelo círculo azul e o assistente pelo círculo verde.

Figura 9: Esquema do posicionamento do objeto simulador e dos profissionais



Fonte: Autor 2024

### 4.3 Coleta de dados

O médico e o assistente foram representados pela câmara de ionização, em suas respectivas posições, sendo ela posicionada em três alturas com relação ao chão, representando a região dos olhos (160 cm), a tireoide (150 cm) e as gônadas (110 cm) considerando uma pessoa de 1,75 m de estatura.

Foram analisadas as doses ocupacionais do médico e médico assistente, com os campos: 11,4 cm × 11,4 cm, 15,4 cm × 15,4 cm e 19,9 cm × 19,9 cm. Os valores de tensão (kV), corrente (mA) foram definidos pelo controle automático de exposição e variam conforme a escolha do campo selecionado e da espessura do paciente.

Para cada campo aplicado, foram medidas as doses em três regiões de cada um dos profissionais, sendo elas: os olhos, tireoide e gônadas. O médico estava posicionado à 69 cm do centro do ponto irradiado, e o assistente à 86 cm, essas distancias foram medidas entre o abdômen do paciente ao abdômen de cada um dos profissionais. Vale ressaltar que o médico, o assistente e paciente são analogias referente ao posicionamento, nenhuma pessoa foi exposta a radiação neste estudo.

Os dados obtidos após as medições foram dispostos em tabelas e gráficos, conforme os valores de tensão, corrente, campo de visão e dose (Gy).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores encontrados estão expressos em  $\mu\text{Gy}$  por minuto, medidos para o médico e para o assistente, nas tabelas 4, 5 e 6, correspondentes às regiões dos três órgãos estudados e os parâmetros de aquisição de imagem: a corrente e tensão.

Tabela 4: Dose para a altura do cristalino no médico e assistente

Campo ( $\text{cm}^2$ )	Tensão (kV)	Corrente (mA)	Dose ( $\mu\text{Gy} / \text{min}$ )	
			Médico	Assistente
11.4	91	2.5	5.65	3.59
15.4	97	3.3	7.85	4.86
19.9	107	4.0	12.17	7.61

Autor, 2024

Tabela 5: Dose para a altura da tireoide no médico e assistente

Campo ( $\text{cm}^2$ )	Tensão (kV)	Corrente (mA)	Dose ( $\mu\text{Gy} / \text{min}$ )	
			Médico	Assistente
11.4	91	2.5	6.97	3.70
15.4	97	3.3	9.41	5.65
19.9	107	4.0	13.44	8.37

Autor, 2024

Tabela 6: Dose para a altura das gônadas no médico e assistente

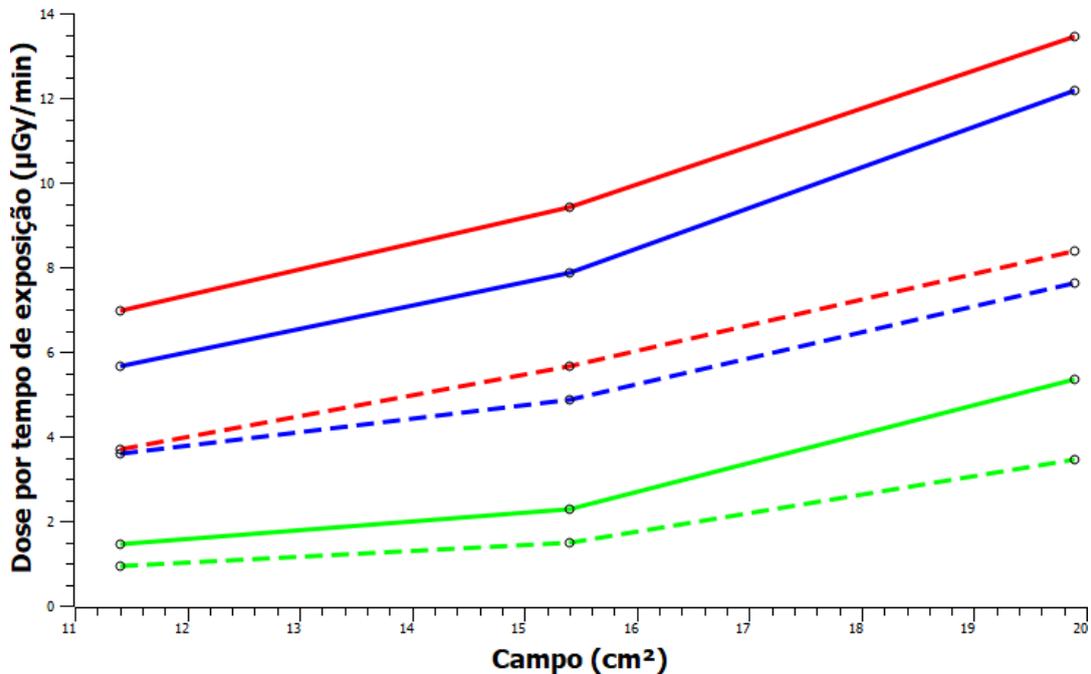
Campo ( $\text{cm}^2$ )	Tensão (kV)	Corrente (mA)	Dose ( $\mu\text{Gy} / \text{min}$ )	
			Médico	Assistente
11.4	91	2.5	1.44	0.93
15.4	97	3.3	2.29	1.48
19.9	107	4.0	5.35	3.45

Autor, 2024

Na Figura 10 é possível observar a variação da dose em relação ao campo aplicado e distância do local irradiado, no médico representado pela linha contínua e no assistente representado pela linha tracejada. As cores representam a mesma

região para ambos, vermelho indica a dose na tireoide, azul a dose no cristalino e verde foi a dose nas gônadas.

Figura 10: Doses registadas no médico e no assistente



Fonte: Autor, 2024

A partir dos dados coletados e análise das tabelas e gráficos, foi possível observar alguns parâmetros que interferem na dose absorvida em profissionais expostos como por exemplo: a exposição foi menor quanto maior era a distância em relação ao centro irradiado. O assistente que estava localizado a 17 cm e 86 cm, respectivamente do médico e do centro irradiado, recebeu uma dose de aproximadamente 40% menor que o médico, que estava mais próximo do paciente. O tempo também influenciou na dose recebida pelos profissionais, pois quanto mais tempo de fluoroscopia maior será a dose.

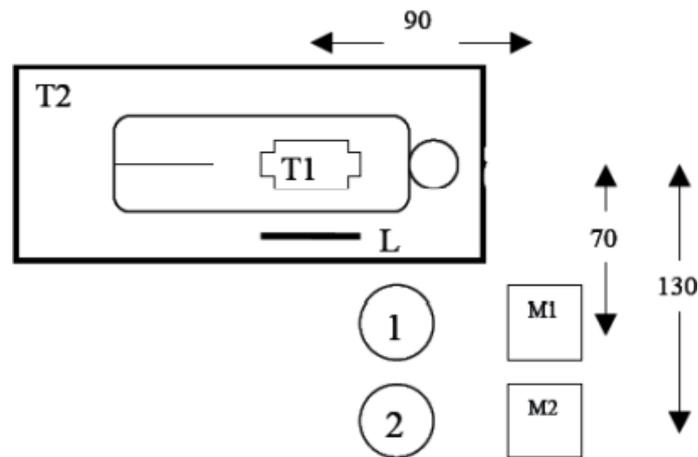
Ao comparar as doses em diferentes regiões do corpo, os resultados para ambos os profissionais apresentaram o mesmo padrão de proporcionalidade, sendo a maior dose para a região da tireoide, seguida pelo cristalino e por último as gônadas, que foi a região menos afetada, por ser estar mais afastada em relação às outras regiões.

Além da distância, o tamanho dos campos de visão influencia na quantidade de radiação espalhada, isso ocorre em função do aumento da tensão e corrente, e como pode ser observado a dose apresentou valores proporcionais a estes dois parâmetros, conforme a tensão e corrente aumentaram, a dose também seguiu este aumento.

Ao comparar os resultados deste trabalho com outros estudos, alguns fatores dificultaram uma análise direta entre os valores de dose obtidos durante os procedimentos. Um exemplo é o tempo de imagem dos diversos estudos analisados, dos quais alguns foram utilizados em média 3 minutos de imagens e outros, 20 minutos. Neste caso, pode-se optar por uma normalização, mas uma exposição de 20 minutos dificilmente ocorreu na mesma posição, pois os profissionais podem se deslocar na sala. Além do tempo a diferença de técnicas aplicadas, a corrente e tensão, também tiveram relação direta com os resultados, isso dificultou a reprodução e comparação com estes trabalhos. Outro fator importante foi o posicionamento dos profissionais, diferente em cada situação, tornando inviável uma análise direta com estes estudos. Embora não ter seja possível fazer esta comparação direta entre o presente estudo e os demais, serão apresentados alguns dados para comparação, com a ressalva de que as condições não são as mesmas.

No estudo de Sulieman *et al.* (2011) foi observada uma diferença de aproximadamente 50% da dose reduzida sobre o assistente (2) em relação ao médico (1) posicionados conforme a Figura 11 Sendo a dose no médico de 2,04  $\mu\text{Sv}$  e 1.0  $\mu\text{Sv}$  para o assistente, por procedimento. O tempo médio de duração na aquisição de imagens foi de 2,9 minutos, com uma média de 27 minutos de cirurgia.

Figura 11: Posicionamento dos profissionais durante o procedimento



Fonte: Sulieman *et al.* (2011)

No estudo de Angsuwatcharakon *et al.* (2018) os pacientes estavam na posição decúbito ventral e em relação aos profissionais, estava o endoscopista principal 30 cm de distância, 40 cm o enfermeiro anestesista e 60 cm o segundo endoscopista. Com duração média de 4,14 minutos de fluoroscopia, a tensão e corrente utilizada foram, respectivamente, 70 kV e 2,3 mA. Os valores de dose nos olhos expressos em mSv/h foram: 0,28 para o endoscopista principal, 0,23 para o anestesista e 0,18 para o segundo endoscopista.

O estudo de Naidu *et al.* (2005) abordou 38 procedimentos cirúrgicos, com média de 5,67 minutos de imagem por cada CPRE. Utilizando nos procedimentos, 80 kV e 400 mA, as doses de corpo inteiro para três indivíduos estudados, chamados de C1, C2 e C3 foram respectivamente 5,87, 3,73 e 3,75 mSv. Estes valores foram considerados muito elevados, mesmo estando dentro do limite estabelecido, chegando a se equiparar a dose de pacientes submetidos ao uso contraste que geralmente demanda um maior tempo do procedimento.

Buls *et al.* (2002) fez um estudo de 4 meses com a realização de 54 procedimentos, com média de 5,2 minutos de fluoroscopia. A dose de entrada na pele por procedimento para o Gastroenterologista, o profissional mais exposto, foi de 0,34 mGy para os olhos, 0,30 mGy para a tireoide e 0,44 mGy para as mãos. Considerando um limite anual de 150 mSv de dose no cristalino, este médico poderia realizar até 225 procedimentos antes de atingir este limite, no entanto a média anual

de CPRE são de aproximadamente 120, concluindo então que estes níveis de exposição são aceitáveis.

O estudo conduzido por Cohen *et al.* (1997) mediu a dose em um endoscopista posicionado a 55 cm da mesa de operação. Foram calculadas as exposições em diversas regiões como: cabeça, pescoço, tronco e região pélvica. Os parâmetros de aquisição de imagem foram 85 kV e 2,2 mA. A duração média de fluoroscopia para os procedimentos foi de 20 minutos, resultando em doses em locais aproximados das seguintes regiões do corpo de: 1,67 mSv no Cristalino, 2,05 mSv na Tireoide e 0,12 mSv para as Gônadas.

Em 110 procedimentos estudados por Oztas *et al.* (2009), foi avaliada a dose de 3 profissionais durante a CPRE, o endoscopista (E), a enfermeira (N) e assistente (A), apresentados na Figura 12. Todos os valores de doses foram expressos em  $\mu$ Sv obtidas na região dos olhos foram de 82, 52 e 2 respectivamente para o endoscopista, a enfermeira e o assistente. Para a região da tireoide os valores foram de 2 para o médico e enfermeira e 0 para o assistente. Por último a dose na região da pélvis foi de 0,5 para o médico, 1 para a enfermeira e 0 para o assistente. O tempo médio de fluoroscopia foi de 5,65 minutos. A variação de corrente e tensão foi respectivamente de 1,5 a 5 mA e 60 a 105 kV.

Figura 12: Ambiente cirúrgico e posicionamento dos profissionais envolvidos

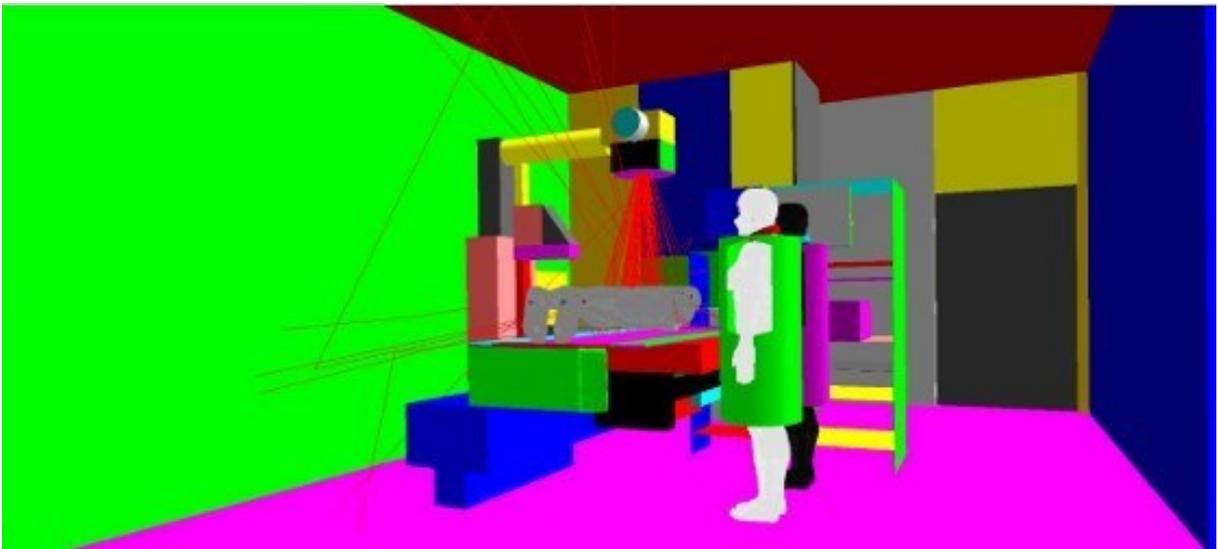


Fonte: Oztas *et al.* (2009)

No estudo conduzido por Morishima *et al.* (2018) buscou-se avaliar as doses de quatro IOE para as regiões dos olhos e gônadas. Os parâmetros de aquisição de imagem foram de 91 a 92 kV de tensão, 2,2 a 2,3 mA de corrente e uma janela de 10 in , aproximadamente 25,4 cm<sup>2</sup>. Este estudo simulou com um objeto simulador de acrílico, e os valores de dose nos olhos para cada profissional expressos em  $\mu\text{Sv/h}$  foram: 450, 135, 140 e 200 respectivamente para o endoscopista, 1<sup>a</sup> enfermeira, 2<sup>a</sup> enfermeira e assistente. Na mesma escala de medida as doses para a região das gônadas foram: 270, 185, 134 e 125 respectivamente para o endoscopista, 1<sup>a</sup> enfermeira, 2<sup>a</sup> enfermeira e assistente.

Comparando os valores de dose obtidos neste estudo, com o trabalho de Souza *et al.* (2020) foi possível observar algumas semelhanças, ambos trabalhos foram realizados no mesmo ambiente hospitalar, o posicionamento do paciente, tubo de raios X e dos IOE estavam compatíveis (Figura 13), no entanto o trabalho de Souza foi realizado por meio de simulação Monte Carlo.

Figura 13: Sala de cirurgia esquematizada em simulação computacional



Fonte: Souza *et al.* (2020)

Na tabela 7 estão os resultados das diferenças das doses recebidas pelo assistente em relação ao médico, que foi exposto a doses mais elevadas.

Tabela 7: Comparação da redução de dose entre o médico e assistente

<b>Órgão</b>	<b>Presente trabalho</b>	<b>Souza</b>
Cristalino	63%	58%
Tireoide	61%	82%
Gônadas	65%	62%

Fonte: Autor, 2024

Neste último comparativo, independente do campo de visão aplicado, do tempo e parâmetros de aquisição de imagem (kV e mA), as diferenças entre as doses se mantiveram constantes, tornando possível a análise de proporcionalidade com este estudo em específico, pelo fato de ambos utilizarem as mesmas distâncias.

No entanto, a diferença de métodos entre os trabalhos contribuiu para a divergência entre alguns dados, devido à dificuldade em replicar com exatidão o objeto simulador, que por possuírem tamanhos e formatos diferentes, produzem radiação espalhadas com características diferentes. Apesar disso, as comparações feitas entre o Cristalino e Gônadas apresentaram valores semelhantes de redução de dose, e a Tireoide sendo o órgão com maior diferença.

## 6. CONCLUSÃO

Para o sucesso da realização de colangiopancreatografia endoscópica retrógrada (CPRE) planeja-se cuidadosamente a cirurgia em si e a proteção de todos os envolvidos, inclusive a equipe de profissionais. Por ser um procedimento invasivo e de exposição contínua à radiação, os IOE são responsáveis por realizar o procedimento onde as habilidades e profundo conhecimento são imprescindíveis para que o prazo necessário seja o mais curto possível em prol da saúde do paciente e de todos os presentes durante a operação.

A preocupação com o tempo gasto está diretamente relacionada com a segurança dos IOE, visto que quanto maior o tempo, maior será a dose absorvida sobre os indivíduos que executam a CPRE. Ao analisar a trajetória de trabalho de profissionais que efetuaram qualquer procedimento envolvendo radiação com frequência, é possível notar os diversos malefícios adquiridos, principalmente em locais do corpo onde o tecido celular é mais sensível, como por exemplo a catarata

nos olhos, a alteração nos testículos e na tireoide podendo causar respectivamente esterilidade e câncer. (FEDIRKO, 2019. OKUNO, 2010)

Sabendo-se dos riscos associados a exposição à radiação, é importante reforçar a obrigatoriedade da utilização dos equipamentos de proteção radiológica, os quais conseguem barrar grande parte da radiação espalhada, que conforme observado neste estudo, a dose absorvida pelos profissionais está diretamente ligada com os parâmetros de aquisição de imagem e também com relação ao posicionamento do profissional com a fonte radioativa onde existe uma relação inversa de exposição, sendo menor a medida que a distância aumenta, como foi observado a diferença de doses entre o médico e o assistente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGSUWATCHARAKON, Phonthep et al. The difference in ocular lens equivalent dose to ERCP personnel between prone and left lateral decubitus positions: a prospective randomized study. *Endoscopy International Open*, v. 6, n. 08, p. E969-E974, 2018. <https://doi.org/10.1055/a-0599-5917>.

BULS, Nico *et al.* Patient and staff exposure during endoscopic retrograde cholangiopancreatography. *The British journal of radiology*, v. 75, n. 893, p. 435-443, 2002. <https://doi.org/10.1259/bjr.75.893.750435>.

BURGIO, Ernesto; PISCITELLI, Prisco; MIGLIORE, Lucia. Ionizing radiation and human health: Reviewing models of exposure and mechanisms of cellular damage. An epigenetic perspective. *International journal of environmental research and public health*, v. 15, n. 9, p. 1971, 2018. <https://doi.org/10.3390/ijerph15091971>.

BUSHBERG, Jerrold T.; BOONE, John M. *A física essencial da imagem médica*. Lippincott Williams e Wilkins, 2011.

COHEN, R. V. *et al.* How safe is ERCP to the endoscopist?. *Surgical endoscopy*, v. 11, p. 615-617, 1997. <https://doi.org/10.1007/s0046499004>.

ENESTVEDT, Brintha K. *et al.* Devices and techniques for ERCP in the surgically altered GI tract. *Gastrointestinal endoscopy*, v. 83, n. 6, p. 1061-1075, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.gie.2016.03.018>.

EVANS, Robley D. Compton effect. In: *Corpuscles and Radiation in Matter II/Korpuskeln und Strahlung in Materie II*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, p. 218-298. 1958. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-45898-9\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-642-45898-9_6).

FEDIRKO, P. A. *et al.* CLINICAL TYPES OF CATARACTS IN A LONG-TERM PERIOD AFTER ACUTE RADIATION SICKNESS. *Problems of Radiation Medicine & Radiobiology*, n. 24, 2019. <https://doi.org/10.33145/2304-8336-2019-24-493-502>.

FLAXMAN, Seth R. *et al.* Global causes of blindness and distance vision impairment 1990–2020: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet Global Health*, v. 5, n. 12, p. e1221-e1234, 2017. [http://dx.doi.org/10.1016/S2214-109X\(17\)30393-5](http://dx.doi.org/10.1016/S2214-109X(17)30393-5).

FREY, Charles F. *et al.* Endoscopic retrograde cholangiopancreatography. *The American Journal of Surgery*, v. 144, n. 1, p. 109-114, 1982. [https://doi.org/10.1016/0002-9610\(82\)90610-9](https://doi.org/10.1016/0002-9610(82)90610-9).

HAMADA, Nobuyuki; AZIZOVA, Tamara V.; LITTLE, Mark P. An update on effects of ionizing radiation exposure on the eye. *The British journal of radiology*, v. 93, n. 1115, p. 20190829, 2020. <https://doi.org/10.1259/bjr.20190829>.

HAMOUDA, Samir A. Compton Scattering: A Theory and Experiments. *International Journal of Geology, Agriculture and Environmental Sciences*, v. 5, n. 4, p. 20, ago. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER (INCA). Programa de Qualidade em radioterapia curso de atualização para técnicos em radioterapia. Ministério da Saúde, INCA, PQRT, v. 1.

International Commission on Radiological Protection (ICRP), 2007. ICRP publication 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Annals of the ICRP*, 37(2-4), 1-332.

KELLEY, John P. History of the development of diagnostic x-ray systems. *Physics of Diagnostic Radiology: Proceedings of a Summer School Held at Trinity University, San Antonio, Texas, July 12-17, 1971*, p. 2, 1973.

KESWANI, Rajesh N. *et al.* Association between endoscopist and center endoscopic retrograde cholangiopancreatography volume with procedure success and adverse outcomes: a systematic review and meta-analysis. *Clinical Gastroenterology and Hepatology*, v. 15, n. 12, p. 1866-1875. e3, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.cgh.2017.06.002>.

KROHMER, Jack S. Radiography and fluoroscopy, 1920 to the present. *Radiographics*, v. 9, n. 6, p. 1129-1153, 1989. <https://doi.org/10.1148/radiographics.9.6.2685938>.

LOGANOVSKY, Konstantin N. *et al.* Radiation-induced cerebro-ophthalmic effects in humans. *Life*, v. 10, n. 4, p. 41, 2020. <https://doi.org/10.3390/life10040041>.

MOFFATT, Dana C. *et al.* Trends in utilization of diagnostic and therapeutic ERCP and cholecystectomy over the past 25 years: a population-based study. *Gastrointestinal endoscopy*, v. 79, n. 4, p. 615-622, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.gie.2013.08.028>.

MORISHIMA, Yoshiaki; CHIDA, Koichi; MEGURO, Takayoshi. Effectiveness of additional lead shielding to protect staff from scattering radiation during endoscopic retrograde cholangiopancreatography procedures. *Journal of radiation research*, v. 59, n. 2, p. 225-232, 2018. <https://doi.org/10.1093/jrr/rxx039>.

NAIDU, L. S. *et al.* Radiation exposure to personnel performing endoscopic retrograde cholangiopancreatography. *Postgraduate medical journal*, v. 81, n. 960, p. 660-662, 2005. <https://doi.org/10.1136/pgmj.2004.031526>.

O'CONNOR, U. *et al.* Occupational radiation dose to eyes from endoscopic retrograde cholangiopancreatography procedures in light of the revised eye lens dose limit from the International Commission on Radiological Protection. *The British journal of radiology*, v. 86, n. 1022, p. 20120289, 2013. <https://doi.org/10.1259/bjr.20120289>.

OKUNO, E.; YOSHIMURA, E. Física das Radiações: Efeitos Biológicos das radiações nos seres vivos. São Paulo: Oficina de Textos, p. 203, 2010.

OKUNO, E.; Radiação: efeitos, riscos e benefícios. Oficina de Textos, 2018.

PANCHBHAI, Arati S. Wilhelm Conrad Röntgen and the discovery of X-rays: Revisited after centennial. Journal of Indian academy of oral medicine and radiology, v. 27, n. 1, p. 90-95, 2015. <https://doi.org/10.4103/0972-1363.167119>.

OZTAS, Erkin *et al.* The impact of endoscopic retrograde cholangiopancreatography education on radiation exposure to experienced endoscopist: "trainee effect". Digestive diseases and sciences, v. 57, p. 1134-1143, 2012. <https://doi.org/10.1007/s10620-012-2028-4>.

SCIENCE MUSEUM GROUP. Crookes' shadow tube, 1914. 1914-77 Science Museum Group Collection Online. Accessed 21 February 2024. < <https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co6581/crookes-shadow-tube-1914-crookes-tubes-electrical-discharge-tubes-cathode-ray-tubes> >.

SCIENCE MUSEUM GROUP. Photograph of a radiograph of hand taken by Wilhelm Conrad Röntgen, Germany, 1895. A606881 Science Museum Group Collection Online. Accessed 21 February 2024. < <https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co134691/photograph-of-a-radiograph-of-hand-taken-by-wilhelm-conrad-rontgen-germany-1895-photograph>. >

SEIBERT, J. Anthony; BOONE, John M. X-ray imaging physics for nuclear medicine technologists. Part 2: X-ray interactions and image formation. Journal of nuclear medicine technology, v. 33, n. 1, p. 3-18, 2005.

SILVIERA, Matthew L. *et al.* Complications related to endoscopic retrograde cholangiopancreatography: a comprehensive clinical review. J Gastrointestin Liver Dis, v. 18, n. 1, p. 73-82, 2009.

SOUZA, Lucas Wilian Gonçalves de et al. Evaluation of occupational exposures in Endoscopic Retrograde Cholangiopancreatography using Monte Carlo simulation. 2020. <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2020.295>.

SULIEMAN, Abdelmoneim *et al.* Reduction of radiation doses to patients and staff during endoscopic retrograde cholangiopancreatography. Saudi Journal of Gastroenterology, v. 17, n. 1, p. 23-29, 2011. <https://doi.org/10.4103/1319-3767.74456>.

SÜSSKIND, Charles. Ferdinand Braun: Forgotten Forefather. In: Advances in Electronics and Electron Physics. Academic Press, 1980. p. 241-260. [https://doi.org/10.1016/S0065-2539\(08\)61064-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2539(08)61064-1).

TSAPAKI, V. *et al.* Patient and staff radiation exposure during endoscopic retrograde cholangio-pancreatography: eight years of dose monitoring. OMICS J Radiol, v. 6, n. 2017, p. 253, 2017. DOI: 10.4172/2167-7964.1000253.