

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADEMICO DE ENGENHARIA CIVIL
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO

SARAH CRISTINE AZEVEDO GALVAN

**AVALIAÇÃO OCUPACIONAL DA DOSE DE RADIAÇÃO NAS MÃOS
E CRISTALINO EM EXAME RADIOLÓGICO CONTRASTADO DE
URETROCISTOGRAFIA MICCIONAL**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2019

SARAH CRISTINE AZEVEDO GALVAN

**AVALIAÇÃO OCUPACIONAL DA DOSE DE RADIAÇÃO NAS MÃOS
E CRISTALINO EM EXAME RADIOLÓGICO CONTRASTADO DE
URETROCISTOGRAFIA MICCIONAL**

Monografia da Pós-Graduação em Engenharia e Segurança do Trabalho do Departamento de Engenharia Civil Da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito à obtenção do título de Engenheiro de Segurança do Trabalho.
Orientadora: Prof^a. Dra. Danielle Filipov

CURITIBA
2019

SARAH CRISTINE AZEVEDO GALVAN

**AVALIAÇÃO OCUPACIONAL DA DOSE DE RADIAÇÃO NAS MÃOS
E CRISTALINO EM EXAME RADIOLÓGICO CONTRASTADO DE
URETROCISTOGRAFIA MICCIONAL**

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista no Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, pela comissão formada pelos professores:

Orientadora:

Prof^a. Dra. Danielle Filipov
Departamento Acadêmico de Física, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Banca:

Prof. Dr. Cezar Augusto Romano
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba

Prof. M. Eng. Massayuki Mário Hara
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba

Prof.Dr. Ronaldo Luis dos Santos Izzo
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba

CURITIBA

2019

“O termo de aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso.”

AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre iluminou minha direção.

Ao meu esposo, Clayton, pelo apoio e compreensão em todos os momentos difíceis.

Aos meus avós, Eloina e Marquez, que já não se encontram mais conosco, pelo carinho, amor e dedicação que sempre tiveram por mim e por me ensinarem que podemos ser a cada dia uma pessoa melhor.

Aos meus pais Sônia e Fabio, que sempre foram uma fonte de aprendizagem.

Aos meus amigos e professores, pelo apoio e motivação com o curso, incluindo os que participaram dessa jornada.

À professora Dra. Daniele Filipov, pelo apoio e orientação na condução desse trabalho.

Ao físico Adriano Legnani, pelo auxílio na coleta de dados.

Ao curso de Engenharia de Segurança do Trabalho do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR.

A maior recompensa para o trabalho do homem não é o que ele ganha com isto, mas o que ele se torna com isto.

JOHN RUSKIN

RESUMO

GALVAN, Sarah Cristine Azevedo. **AVALIAÇÃO OCUPACIONAL DA DOSE DE RADIAÇÃO NAS MÃOS E CRISTALINO EM EXAME RADIOLÓGICO CONTRASTADO DE URETROCISTOGRAFIA MICCIONAL**. 2019, 51 páginas. Monografia do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba 2019.

O exame Uretrocistografia Miccional (UCM) é um procedimento fluoroscópico para diagnóstico de doenças do sistema urinário em crianças. Durante o procedimento, geralmente dois profissionais permanecem dentro da sala de exames, para posicionar e imobilizar o paciente. Devido à baixa compreensão de pacientes jovens, o exame de UCM tende a ser prolongado e muitas vezes apresentando a necessidade de ser refeito, aumentando assim, o tempo de exposição dos profissionais que acompanham o paciente durante o procedimento. Assim, é importante conhecer e avaliar as doses recebidas por esses profissionais. O estudo teve como objetivo verificar a dose de radiação recebida pelas regiões do cristalino e mãos de dois profissionais que acompanham o procedimento de UCM. A metodologia aplicada para a simulação da exposição dos profissionais foi a utilização fantoma com características de um paciente de um ano de idade como objeto simulador. Para a coleta das doses foi utilizado um detector do tipo câmara de ionização, fixado em um suporte simulando a região do cristalino e mãos das posições de ambos profissionais durante o procedimento. Em cada posição, foi feita uma simulação fluoroscópica com tempo de 54 segundos e 4 radiografias para a obtenção de uma média de dose. Os dados obtidos foram extrapolados para simular a dose anual recebida por cada profissional. Como resultado verificou-se que a posição do cristalino do profissional um (que se posiciona perpendicularmente à região da cintura do paciente) apresentou uma estimativa de dose anual de 21,413 mSv, ultrapassando o limite de dose estabelecido pelas normas competentes. Tanto a região das mãos e do cristalino do profissional dois (posicionado aos pés do paciente) demonstraram estimativa de dose abaixo do limiar estabelecido, sendo 16,521 mSv para o cristalino e 35 mSv para a região das mãos. A maior dose estimada encontrada foi para a região das mãos do profissional 1, sendo 65,642 mSv.

Palavras-Chave: Dosimetria Ocupacional, Uretrocistografia Miccional, Proteção Radiológica.

ABSTRACT

GALVAN, Sarah Cristine Azevedo. **Occupational Evaluation of the Radiation Dose in The Hands and Crystalline in Contrasted Radiological Examination of Micturition Urethrocytography.** 2019, 51 sheets. Monograph of degree course in Work Safety Engineering do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho – Federal Technological University of Paraná. Curitiba 2019.

The Micturition Urethrocytography exam (MCU) is a fluoroscopic procedure to diagnose diseases of the urinary system in children. During the procedure, usually two professionals remain inside the examination room, to position and immobilize the patient. Due to the low understanding of young patients, the MCU examination tends to be prolonged and often presenting the need to be redone, thus increasing the time of exposure of the professionals who accompany the patient during the procedure. Thus, it is important to know and evaluate the doses received by these professionals. The study aimed to verify the dose of radiation received by the eyes and hands of two professionals who follow the MCU procedure. The applied methodology was the use of a phantom with characteristics of a one-year-old patient as simulator object was used to simulate the professionals' exposure. For the collection of doses was used an ionization chamber type detector, fixed in a support simulating the region of the crystalline and hands of the positions of both professionals during the procedure. In each position, a fluoroscopic simulation with 54 seconds and 4 radiographs were performed to obtain a mean dose. The data obtained were extrapolated to simulate the annual dose received by each professional. As a result, it was found the position of the crystalline of the professional one (which is positioned perpendicular to the patient's waist region) presented an annual dose estimate of 21.413 mSv, exceeding the dose limit established by the relevant standards. Both the hands and the crystalline of the professional two (positioned at the patient's feet) demonstrated a dose estimate below the established threshold, being 16,521 mSv for the lens and 35 mSv for the hand region. The highest estimated dose was for the hands of the professional 1, it was 65,642 mSv.

Key Words: Occupational Dosimetry, Micturition Urethrocytography, Radiology Protection.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Espectros de ondas eletromagnéticas	15
FIGURA 2 – Esquematização de elementos de um tubo de raios X	18
FIGURA 3 – Efeito direto e indireto das radiações ionizantes.....	25
FIGURA 4 – Relação entre redução do tempo de vida em semanas e a dose em uma população de ratos irradiados cronicamente	27
FIGURA 5 – Diferença da radiação espelhada quanto ao posicionamento do tubo de raios X.....	33
FIGURA 6 – Relação entre a dose absorvida, dose efetiva e dose equivalente	37
FIGURA 7 – Esquema simplificado de medidor a gás	39
FIGURA 8 – Fantoma como objeto simulador de uma criança de 1 ano de idade....	41
FIGURA 9 – Detector câmara de ionização marca Radcal	41
FIGURA 10 – Eletrômetro marca Radcal Accu-Pro	42
FIGURA 11 – Equipamento fluoroscópico Flexavision F3 marca Shimadzu	42
FIGURA 12 – Posição dos profissionais 1 e 2 respectivamente	43
FIGURA 13 – Posição dos olhos do profissional 1	43
FIGURA 14 – Posição dos olhos do profissional 2	44
FIGURA 15 – Posição das mãos do profissional 1 na altura do abdome do paciente ... 44	
FIGURA 16 – Posição das mãos do profissional 2 na altura dos pés do paciente ..	45

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Exemplo quantitativo de atenuação utilizando absorvedores	19
TABELA 2 – Limiares de dose para efeitos determinísticos nas gônadas, cristalino e medula óssea	26
TABELA 3 – Limites de doses anuais recomendadas pela ICRP - 103	40
TABELA 4 – Resultados das doses obtidas	45
TABELA 5 – Resultados das doses obtidas totalizando 9 radiografias	46
TABELA 6 – Dose por exame em cada profissional	46
TABELA 7 – Estimativa de dose equivalente por ano recebida pelos profissionais para o tempo de fluoroscopia de 54 s e 9 radiografias	46
TABELA 8 – Estimativa de dose equivalente por ano recebida pelos profissionais para o tempo de fluoroscopia de 516 s e 9 radiografias	47

SIGLAS

CAB – Controle Automático de Brilho

CAE – Controle Automático de Exposição

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear

EBR - Efetividade Biológica Relativa

H_T – Dose equivalente para determinado tecido

ICRP – International Commission Radiological Protection

ICRU – International Commission on Radiologic Units

IOE – Indivíduo Ocupacionalmente Exposto

LOE – Luminescência Ópticamente Estimulada

TC – Tomografia Computadorizada

TLD – Termoluminescence Dosimetry

UCM – Uretrocistografia Miccional

W_r – Fator de ponderação da radiação

SUMÁRIO

1. Introdução	12
1.1 Formulação do Problema	12
1.2 Objetivos	13
1.2.1 Objetivos Específicos	13
1.2.2 Objetivo Geral	13
1.3 Justificativa do Trabalho	13
1.4 Estrutura do Trabalho	13
2. Revisão da Literatura	15
2.1 Radiações Ionizantes	15
2.1.1 Radiação Natural	16
2.1.2 Raios Gama	16
2.1.3 Raios X.....	17
2.1.4 Absorção da Radiação X e Gama Pela Matéria	19
2.1.5 Fatores Que Modificam o Espectro de Raios X.....	20
2.2 Unidade e Quantidade de Radiação	22
2.3 Intensidade dos Raios X	23
2.4 Efeitos Biológicos da Radiação Ionizante	24
2.4.1Efeitos na Pele	27
2.4.2Efeitos nos Olhos	28
2.5 Exames de Imagem	29
2.5.1Fluoroscopia.....	31
2.5.2 Espalhamento e Radiação de Fuga	31
2.5.3 Uretrocistografia Miccional Pediátrico	32
2.6 Exposição Ocupacional	33
2.7 Proteção Radiológica	35
2.7.1 Dose Absorvida, Equivalente e Efetiva	36
2.7.2 Monitoramento	38
2.8 Legislação	39
3. Metodologia	40
3.1 Simulação	40
4. Resultados e Discussões	45
5. Conclusão e Propostas de Melhoria	48

1. INTRODUÇÃO

Estudos relacionados à física médica têm garantido ao longo dos anos a segurança e a qualidade de pacientes e profissionais em radiologia, que participam da realização de procedimentos de diagnóstico e intervenção guiados por imagens radiográficas ou fluoroscópicas. Após o descobrimento do potencial médico das radiações, verificou-se que os exames diagnósticos que utilizam radiação X contribuem como maior fonte artificial de exposição à radiação ionizante, tanto para o paciente como para Indivíduos Ocupacionalmente Expostos (IOEs).

Técnicas como fluoroscopia, que possibilita a avaliação em tempo real, têm sido cada vez mais utilizadas na medicina diagnóstica. O acesso da população à medicina tem proporcionado um aumento no número de exames que utilizam radiações ionizantes e, conseqüentemente, um aumento da exposição, principalmente dos IOEs. Ainda que seja justificada, a utilização de radiação ionizante na medicina, em razão do benefício que trazem na prevenção, diagnóstico e tratamento de doenças, deve ser feita de maneira que os IOEs não estejam sujeitos a exposições acima de limites pré-estabelecidos pelo ICRP (*International Commission on Radiological Protection* – Comissão Internacional de Proteção Radiológica).

1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

O exame contrastado de Uretrocistografia Miccional (UCM) pediátrico é uma técnica diagnóstica que faz uso de radiação ionizante X e demanda a permanência de dois profissionais durante a realização do exame. A presença dos profissionais durante o exame é justificada para auxiliar o paciente durante o procedimento a fim de diminuir o tempo de duração do exame. Apesar dos profissionais não estarem posicionados diretamente no foco da emissão da radiação X, o efeito de espalhamento provocado pelo paciente contribui para o aumento da exposição aos profissionais, principalmente em regiões como a pele das mãos. Outra região sensível exposta à radiação ionizante é o cristalino, onde os efeitos biológicos

radioinduzidos podem se apresentar através de catarata. Pacientes pediátricos por possuírem menor tamanho e massa corpórea, produzem menor espalhamento que pacientes adultos. Contudo, pacientes pediátricos tem menor compreensão do procedimento ou das orientações passadas pelos profissionais durante o preparo do procedimento, fazendo com que o exame seja prolongado ou repetido, aumentando o tempo de exposição dos indivíduos ocupacionalmente expostos IOEs.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos dessa monografia foram os seguintes:

- Avaliar o nível de exposição na região das mãos e cristalino de dois profissionais que acompanham o paciente pediátrico no exame contrastado de UCM;
- Propor melhorias para redução do nível de exposição dos indivíduos ocupacionalmente expostos (IOEs);
- Fornecer dados que contribuam para a otimização da proteção radiológica em profissionais de radiologia.

1.2.2 OBJETIVO GERAL

Avaliar a dose de radiação recebida por profissionais de radiologia que acompanham pacientes pediátricos em procedimento contrastado de Uretrocistografia Miccional (UCM).

1.3 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

Os efeitos biológicos da radiação em diversos tecidos vêm sendo estudados por várias décadas e a maior fonte de informações são os acidentes nucleares. É de suma importância que existam estudos acerca da avaliação e redução da exposição à radiação de IOEs, uma vez que haverá contribuições para o principal objetivo da proteção radiológica que é promover condições de trabalho seguras e satisfatórias. Desta forma, a avaliação das doses de radiação em profissionais que permanecem com pacientes durante os procedimentos diagnóstico de UCM auxiliam no desenvolvimento de procedimentos que reduzam a exposição desses profissionais.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está segmentado em 7 partes, a primeira é a INTRODUÇÃO, onde o tema da proteção radiológica em exames contrastados de uretrocistografia é enfatizado, assim como a utilização da radiação ionizante na medicina diagnóstica e a importância do monitoramento dos Indivíduos Ocupacionalmente Expostos. A segunda parte será a REVISÃO DA LITERATURA, onde são abordados conceitos básicos de radiação ionizante, seus efeitos biológicos e sua utilização em medicina diagnóstica. A terceira parte é a METODOLOGIA aplicada ao trabalho, onde são descritas todas as etapas da simulação realizada no Centro de Imagens de um hospital. Na quinta parte, RESULTADOS E DISCUSSÃO, são apresentados as doses coletadas pelo detector utilizado e a interpretação desses resultados. Na sexta parte, CONCLUSÃO E PROPOSTAS DE MELHORIA, são apresentadas de forma objetiva os dados que impactam diretamente na segurança do profissional que acompanha o paciente pediátrico, assim como os valores que evidenciaram necessidade ações que visam reduzir a exposição do profissional. A sétima e última parte contempla a BIBLIOGRAFIA.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 RADIAÇÕES IONIZANTES

Radiação é normalmente dividida em dois grupos: radiação corpuscular e radiação eletromagnética. Partículas subatômicas tais como elétrons, prótons, nêutrons, deuterons e alfas quando possuem alta velocidade, formam um feixe, são chamados de radiação corpuscular. As radiações eletromagnéticas não possuem massa. São enquadradas como radiações eletromagnéticas, todas as radiações que possuem oscilações elétricas e magnéticas; são ondas que viajam numa velocidade e diferem somente no comprimento de suas ondas (λ) (SCAFF, 1979). A Figura 1 mostra o espectro das radiações eletromagnéticas.

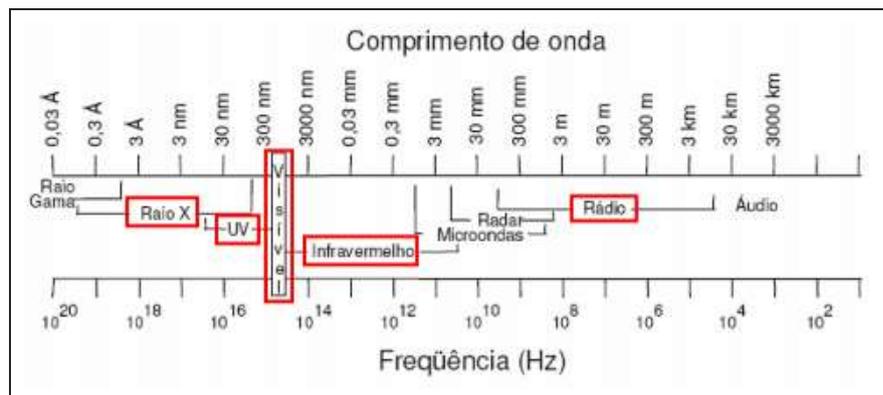


Figura 1 – Espectros de ondas eletromagnéticas. Fonte: CAMPOS, 2001

Quando uma partícula carregada (α e β) passa por perto de um átomo, as forças eletrostáticas atuam entre elas e os elétrons orbitais. Se a partícula passa muito perto, pode acontecer que um dos elétrons adquira energia suficiente para separar o átomo. Este processo é chamado ionização. (SCAFF, 1979)

Outro processo relacionado com a ionização é a “Excitação” que se produz quando a energia cedida ao elétron é insuficiente para arrancá-lo do átomo, mas suficiente para que ele adquira uma energia maior dentro do átomo. O átomo excitado volta ao seu estado normal, emitindo luz de comprimento de onda característico. (SCAFF, 1979)

Os raios X ou γ produzem menos ionização do que as partículas α e β .

Comparando as três radiações (α , β e γ) foi verificado que a mais penetrante é a gama e a menos penetrante a alfa; isto nos leva a concluir que o poder de ionização é inversamente proporcional à penetração. (SCAFF, 1979)

2.1.1 RADIAÇÃO NATURAL

A radiação natural ambiental resulta em três componentes: raios cósmicos, radiação terrestre e radionuclídeos internamente depositados. Raios cósmicos são partículas e radiações eletromagnéticas emitidas pelo Sol e pelas estrelas. Na Terra, a intensidade da radiação cósmica aumenta com a altitude e a latitude. A radiação terrestre resulta dos depósitos terrestres de urânio, tório e outros radionuclídeos. A intensidade é muito dependente da geologia da área local. Radionuclídeos internamente depositados, principalmente potássio-40 (^{40}K), são metabólitos naturais. Eles têm estado sempre conosco e contribuem com a mesma dose para cada um de nós. (BUSHONG, 2010)

A maior fonte de radiação natural é o radônio. Radônio é um gás radioativo, produzido pelo decaimento radioativo natural do urânio, que está presente em pequenas quantidades na Terra. Todos os materiais a base de terra, como concreto, tijolos e gesso contêm radônio. O radônio emite partículas alfa, que não são penetrantes e, portanto, contribui com a dose de radiação apenas para o pulmão. (BUSHONG, 2010)

2.1.2 RAIOS GAMA (γ)

Radiações gama, provenientes dos elementos radioativos naturais e artificiais são emitidas com intensidades e energias bem definidas, caracterizando um espectro discreto de emissão, em outras palavras os raios gama saem do núcleo do átomo, possuem energia bem determinadas e características do radioisótopo considerado. (ANDREUCCI, 2016)

2.1.3 RAIOS X

A descoberta do raio X se deu em 1894, pelo físico alemão Wilhelm Röntgen. Utilizando o dispositivo denominado tubo de Lenard para estudo de raios catódicos, Röntgen se propôs a estudar a fluorescência de certos materiais. Ao isolar o tubo de Lenard em uma caixa de papelão preta, permitindo que apenas raios catódicos passassem pela janela de Lenard, durante o experimento em uma sala escura, Röntgen observou que um cartão coberto por uma solução de platino-cianeto de bário estava iluminando. Entretanto, raios catódicos se propagam no ar apenas alguns poucos centímetros e o cartão alvejado estava localizado a cerca de 2m de distância. Intrigado e perplexo com a origem desconhecida da fluorescência, Röntgen deu a esses raios o nome provisório de raios X e mais tarde, verificou que os raios X são produzidos pelos raios catódicos ao colidirem com as paredes do tubo de vidro. Röntgen observou que apesar de absorvidos e bloqueados por finas folhas metálicas, os raios X possuíam um poder de penetração em materiais como a madeira e o papel muito maior que qualquer onda eletromagnética conhecida na época. Essa propriedade é que permitiu a radiografia dos ossos do corpo humano, uma vez que, enquanto os tecidos e os nervos são facilmente atravessados pelos raios X, os ossos por conterem cálcio (Ca), são suficientemente opacos para produzir sombras em uma placa fotográfica. Dois meses após a descoberta de Röntgen, foi tirada a primeira radiografia. (CARUSO e OGURI, 2006)

Raios X são produzidos quando elétrons de alta energia são subitamente desacelerados; parte da sua energia é convertida em Raios X. Este processo também é conhecido pelo nome alemão de “Bremsstrahlung”. (SCAFF, 1979)

No tubo original, a fonte de elétrons era o gás residual do tubo; atualmente, a produção de elétrons é feita termoionicamente através de corrente elétrica (efeito Joule) que passa por um filamento (em hélice ou espiral) de Tugstênio. No tubo é feito vácuo tanto quanto possível e com isso os elétrons praticamente não perdem energia no seu caminho. Quando aplicamos uma diferença de potencial entre filamento (negativo) e um anteparo ou alvo (positivo), os elétrons produzidos serão repelidos do filamento e atraídos para o alvo onde serão desacelerados

bruscamente. A energia desses elétrons será dada pelo produto de sua carga pela voltagem aplicada. (SCAFF, 1979)

A energia dos elétrons (cinética) será transferida ao alvo (ou anticátodo) e é convertida em outras formas de energia, inclusive Raios X. Na maioria dos casos, quando os elétrons se aproximam dos átomos do alvo, existe uma repulsão entre os elétrons e a nuvem eletrônica do alvo. Neste tipo de interação, os elétrons são desviados de sua trajetória e perdem sua energia em ionização e calor. A voltagem aplicada é da ordem de quilovolts e a corrente de elétrons no tubo é da ordem de miliampères (SCAFF, 1979). A Figura 2 mostra o esquema de um tubo de raios X.

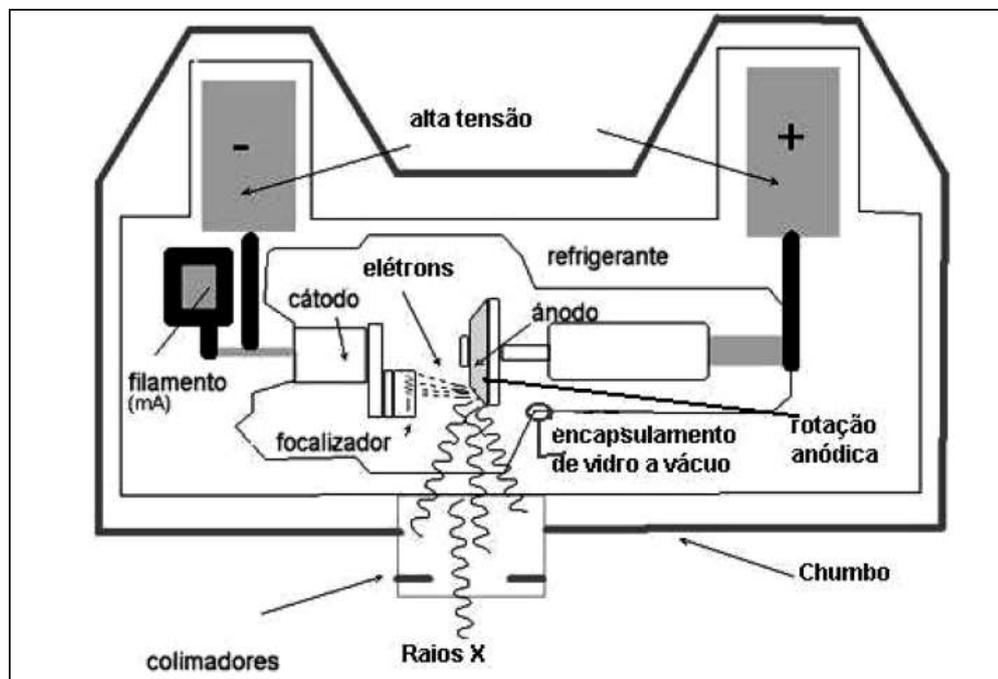


Figura 2 – Esquematização de elementos de um tubo de raios X. Fonte: BRASIL, 2009

O gerador de elétrons de um tubo de Raios X é normalmente feito de Tungstênio que, termoionicamente libera elétrons. É feito de material dado o seu alto ponto de fusão (3380°C). (SCAFF, 1979)

Este gerador de elétrons, ou filamento, deve ficar inserido dentro da ampola, pois, exposto ao ar, oxida-se. (SCAFF, 1979)

Como os elétrons podem passar perto, ou não, dos núcleos dos átomos do alvo, a radiação eletromagnética (Raios X) produzida, poderá assumir qualquer valor desde que quase zero, até o valor máximo dado pela energia do elétron. Portanto teremos um espectro contínuo de Raios X. Este espectro tem o nome de espectro

limpo ou branco dos Raios X. (SCAFF, 1979)

Quando elétrons do feixe ou fótons produzidos no alvo, removem elétrons de camadas internas dos átomos do alvo, haverá uma ionização e estes átomos ionizados voltam ao seu estado normal, preenchendo a vaga criada pelo elétron ejetado, com elétrons mais externos e assim por diante, até que todas as vagas sejam preenchidas. (SCAFF, 1979)

2.1.4 ABSORÇÃO DA RADIAÇÃO X OU GAMA PELA MATÉRIA

Ao se propagar através da matéria, um feixe de raios X ou gama sofre uma redução de sua intensidade. Determina-se que o feixe foi “atenuado”. (SCAFF, 1979)

Quanto maior a espessura de um material maior a quantidade de radiação que ela absorve, ou seja, menor a intensidade do feixe que atravessa o material. Um fato interessante é que a intensidade da radiação que emerge do lado oposto a barreira nunca é completamente eliminada, por maior que seja a espessura utilizada. Como a absorção obedece a uma lei exponencial, a intensidade diminui, porém nunca se atenua completamente. (ANDREUCCI, 2016)

Colocando absorvedores de certa espessura entre uma fonte de Raios X ou γ e um sistema detector de radiação e variando o número desses absorvedores será obtido uma série de valores, cujas leituras obtidas no sistema de detecção, estarão relacionadas com o número de absorvedores. A intenção é mostrar que se um absorvedor reduz a intensidade de um feixe de radiação em 10% um segundo absorvedor igual reduzirá 10% do feixe já reduzido em 10% e assim sucessivamente conforme tabela 1. (SCAFF, 1979)

Tabela 1 – Exemplo quantitativo da atenuação utilizando absorvedores.

Absorvedor	Intensidade Transmitida Relativa
Sem absorvedor	100%
1	90%
2	81%
3	72,9%

Fonte: Adaptado de (SCAFF, 1979)

Esta constante é chamada de “coeficiente de atenuação linear” ou “coeficiente total de atenuação” e é a redução fracional por unidade de espessura do material absorvedor sendo representado pela letra grega μ . Para cada energia do feixe de radiação e para cada material absorvedor, será obtido um coeficiente de atenuação específico. Uma espessura dx reduz a intensidade de um feixe de uma quantidade dI , proporcional à intensidade I , à espessura dx , ao material absorvedor (ϕZ) e à energia do feixe (xE), conforme a equação 1: (SCAFF, 1979)

$$dI = - I dx (\phi Z) (xE) \quad (01)$$

2.1.5 FATORES QUE MODIFICAM O ESPECTRO DOS RAIOS X

Tensão aplicada: Sabemos que a máxima energia dos fótons que emergem de uma ampola de Raios X é igual a máxima energia dos elétrons que atingem ao alvo da ampola, que por sua vez, depende da voltagem pico aplicada à ampola. Portanto variações de voltagem aplicada, irão variar a energia máxima dos fótons.(SCAFF, 1979)

Corrente no tubo: A emissão total de Raios X depende do número de elétrons que colidem no alvo; depende da corrente do tubo – quanto maior a corrente no tubo, maior o número de elétrons e, portanto, mais radiação X produzida. Entretanto, a qualidade de radiação (poder de penetração) não será alterada por variações de corrente (mA). A quantidade de Raios X produzidos é proporcional a mA.(SCAFF, 1979)

A quantidade de raios X é diretamente proporcional ao produto corrente-tempo (mAs). Quando esse produto é duplicado, o número de elétrons que atinge o alvo do tubo também duplica, tem-se a emissão do dobro do número de raios X. (BUSHONG, 2010)

Material alvo: Desde que os Raios X são produzidos por interações dos elétrons acelerados com os elétrons ligados dos átomos do alvo, pequenas diferenças nos números atômicos não serão importantes. Para uma dada voltagem aplicada, o máximo da intensidade da radiação X produzida, ocorre sempre para uma dada energia de fótons X, mesmo quando é alterado o material constituinte do

alvo. Entretanto, altos números atômicos do alvo, acarretarão maiores “quantidades” de radiação X. As energias das linhas características mudam com o material do alvo, como o próprio nome diz, são características do material. Quanto maior o número atômico do material do alvo, maior a energia característica. (SCAFF, 1979)

Distância: A intensidade dos feixes de raios X varia com o inverso do quadrado da distância. Essa relação é conhecida como lei do inverso do quadrado da distância. (BUSHONG, 2010)

Tensão de pico kVp: a quantidade de raios X varia rapidamente com mudanças na tensão de pico. A variação na quantidade de raios X é proporcional ao quadrado da razão das tensões; em outras palavras, se a tensão for duplicada, a intensidade dos raios X aumentará por um fator de quatro. (BUSHONG, 2010)

Filtração – Filtros: O feixe de Raios X que emerge do alvo de uma ampola, é contínuo e, quando passa através de qualquer material, a intensidade da radiação é reduzida por absorção no material. Quando a intensidade da radiação é reduzida pela absorção de um intervalo particular de seus comprimentos de onda, o processo é chamado de filtração. O feixe primário de raios X emitidos do alvo tem necessariamente que passar da parede de vidro da ampola, óleo e outros materiais antes de sair totalmente do sistema da ampola. Portanto o feixe sofrerá uma filtração inevitável. Este tipo de filtração tem o nome de “filtração inerente” da ampola. Normalmente a filtração inerente é dita em equivalência de Alumínio, que é definida como a espessura de Alumínio que dá a mesma filtração inerente da ampola. Espessuras metálicas colocadas propositadamente diante de um feixe de raios X para que parte de sua radiação seja absorvida e que seu espectro seja modificado, são chamados de filtros. Quando um feixe heterogêneo de radiação é filtrado, todos os comprimentos de ondas maiores (as radiações menos penetrantes) sofrem maior absorção. Por conseguinte, o espectro será modificado mais sensivelmente na região correspondente às radiações de baixa energia. Desde que para terapia de Raios X somente interessa a penetração do feixe no paciente, se não houver a utilização de filtros, será obtida uma distribuição de radiação não muito boa para terapias em profundidade, porque os fótons de baixa energia não penetrarão até o tumor e somente aumentarão a dose na superfície do tecido. Esta radiação indesejável deverá ser removida do feixe através de filtros apropriados. Os filtros “endurecem” o feixe, removem as radiações de baixa energia e deixam as de maior energia. (SCAFF, 1979)

Equipamentos de raios X tem filtros metálicos posicionados no feixe útil, geralmente com 1-5 mm de alumínio (Al). O propósito desses filtros é reduzir o número de fótons de raios X de baixa energia. (BUSHONG, 2010)

Raios X de baixa energia não contribuem em nada para a imagem. Eles só aumentam desnecessariamente a dose no paciente porque são absorvidos em tecidos superficiais e não penetram o suficiente para chegar ao receptor de imagem. (BUSHONG, 2010)

Penetrabilidade: Quando a energia de um feixe de raios X cresce, sua capacidade de penetração também é aumentada. A penetrabilidade se refere à capacidade do feixe de radiação de penetrar no tecido. Os raios X de energias altas são capazes de penetrar nos tecidos mais profundamente do que os de energia baixa. (BUSHONG, 2010)

A penetrabilidade de um feixe de raios X é chamada de qualidade do feixe. Feixes de raios X com maior capacidade de penetração são denominados feixes de alta qualidade. Aqueles com baixa capacidade de penetração são considerados de baixa qualidade. (BUSHONG, 2010)

2.2 UNIDADE E QUANTIDADE DE RADIAÇÃO

Em 1928, a Comissão Internacional de Unidades Radiológicas (ICRU – *International Commission on Radiologic Units*) propôs a unidade de exposição roentgen (R), que foi ligeiramente definida em 1938. O roentgen é a quantidade de raios x ou gama que produz uma determinada quantidade de ionização em cada unidade de ar; 0,000258 coulomb em cada quilograma (coul/kg) ou 1.0 unidade eletrostática (ESU) em 0,000123g. Essa é a unidade de exposição no ar e não “dose absorvida” no tecido, além disso não aplicada para raios x de alta energia (acima de 2 Mev) ou para radiações corpusculares. (METTLER, 1995)

No Sistema Internacional (SI), a unidade de exposição é coul/kg pó ar; 1R equivale a $2,58 \times 10^{-4}$ (coul/kg). Para propósitos mais biológicos, uma referência temporal é necessária (ex. R/min). (METTLER, 1995)

A unidade gray foi proposta para se medir a energia absorvida ou dose. 1 Gy (1 joule de energia absorvida em cada quilograma de material absorvente). Esta

unidade não é restrita para o ar e pode ser medida em outros meios absorvedores. Para radiações como raios x e gama, a exposição a 1R causa a deposição de energia de 93 ergs/g ou, 8,764 mGy e então, nessas circunstâncias, roentgens e Gy são quase intercambiáveis. Assim como a unidade de roentgen, para propósitos biológicos, a unidade de tempo é geralmente utilizada junto com as unidade de Gray (Ex. Gy/h). (METTLER, 1995)

Para radiações de energias muito elevadas e para radiações corpusculares, um outro tipo de grandeza é utilizada, o kerma. Esta grandeza é utilizada porque ela inclui não somente a energia depositada em uma área local mas também a energia adicional depositada como um resultado de *bremsstrahlung*, ou “radiação de freamento”. *Bremsstrahlung* é produzido quando um elétron é desviado e desacelerado pelo núcleo de um átomo com energia diferencial originando um fóton. Para a maioria dos trabalhos, a dose e o kerma são intercambiáveis. (METTLER, 1995)

A unidade que reflete uma resposta biológica e então podendo ser utilizada para comparar os efeitos de diferentes radiações pode ser extremamente útil. Em direção a esta finalidade, uma unidade de dose equivalente foi desenvolvida, o Sievert. (METTLER, 1995)

Exposição e doses de estudos radiográficos são reportadas de diferentes maneiras. A medição mais fácil é a exposição na entrada na superfície da pele. No entanto, tal medição não pode ser exatamente relatada como dose absorvida. Outra quantidade citada é a dose de entrada na pele, que é calculada a partir da exposição da pele e inclui radiação dispersada. Esta dose é geralmente a maior dose em relação a qualquer ponto no corpo. Para calcular a dose absorvida a certa profundidade no tecido, a qualidade do feixe deve ser conhecida. Doses para órgãos especificamente radiosensíveis (como gônadas ou olhos), são geralmente reportados separadamente. (METTLER, 1995)

2.3 INTENSIDADE DOS RAIOS X

A intensidade do feixe de raios X de um equipamento de radiodiagnóstico é dada em função do kerma no ar, que é medida em grays (Gy) ou miligrays (mGy) e é

chamada de quantidade de radiação X. Outro termo, exposição à radiação, é muitas vezes usado em vez da intensidade ou da quantidade de raios X. A exposição é medida em Coulomb por quilograma (C/kg). (BUSHONG, 2010)

A exposição (C/kg) é uma medida do número de pares de íons produzidos no ar por uma quantidade de raios X em uma unidade de massa do ar. A ionização do ar cresce com o aumento de fótons de raios X no feixe. A relação entre a quantidade de raios X e o número de raios X não é sempre um para um. Algumas pequenas variações estão relacionadas com a energia efetiva dos raios X. (BUSHONG, 2010)

A taxa de kerma no ar, expressa em Gy/s, mGy/s ou mGy/mAs, também pode ser usada para expressar a intensidade dos raios X. (BUSHONG, 2010)

Essas variações são insignificantes dentro da faixa de energia dos raios X utilizados em radiodiagnósticos e pode-se, portanto, assumir que o número de fótons no feixe útil é a quantidade de radiação. A maioria dos tubos utilizados em radiologia geral, quando operados em cerca de 70kVp, produz raios X com intensidades em torno de 50 μ Gy/mAs a 100cm de distância entre o foco e o receptor de imagens (DFR). (BUSHONG, 2010)

2.4 EFEITOS BIOLÓGICOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE

A exposição do homem ou parte de seus tecidos à radiação, pode ter resultados bastante diferenciados, se ela ocorreu de uma única vez, de maneira fracionada ou se periodicamente. As exposições únicas podem ocorrer em exames radiológicos, como por exemplo, uma tomografia; de maneira fracionada, como no tratamento radioterápico; ou periodicamente, como em certas rotinas de trabalho com material radioativo em instalações nucleares. (TAUHATA, 2014)

Os fótons e nêutrons constituem as radiações mais penetrantes e causam danos biológicos diferentes conforme a taxa de dose, energia e tipo de irradiação. Os feixes de elétrons têm um poder de penetração regulável, conforme a energia estabelecida na máquina aceleradora. A radiação beta proveniente de radionuclídeos em aplicadores oftalmológicos e dermatológicos tem alcance de fração de milímetro no tecido humano. As radiações alfa são muito pouco penetrantes, mas doses absorvidas devido à radionuclídeos de meia-vida curta

incorporados nos sistemas respiratório ou digestivo de uma pessoa podem causar danos 20 vezes maiores que iguais valores de doses de radiação X, gama ou beta. (TAUHATA, 2014)

A radiação ionizante lesa os tecidos humanos de várias formas, e os efeitos diretos dessa radiação no microambiente tecidual são desencadeados pela deposição de energia nas macromoléculas, rompendo estruturas atômicas do tecido onde atua e produzindo modificações químicas e biológicas. Há interação direta com alvos como o RNAm, DNA e proteínas, rompendo suas ligações covalentes e quebrando sua estrutura irreversivelmente. Além disso, 60% do dano tecidual provocado por raios X e gama podem ser explicados pelos efeitos indiretos da radiação, que ocorrem devido às reações das partículas ionizadas com a água livre, produzindo espécies reativas de oxigênio e radicais livres, o que amplifica a lesão por meio da interação com lipídios, membranas e outras moléculas de oxigênio. Assim as estruturas da arquitetura celular adjacente e a informação genômica são rompidas (Figura 3). A radiação ionizante causa uma ruptura celular que pode resultar na morte da célula. No entanto, a maioria dos tipos celulares não manifesta lesão até que inúmeras mitoses ocorram. (BONATO et al, 2011)

Os efeitos radioinduzidos podem receber denominações em função do valor da dose e forma de resposta, em função do tempo de manifestação e do nível orgânico atingido. Assim, em função da dose e forma de resposta, são classificados em estocásticos e determinísticos; em termos do tempo de manifestação, em imediatos e tardios; em função do nível de dano, em somáticos e genéticos (hereditários). (TAUHATA, 2014)

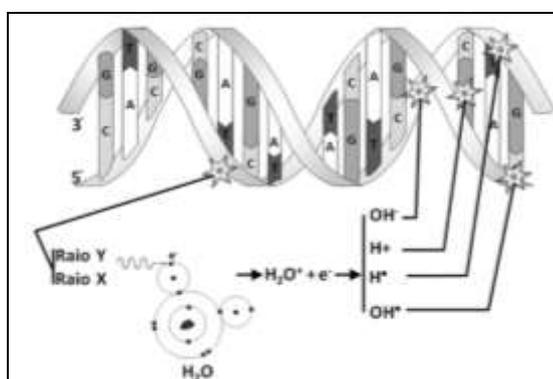


Figura 3 – Efeito direto e indireto das radiações ionizantes. Fonte: Adaptado de BONATO et al, 2011

Efeitos estocásticos são efeitos em que a probabilidade de ocorrência é

proporcional à dose de radiação recebida, sem a existência de limiar. Isto significa que doses pequenas, abaixo dos limites estabelecidos por normas e recomendações de proteção radiológica, podem induzir tais efeitos. Entre estes efeitos, destaca-se o câncer. O período de aparecimento (detecção) do câncer após a exposição pode chegar até 40 anos. No caso da leucemia, a frequência passa por um máximo entre 5 e 7 anos, com período de latência de 2 anos. (TAUHATA, 2014)

Exemplos de efeitos determinísticos na pele são: eritema e descamação seca para dose entre 3 e 5 Gy, com sintomas aparecendo após 3 semanas; descamação úmida acima de 20 Gy, com bolhas após 4 semanas; necrose para dose acima 50 Gy, após 3 semanas. Na Tabela 1 são apresentados os limiares de dose para efeitos como esterilidade temporária ou permanente, opacidade das lentes, catarata, e depressão do tecido hematopoiético, para exposição única e fracionada. (TAUHATA, 2014)

Tabela 2 – Limiares de dose para efeitos determinísticos nas gônadas, cristalino e medula óssea.

TECIDO E EFEITO	LIMAR DE DOSE		
	Dose Equivalente Total recebida em uma única exposição (Sv)	Dose Equivalente Total recebida numa exposição fracionada ou prolongada (Sv)	Taxa de Dose Anual recebida em exposições fracionadas ou prolongadas por muitos anos (Sv)
<i>Gônadas</i>			
- esterilidade temporária	0,15	ND	0,40
- esterilidade	3,5 - 6,0	ND	2,00
<i>Ovários</i>			
- esterilidade	2,5 - 6,0	6	> 0,2
<i>Cristalino</i>			
- opacidade detectável	0,5 - 2,0	5	> 0,1
- catarata	5,0	> 8	> 0,15
<i>Medula óssea</i>			
- depressão de hematopoiese	0,5	ND	> 0,4

Fonte: TAUHATA, 2014

Os efeitos somáticos surgem do dano nas células do corpo e o efeito aparece na própria pessoa irradiada. Dependem da dose absorvida, da taxa de absorção da energia da radiação, da região e da área do corpo irradiada. (TAUHATA, 2014)

Os efeitos genéticos ou hereditários são efeitos que surgem no descendente da pessoa irradiada, como resultado do dano produzido pela radiação em células dos órgãos reprodutores, as gônadas. Têm caráter cumulativo e independe da taxa de absorção da dose. (TAUHATA, 2014)

Muitos experimentos conduzidos com animais, após exposições crônicas e agudas, mostram que os animais irradiados morrem jovens. A Figura 4 que foi elaborada com base em vários de tais experimentos representativos, mostra que a

relação entre a diminuição do tempo de vida e a dose é, aparentemente, linear e sem limiar. Quando todos os dados obtidos com os animais são considerados coletivamente, é difícil obter uma extrapolação significativa para seres humanos. (BUSHONG, 2010)

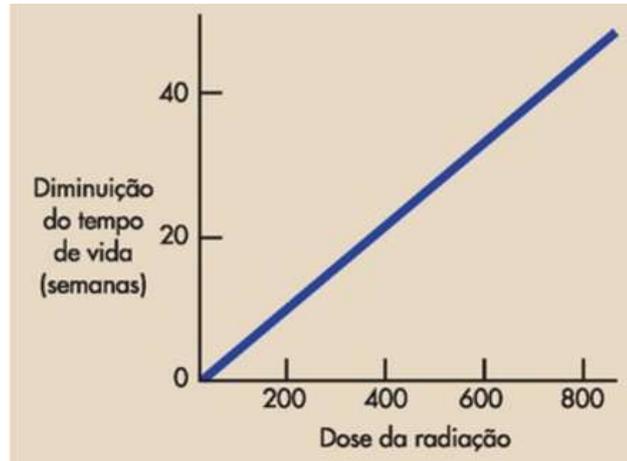


Figura 4 – Relação entre redução do tempo de vida em semanas e a dose em uma população de ratos irradiados cronicamente. Fonte: BUSHONG, 2010

2.4.1 EFEITOS NA PELE

No passado, os limites com raios X de ortovoltagem (raios X de 200 a 300 kVp) em radio-oncologia eram determinados pela tolerância da pele do paciente. O objetivo da terapia de raios X era depositar energia no tumor poupando-se o tecido vizinho normal. Uma vez que os raios X tinham que passar pela pele para atingir o tumor, a pele era necessariamente submetida a doses maiores de radiação do que o tumor. O dano resultante à pele aparecia na forma de eritema (enrubescimento da pele semelhante à queima pelos raios solares) seguido de descamação (ulceração e perda da camada superficial da pele), o que requeria, com frequência, a interrupção do tratamento. (BUSHONG, 2010)

Outra consequência da exposição da pele à radiação é a epilação, ou perda de cabelo. Por muitos anos, os raios X moles – raios X de baixa energia (10 a 15 kVp), chamados de raios X Grenz, - foram escolhidos para o tratamento de pessoas com doenças de pele, a exemplo da *tinea capitis* (micose). A *tinea capitis* do escalpo,

muito comum nas crianças, era tratada com sucesso com uso de raios Grenz. Infelizmente, os cabelos do paciente poderiam cair em algumas semanas ou em alguns meses. Às vezes, uma dose desnecessariamente alta de raios Grenz resultava em epilação permanente. (BUSHONG)

Além dos efeitos imediatos associados ao eritema e à descamação, bem como ao desenvolvimento tardio de carcinoma, a irradiação crônica da pele pode resultar em efeitos não malignos graves. Os primeiros radiologistas que realizaram exames de fluoroscopia sem luvas protetoras desenvolveram uma aparência caledada, descolorada e ressecada na pele das mãos e dos antebraços. E também a pele poderia ficar muito esticada e sensível e algumas vezes, poderia se romper ou descamar gravemente. Este efeito tardio foi observado em radiologistas há muitos anos e é denominado radiodermatite. A dose necessária para produzir um efeito deste tipo é muito alta. (BUSHONG, 2010)

O câncer de pele geralmente se inicia com o desenvolvimento de uma radiodermatite. Dados significativos foram obtidos de vários relatórios de câncer de pele induzidos em pessoas submetidas a tratamentos radioterápicos com ortovoltagem (200 a 300 kVp) ou com raios X superficiais (50 a 150 kVp). (BUSHONG, 2010)

2.4.2 EFEITOS NOS OLHOS

Em 1949, foram publicados os primeiros artigos relatando a ocorrência de cataratas em físicos que trabalhavam com cíclotrons. Até o ano de 1960, centenas de casos de cataratas radioinduzidas tinham sido relatados. Isto foi particularmente trágico porque existiam poucos físicos de alta energia. (BUSHONG, 2010)

Fundamentados em tais observações e experimentos que foram realizados com animais, várias conclusões podem ser tiradas em relação à catarata radioinduzida. A radiosensibilidade da lente do olho é dependente da idade. Na medida em que a idade do indivíduo aumenta, o efeito da radiação torna-se maior e o período latente torna-se menor. (BUSHONG, 2014)

Foram observados períodos latentes em seres humanos na faixa de 5 a 30 anos, mas a média de tais períodos é de, aproximadamente 15 anos. Radiações de

alta TLE (Transferência Linear de Energia), a exemplo de radiações de prótons e de nêutrons, apresentam alta efetividade biológica relativa (EBR) para a produção de cataratas. (BUSHONG, 2010)

Se a dose sobre a lente for suficientemente alta, acima de aproximadamente 1.000 rad (10 Gy), a catarata se desenvolve em cerca de 100% das pessoas irradiadas. O nível preciso do limiar da dose é difícil de ser identificado. A maioria dos pesquisadores sugere que o limiar após uma exposição aguda aos raios X é de aproximadamente 200 rad (2 Gy). O limiar após a exposição fracionada, tal como a que se recebe em radiologia, é provavelmente acima de 1.000 rad (10 Gy). As exposições ocupacionais sobre a lente ocular são muito baixas para demandarem blindagens através de lentes protetoras para os tecnólogos em radiologia. É quase impossível que um trabalhador da área médica atinja o limiar de dose. (BUSHONG, 2010)

2.5 EXAMES DE IMAGEM

A química nuclear afeta nossas vidas de diversas maneiras, principalmente em aplicações médicas. Além do uso terapêutico da radiação ionizante, elementos radioativos também podem ser utilizados como ferramentas de diagnósticos. Um exemplo é o teste de estresse de tálio. Um composto contendo tálio 201, um nuclídeo radioativo que emite raios gama (γ), é injetado intravenosamente no paciente e concentrado no músculo do coração. Um scanner detecta a emissões gama do tálio e revela a condição do coração e das artérias próximas. (BROWN ed. 10, 2006)

O objetivo da Radiologia Diagnóstica é produzir uma “imagem” na forma de sombras de vários tamanhos, formas e graus de enegrecimento, de tal forma que ao examinar esta imagem, o médico possa verificar quais estruturas anatômicas do paciente, responsáveis por cada sombra e a existência de qualquer anormalidade. Esta imagem é produzida através do uso de radiações ionizantes, principalmente raios X, que interagem com os tecidos do corpo humano, por absorção Fotoelétrica ou Espalhamento Compton, causando áreas de diferentes enegrecimentos, em um filme radiográfico (imagem estática), ou numa tela fluoroscópica (imagem cinética).

(SCAFF, 1979)

O filme radiológico consiste em uma emulsão fixada numa base de material plástico, que contém em suspensão cristais de brometo de prata em material gelatinoso. Quando a radiação interage com estes cristais, eles ficam mais susceptíveis às mudanças químicas e formam o que é conhecido por *imagem latente*. Após a exposição o filme é então “revelado”, os cristais expostos à radiação se reduzem a pequenos grãos de prata metálica. No final, as áreas que foram expostas às radiações aparecem enegrecidas, proporcionalmente à quantidade de radiação recebida. (SCAFF, 1979)

Define-se contraste como sendo a diferença de densidades ópticas entre dois pontos do filme, provocando uma diferença de exposição nestes dois pontos. Quanto maior a diferença de densidades ópticas para uma mesma diferença de exposição, maior será o contraste. Muitas vezes para visualizações de certos volumes tais como: esôfago, estômago, trato gastrointestinal, recorreremos ao uso de contrastes artificiais, sendo o mais comum o BaSO₄ (sulfato de bário). Compostos à base de Iodo (alto Z) são utilizados para a visualização de artérias e drenagens linfáticas. (SCAFF, 1979)

Certas substâncias, se submetidas a algum estímulo (tais como: luz, calor, ionização, reações químicas e outros), podem converter energia em radiação eletromagnética, no intervalo da luz visível. Esta conversão de energia é chamada de “Luminescência”. A luminescência é chamada de “Fluorescência” quando a emissão de radiação ocorre num intervalo de tempo de 10⁻⁸ segundos; se este fenômeno se der num tempo maior, tem o nome de “Fosforescência”. Algumas substâncias como o tungstato de cálcio, tornam-se fluorescentes à ação dos raios X. A quantidade de luz emitida é proporcional à quantidade de raios X absorvida e, portanto, proporcional à exposição recebida. (SCAFF, 1979)

Ao trabalhar com telas contendo material fluorescente e as colocarmos junto ao filme radiográfico, estas absorverão muito mais raios X que o filme e produzirão fótons de luz que tem maior eficiência para a formação de imagens. Desta forma é possível usar muito menor quantidade de raios X para a mesma imagem no filme. Por este fato, estas telas são chamadas de “Telas Intensificadoras” e, são usadas nas técnicas radiológicas com o intuito de minimizar a dose no paciente. (SCAFF, 1979)

Às vezes torna-se necessário visualizar movimentos de estruturas internas do

paciente. É possível obter uma imagem dinâmica se for feito com que um feixe de raios X, após passar através de um paciente, incida numa tela fluorescente. (SCAFF, 1979)

Em geral as salas de exames de raios X contém um sistema de imagens radiográficas e um sistema de imagens fluoroscópicas. O tubo de fluoroscopia é normalmente localizado sob a mesa de exame; o tubo radiográfico é montado em um suporte móvel que permite o fácil posicionamento do tubo e do feixe de raios X. (BUSONG, 2010)

2.5.1 FLUOROSCOPIA

Existem dois tipos gerais de exames de raios X: a radiografia e a fluoroscopia. A radiografia utiliza filmes de raios X e, geralmente, um tubo de raios X montado a partir do teto em uma faixa a qual permite que o tubo seja movido em qualquer direção. Esses exames fornecem aos radiologistas imagens fixas. (BUSHONG, 2010)

O equipamento de fluoroscopia é utilizado, prioritariamente, para estudos dinâmicos. Durante a fluoroscopia, o radiologista vê uma imagem contínua do movimento das estruturas internas enquanto o tubo de raios X está energizado. (BUSHONG, 2010)

Todos os equipamentos de fluoroscopia são equipados com um tipo de CAB e CAE. Cada sistema funciona de maneira semelhante ao fototemporizador de um sistema de imagens radiográficas, produzindo um brilho da imagem constante no vídeo ou no monitor da tela plana, independentemente da espessura ou composição da região anatômica. Esses sistemas tendem a deteriorar-se ou falhar com o uso. (BUSHONG, 2010)

2.5.2 ESPALHAMENTO E RADIAÇÃO DE FUGA

Conforme a teoria eletromagnética clássica, quando uma onda eletromagnética

de frequência f incide sobre a matéria contendo cargas elétricas, as cargas oscilam com frequência da onda e irradiam ondas eletromagnéticas com a mesma frequência original. (TIPLER, 1999)

Existem dois tipos de radiação secundária: radiação espalhada e radiação de fuga. A radiação espalhada surge quando o feixe útil intercepta qualquer objeto, provocando o espalhamento de alguns fótons de raios X. Para fins de cálculos de blindagem de proteção, o objeto espalhador pode ser considerado como uma nova fonte de radiação. Durante a radiografia e a fluoroscopia, o paciente é o objeto espalhador mais importante. (BUSHONG, 2010)

A radiação de fuga é a radiação que é emitida do cabeçote do tubo de raios X em todas as direções, exceto a do feixe útil. Se o cabeçote do tubo de raios X for construído adequadamente, a radiação de fuga não pode ultrapassar o limite regulamentar de 1 mGy/h (100 mR/h) a 1 m. (BUSHONG, 2010)

As fontes de radiação, em sua maioria, são pontuais. O alvo do tubo de raios X, por exemplo, é uma fonte pontual de radiação. A radiação espalhada pelo paciente, entretanto, aparenta não ser de uma fonte pontual, mas sim de uma fonte de área extensa. Como regra geral, até mesmo uma fonte extensa pode ser considerada como uma fonte pontual a uma distância suficientemente grande. (BUSHONG, 2010)

2.5.3 URETROCISTOGRAFIA MICCIONAL PEDIÁTRICO

Também conhecida como cistouretrografia miccional, é um exame radiológico contrastado destinado à avaliação da via urinária e representa na literatura, 30% a 50% dos exames fluoroscópicos em crianças. As principais indicações para o exame são: avaliação de infecção urinária de repetição, de refluxo vesicoureteral e de anomalias congênitas da bexiga e da uretra. Variações no tempo de fluoroscopia durante a execução do exame, em função do equipamento radiológico utilizado, da habilidade do radiologista, do grau de cooperação do paciente, das características da região a ser observada e das dimensões das áreas expostas, são variáveis que influenciam na dose total do procedimento (TRAVASSOS et al, 2009)

2.6 EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL

A exposição ocupacional é descrita pela dose equivalente em unidades de milisievert. Os limites de dose são especificados em dose efetiva (E). Este regime foi adotado para assegurar a melhoria da exatidão das práticas de proteção contra as radiações. (BUSHONG, 2010)

O conceito de dose efetiva (E) considera diferentes tipos de radiação devido à variação da eficácia biológica relativa (RBE). A dose efetiva também considera a radiosensibilidade relativa dos vários tecidos e órgãos. (BUSHONG, 2010)

Médicos radiologistas geralmente recebem exposições ligeiramente superiores aos tecnólogos. Isto porque o radiologista recebe a maior parte de sua exposição durante fluoroscopia, quando, geralmente, está mais perto da fonte de radiação e do paciente. (BUSHONG, 2010)

Durante a fluoroscopia, tecnólogos e radiologistas são expostos a níveis relativamente altos de radiação. Esta exposição está relacionada à duração da exposição. Com cuidado, as doses ocupacionais podem ser tão baixas quanto razoavelmente exequível. (BUSHONG, 2010)

Fluoroscopia remota resulta em baixas exposições ocupacionais porque as equipes médica e técnica não estão na sala de exame com o paciente. Em alguns sistemas de fluoroscopia, o tubo de raios X está sobre a mesa e o receptor de imagem, sob a mesa. Esta geometria oferece algumas vantagens em termos de qualidade de imagem, mas as exposições ocupacionais são mais elevadas porque os níveis de radiação secundária (espalhamento e fuga) são mais elevados. (BUSHONG, 2010). A Figura 5 mostra as diferentes formas de radiação espalhada

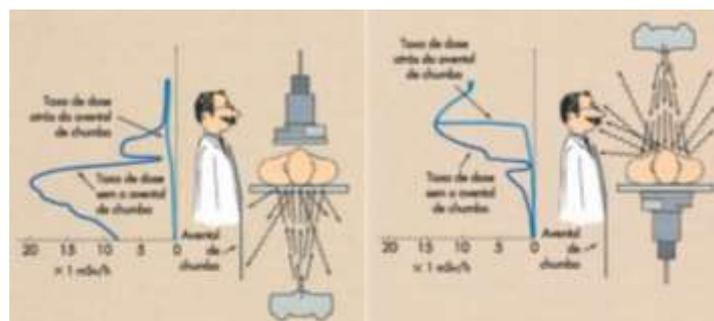


Figura 5 – Diferença da radiação espalhada quanto ao posicionamento do tubo de raios X

Fonte: (BUSHONG, 2010)

O pessoal envolvido nos procedimentos de radiologia intervencionista muitas vezes recebe exposições superiores do que os envolvidos na prática radiológica em geral, devido às maiores durações das exposições. (BUSHONG, 2010)

A exposição das extremidades durante os procedimentos de radiologia intervencionista pode ser significativa. Mesmo com luvas de proteção, a exposição do antebraço pode se aproximar do limite de dose recomendado de 500 mSv/ano, se precauções não forem tomadas. Sem luvas, a exposição excessiva na mão é possível. (BUSHONG, 2010)

TRAVASSOS et al 2009 realizaram um estudo com 37 pacientes pediátricos submetidos a UCM Uretrocistografia Miccional. A rotina de execução do exame era iniciada com uma radiografia do abdome, em seguida realizada a antissepsia da genitália e a introdução de um cateter na uretra, conduzido até o interior da bexiga. Através do cateter era administrado o meio de contraste iodado diluído em soro fisiológico e então realizavam as radiografias nas fases de maior enchimento, enchimento vesical e uma radiografia ao término da micção, para avaliar o grau de esvaziamento vesical e a presença ou não de refluxo vesicoureteral. Para os exames realizados os valores médios de tensão (kV) e da carga (mAs) obtidos nos exames foram de 72 kV e 6,1 mAs. O número de exposições variou entre 6 e 18, o tempo médio de fluoroscopia foi de 516 segundos, correspondendo em média a 85% da dose total. Ainda segundo TRAVASSOS et al alguns médicos deixam os fatores técnicos no modo automático e outros fixam kV e mA da fluoroscopia e mAs da radiografia. Entretanto, todos usam a fluoroscopia por tempo prolongado, aumentando a dose fornecida. Este fato pode ser explicado pelos exames anormais, que requerem incidências adicionais para documentar adequadamente as alterações do trato urinário, por exemplo, a presença de divertículos vesicais, as anomalias da uretra masculina e outras anomalias mais complexas.

Radiologistas frequentemente têm as mãos próximas ao feixe de radiação primária na fluoroscopia. Portanto, a exposição nas extremidades pode ser motivo de preocupação. O limite de dose para extremidades é o mesmo que para a pele – 500 mSv/ano. Esses níveis de radiação são bastante elevados e, em circunstâncias normais, não se deve sequer se aproximar deles. Para certos grupos profissionais, como os radiologistas intervencionistas e tecnólogos em medicina nuclear, monitores pessoais de extremidade devem ser fornecidos. Esses dispositivos são

usados no pulso ou no dedo. (BUSHONG, 2010)

2.7 PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

Muitos conceitos têm sido derivados especificamente para uso na proteção contra radiação. A maioria desses conceitos vem sendo mal utilizados e erroneamente aplicados para situações de altas doses. A proteção radiológica é a preocupação com a proteção de grupos de indivíduos, sua progenitura e com a raça humana como um todo. É com esse objetivo em mente que as doses limites e níveis máximos de dose admissíveis têm sido estabelecidos. A proteção radiológica antecede os anos de 1950, onde na maioria das vezes era direcionada à proteção daqueles indivíduos que apresentavam exposição ocupacional, no entanto, em aproximadamente 1950 a preocupação foi ampliada para incluir a população em geral. (METTLER, 1995)

O termo “proteção radiológica” foi estabelecido no início do Projeto Manhattan, o esforço secreto de guerra incumbido de desenvolver a bomba atômica. Os primeiros profissionais de proteção radiológica foram os do grupo de físicos e médicos responsáveis pela segurança contra as radiações das pessoas envolvidas na produção das bombas atômicas. Assim o profissional de proteção radiológica é um cientista da radiação que está preocupado com a pesquisa, o ensino ou os aspectos operacionais da segurança radiológica. (BUSHONG, 2010)

Toda atividade de proteção radiológica em radiologia diagnóstica é voltada para minimizar a exposição à radiação de pacientes e dos trabalhadores. Os três princípios fundamentais da proteção radiológica desenvolvido para atividades nucleares – tempo, distância e blindagem – encontram aplicação igualmente útil nesta área. Quando estes princípios fundamentais são atendidos, a exposição à radiação pode ser reduzida por:

- Minimização do tempo. A dose recebida por um indivíduo está diretamente relacionada à duração da exposição. Se o tempo durante o qual o indivíduo é exposto à radiação é dobrado, a dose será dobrada.
- Maximização da distância. A medida que a distância entre a fonte de radiação e o indivíduo aumenta, a exposição à radiação diminui rapidamente. Esta

diminuição da exposição é calculada usando a lei do inverso do quadrado da distância.

- Uso de blindagem. Posicionar blindagens entre a fonte de radiação e as pessoas expostas reduz muito o nível de exposição à radiação. As blindagens utilizadas em radiologia diagnóstica consistem geralmente em chumbo, apesar de materiais de construção convencionais também serem utilizados. (BUSHONG, 2010)

Durante partes do exame de fluoroscopia, quando não é necessário que o tecnólogo em radiologia permaneça próximo ao paciente, ele deve recuar. Dois passos para trás, a taxa de exposição é aproximadamente apenas 5 mR/h (50 μ Gy/h). Esta redução da exposição não segue a lei do inverso do quadrado da distância, porque, durante a fluoroscopia, o paciente é uma fonte extensa de radiação por causa dos raios X espalhados pelo seu corpo. (BUSHONG, 2010)

2.7.1 DOSE ABSORVIDA, EQUIVALENTE E EFETIVA

Com o objetivo de estabelecer limites, é necessário estimar o detrimento proveniente da radiação. A dose absorvida pelos tecidos é medida como a energia depositada em uma grama. O conhecimento dessa quantidade não é útil para prever a severidade dos efeitos a não ser que outros aspectos sejam levados em consideração. Os dois fatores mais significantes são a qualidade da radiação e o produto de todos os outros fatores modificadores. Historicamente, a dose equivalente (H), é dada pela equação $H = DQN$, onde D era a dose absorvida, Q era a qualidade da radiação e N era indefinido, mas representava os fatores modificadores. (METTLER, 1995)

Dose absorvida é geralmente definida como dose média absorvida por um órgão ou tecido. É claro, isso representa a simplificação de um problema atual. Normalmente quando um órgão ou indivíduo é irradiado, a dose recebida não é uniforme através do volume do órgão, mas bem heterogêneo. A simplificação envolvida é o pressuposto que o detrimento será o mesmo se o órgão é uniformemente ou não uniformemente irradiado. Em circunstâncias extremas e, é claro que não é o caso, no entanto, se a não uniformidade é menor que 50% ou

assim através do órgão ou indivíduo de interesse, significa que a probabilidade da dose no órgão pode ser utilizada efetivamente. (METTLER, 1995)

A dose absorvida por um órgão multiplicada pelo fator de ponderação para àquele tipo particular de radiação (W_R) permite diferentes distribuições de energia. Isso é chamado de dose equivalente no tecido (H_T) e é expresso em Joules por quilograma J/kg e mensurado em Sievert (Sv). A fórmula para dose equivalente é demonstrada na equação 2. (METTLER, 1995)

$$H_T = \sum_R D_{TR} \cdot W_R \quad (2),$$

onde o D_{TR} é referente à dose em um tecido particular ou órgão para um dado tipo de radiação e o W_R é referente ao fator de ponderação de radiação. Quando o produto desses dois fatores é somado a todas as radiações equivale à dose equivalente para àquele tecido H_T . (METTLER, 1995)

A Figura 6 mostra a relação entre dose absorvida, dose efetiva e dose equivalente.

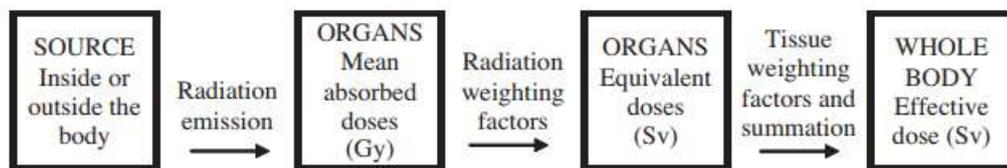


Figura 6 – Relação entre dose absorvida, dose efetiva e dose equivalente. Fonte: ICRP, 2013

Quando apenas uma parte do corpo está exposta, como nos exames médicos de imagem por raios X, o risco de uma resposta estocástica à radiação não é proporcional à dose no tecido, mas sim à dose efetiva. (BUSHONG, 2010)

Conforme a publicação nº12 da ICRP – International Commission on Radiological Protection, a dose equivalente de radiação é utilizada como uma noção básica numérica comum para expressar doses de permissibilidade provenientes de diferentes tipos de radiação. Isso proporciona a vantagem de fornecer uma escala para avaliar os riscos relativos de lesões em termos que são razoavelmente susceptíveis de medição.

2.7.2 MONITORAMENTO

O monitoramento operacional é destinado a fornecer uma verificação em uma determinada operação e para dar, se necessária, uma base para decisões sobre a condução da operação. Isto é particularmente apropriado no controle de procedimentos de curto prazo sob condições que são insatisfatórias para uso continuado em longo prazo. Não pode haver uma distinção nítida entre um monitoramento ambiental e operacional, porque um ambiente inclui as operações realizadas dentro dele, mas há na prática uma separação suficientemente clara. (ICRP, 1969)

Conforme a publicação nº121 da ICRP, a Comissão estabelece que os riscos para efeitos para efeitos estocásticos são dependentes da idade e sexo e, os riscos para exposição médica dependem de outros fatores incluindo o estado de saúde. Portanto a análise de risco para utilização médica da radiação ionizante é melhor avaliada utilizando estimativas de risco apropriadas, que dependam da dose média absorvida ou dose equivalente, para os tecidos individuais em risco e para a distribuição de idade e sexo. (ICRP, 2013)

Quatro tipos de dispositivos de detecção de radiação são particularmente importantes em radiologia diagnóstica. O detector a gás é amplamente utilizado como um dispositivo para medir a intensidade da radiação e para detectar contaminação radioativa. A dosimetria termoluminescente (TLD) e por luminescência opticamente estimulada (LOE) são utilizadas tanto para monitoramento da dose ocupacional como da dose no paciente. A detecção por cintilação é a base da gama-câmara, um dispositivo de imagem utilizado em medicina nuclear. Ela também é utilizada na tomografia computadorizada (TC) e nos sistemas de imagens digitais de radiografia. (BUSHONG, 2010)

Três tipos de detectores de radiação a gás são utilizados: as câmaras de ionização, os contadores proporcionais e os detectores Geiger-Muller. Embora eles sejam diferentes em termos das características de resposta, todos são baseados no mesmo princípio de funcionamento. Quando a radiação passa através do gás, ela ioniza os átomos do gás. Os elétrons liberados na ionização são detectados como um sinal elétrico que é proporcional à intensidade da radiação. (BUSHONG, 2010)

No eixo central do cilindro, um fio rígido, denominado eletrodo central, é

posicionado. Se uma diferença de potencial é aplicada entre o eletrodo central e a parede, de tal forma que o fio é positivo e a parede é negativa, então qualquer elétron liberado na câmara de ionização será atraído para o eletrodo central. Esses elétrons formam um sinal elétrico, seja como um pulso de elétrons seja como uma corrente contínua. Este sinal elétrico é, então, amplificado e medido. Sua intensidade é proporcional à intensidade da radiação que o causou. Em geral, quanto maior for a câmara, mais moléculas de gás estão disponíveis para ionização e, portanto, mais sensível é o instrumento. Da mesma forma, se a câmara é pressurizada, então, um maior número de moléculas está disponível para ionização, e os resultados de sensibilidade são ainda maiores. (BUSHONG, 2010) A Figura 7 mostra um esquema de um medidor a gás.

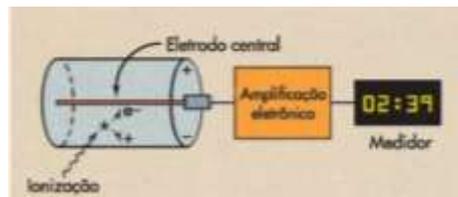


Figura 7 – Esquema simplificado de um medidor a gás. Fonte: (BUSHONG, 2010)

A câmara de ionização é o instrumento adequado para medir a intensidade de radiação em áreas em torno do equipamento de fluoroscopia, ao redor dos geradores de radionuclídeos e das seringas, nas proximidades de pacientes com quantidades terapêuticas de material radioativo, e depois das barreiras de proteção. Outras câmaras de ionização, mais exatas, são utilizadas para a calibração da intensidade de saída do feixe de raios X nos sistemas de diagnóstico por imagem. (BUSHONG, 2010)

2.8 LEGISLAÇÃO

Conforme a norma CNEN NN 3.01 que trata das Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica, recomenda os mesmos limites de dose determinados pelo ICRP – *International Commission Radiological Protection* (Comissão Internacional de Proteção Radiológica), a exposição normal dos indivíduos deve ser restringida de tal

modo que nem a dose efetiva nem a dose equivalente nos órgãos ou tecidos de interesse, causadas pela possível combinação de exposições originadas por práticas autorizadas, excedam o limite de dose especificado. A Tabela 3 traz os valores de doses limites recomendados.

Tabela 3 - Limites de doses anuais recomendados pela ICRP-103

Órgão	IOE	Indivíduo do público
Corpo Inteiro (Efetiva)	20 mSv ⁽¹⁾	1 mSv
Cristalino (Equivalente)	20 mSv ⁽¹⁾	15 mSv
Pele	500 mSv	15 mSv
Mãos e Pés	500 mSv	--
⁽¹⁾ Média aritmética em 5 anos consecutivos, desde que não exceda 50 mSv em qualquer ano.		

Fonte: BRASIL, 2014

3 METODOLOGIA

Os dados levantados neste trabalho foram adquiridos através da simulação das técnicas radiológicas utilizadas para execução do exame de Uretrocistografia Miccional no centro de imagens de um hospital de Curitiba. A simulação permitiu a determinação das doses às quais os profissionais de radiologia estão submetidos ao acompanhar o paciente durante a execução do exame. Desta forma foi possível avaliar e comparar os níveis de radiação a que os profissionais de radiologia estão expostos com a legislação vigente no país e com estudo da literatura, assim como os limites ocupacionais.

3.1 SIMULAÇÃO E COLETA DE DADOS

As medidas foram feitas por meio da simulação das condições usuais da execução de exames. No local do paciente pediátrico foi utilizado um fantoma antropomórfico como objeto simulador de uma criança de 1 ano de idade. O fantoma da marca CIRS, modelo 704, medindo 75cm de altura e pesando 10kg é constituído

de resinas epóxi equivalente aos tecidos humano conforme demonstrado na figura 8. A utilização do fantoma como objeto simulador possibilitou reproduzir a radiação espalhada pelo paciente que o profissional de radiologia está submetido durante o acompanhamento do paciente na sala de exames.



Figura 8 – Fantoma como objeto simulador de uma criança de 1 ano de idade.

Fonte: A autora, 2019

Para medição das doses de radiação nas regiões foi utilizado um detector de câmara de ionização da marca Radcal, modelo 10x6-180 acoplado a um eletrômetro conforme demonstrados na figura 9 e 10. O detector foi calibrado no Laboratório de Metrologia das Radiações Ionizantes (LMRI) do Departamento de Energia Nuclear (DEN) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), cujo certificado de calibração é o 1036RX/0317.



Figura 9 – Detector câmara de ionização marca Radcal. Fonte: A autora, 2019



Figura 10 – Eletrômetro marca Radcal Accu-Pro. Fonte: A autora, 2019

O equipamento fluoroscópico utilizado foi Flexavision F3 da marca Shimadzu, conforme a figura 11.



Figura 11 – Equipamento fluoroscópico Flexavision F3 marca Shimadzu. Fonte: A autora, 2019

Durante o acompanhamento da simulação, foram fornecidas pelo físico várias informações como o posicionamento dos profissionais que acompanham o paciente durante o exame ao centro do campo de radiação e ao paciente, parâmetros

radiográficos, tempos médios de duração e número de radiografias realizadas.

A técnica utilizada para as radiografias foi tensão de 52 kV, 5 mAs com tempo de 25 ms; para a fluoroscopia foi utilizado tensão de 71 kV e tempo de 54 s.

As posições utilizadas tiveram o objetivo de simular a exposição das mãos e dos olhos dos dois profissionais que permanecem na sala de exames. O profissional 1 permanece perpendicular ao abdome do paciente para auxiliar na imobilização das mãos e o profissional 2 permanece posicionado perpendicular aos pés do paciente para auxiliar a mobilização dos mesmos. Para reproduzir a posição dos olhos do profissional 1 e 2 foi utilizado um suporte hospitalar para fixação da câmara de ionização. A câmara foi posicionada na altura de 1,65m simulando a altura média da região dos olhos de uma pessoa. Os exames foram reproduzidos simulando as posições dos profissionais 1 e 2 conforme mostrado nas Figuras 12 e 13.



Figura 12 – Posição dos profissionais 1 e 2 respectivamente.

Fonte: A autora, 2019

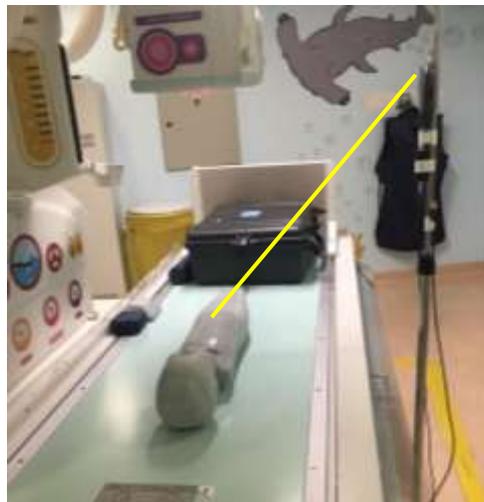


Figura 13 – Posição dos olhos do profissional 1. Fonte: A autora, 2019

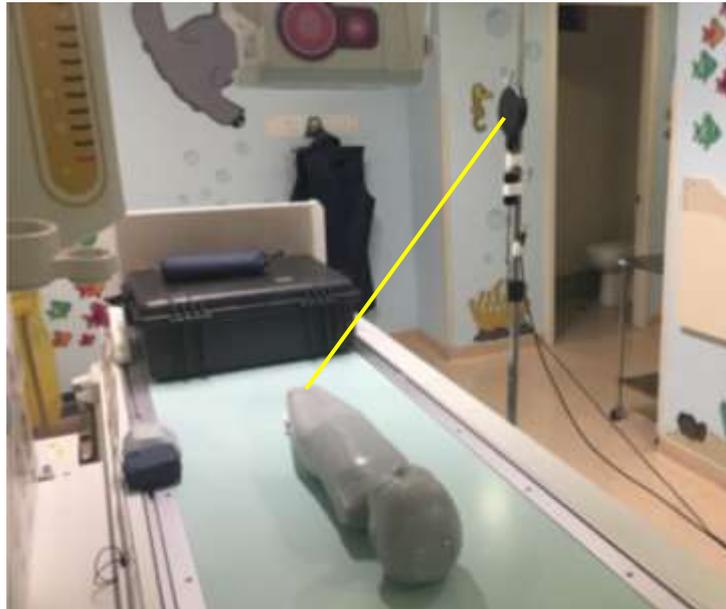


Figura 14 – Posição dos olhos do profissional 2. Fonte: A autora, 2019

Para a simulação da posição das mãos, a câmara da ionização foi imobilizada na mesa de exames na lateral do fantoma nas posições altura da cintura e pés reproduzindo respectivamente o profissional 1 e 2 conforme mostrado nas figuras 15 e 16.



Figura 15 – Posição das mãos do profissional 1 na altura do abdome do paciente. Fonte: A autora, 2019



Figura 16 – Posição das mãos do profissional 2 na altura dos pés do paciente. Fonte: A autora, 2019

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi realizada uma simulação de fluoroscopia para cada posição dos profissionais P1 e P2. Para as radiografias, foram realizadas 4 simulações e obtidas as médias para cada posição e profissional. Os resultados foram multiplicados pelo fator de 1,2 que representa o fator de compensação de calibração, pois o equipamento foi calibrado na pressão atmosférica ao nível do mar. Os resultados obtidos estão na tabela 4.

Tabela 4 – Resultado de doses obtidas

	P1 Olhos uGy	P2 Olhos uGy	P1 Mãos uGy	P2 Mãos uGy
Fluoroscopia	5,25	4,05	12,93	8,71
Radiografia 1	0,00130	0,00100	3,25440	0,00215
Radiografia 2	0,00136	0,00102	3,39480	0,00214
Radiografia 3	0,00124	0,00098	3,39960	0,00205
Radiografia 4	0,00124	0,00098	3,39600	0,00217
Média Radiografias	0,00128	0,00100	3,36120	0,00213

Fonte: A autora, 2019

Inicialmente, com base nos valores obtidos, foi encontrado o valor médio de dose das radiografias e multiplicado por nove radiografias, quantidade média aproximada realizada durante o exame. Então, através do somatório da média de doses de radiografias e fluoroscopia foi estimada uma dose total por exame descrita na tabela 5.

Tabela 5 – Resultado de doses obtidas totalizando 9 radiografias.

	P1 Olhos (uGy)	P2 Olhos (uGy)	P1 Mãos (uGy)	P2 Mãos (uGy)
Fluoroscopia	5,25	4,05	12,93	8,71
Radiografia 1	0,00130	0,00100	3,25440	0,00215
Radiografia 2	0,00136	0,00102	3,39480	0,00214
Radiografia 3	0,00124	0,00098	3,39960	0,00205
Radiografia 4	0,00124	0,00098	3,39600	0,00217
Média Radiografias	0,00128	0,00100	3,36120	0,00213
Dose de 9 Radiografias	0,01152	0,00900	30,25080	0,01917

Fonte: a Autora, 2019

Tabela 6 – Dose total por exame em cada profissional.

	P1 Olhos uGy	P2 Olhos uGy	P1 Mãos uGy	P2 Mãos uGy
Total de Dose / Exame	5,2615	4,0590	43,1808	8,7292

Fonte: a Autora, 2019

Após estimar a dose total do exame, cada posição foi multiplicada por 38,8 que representa a quantidade de exames de UCM realizados no hospital no período de um mês. Este dado foi fornecido pelo Hospital através do físico que nos acompanhou nas simulações. Então o resultado encontrado foi multiplicado por 11 que equivale aos meses trabalhos no ano.

Em seguida foi realizada a conversão da unidade Gray para Sievert. Então foi adotada a fórmula da dose equivalente utilizando o fator de peso da radiação W_r igual a 1 para radiação X. Em seguida foram obtidos os valores de dose equivalente para cada uma das posições estudadas de ambos profissionais, P1 e P2.

Tabela 7 – Estimativa de dose equivalente por ano recebida pelos profissionais para tempo de Fluoroscopia de 54 s e 9 radiografias.

	P1 Olhos mSv	P2 Olhos mSv	P1 Mãos mSv	P2 Mãos mSv
Dose Por Ano mSv	2,2456	1,7324	18,4296	3,7256

Fonte: a Autora, 2019

Através dos resultados foi possível observar que a dose proveniente da fluoroscopia representa mais de 99% da radiação recebida em relação às radiografias obtidas durante o exame, para o cristalino de ambos os profissionais e para as mãos do profissional P2. Em comparação, as mãos do profissional P1, que permaneceu mais próximo da altura do quadril do fantoma, receberam a maior dose de radiação proveniente das radiografias que da fluoroscopia, sendo esta representando apenas 29,94% da radiação total nesta posição. Extrapolando o tempo de Fluoroscopia para 516 s, a dose proveniente de radiografias representa apenas 19,66%.

Os resultados também apontam que a dose recebida pelo primeiro profissional é maior que comparada com o segundo profissional, que se posiciona próximo aos pés do paciente a uma de 20 cm do profissional 1. Essa diferença de distância entre os dois profissionais e o eixo primário da fonte reduziu 1/3 da dose para o cristalino, apontando redução de 2,2456 mSv para 1,7324 mSv. Em relação as mãos, o aumento da distância proporcionou redução mais elevada, sendo de 18,4296 mSv do profissional na posição P1 para 3,7256 mSv do profissional 2 na posição P2, evidenciando uma queda para 1/4 da dose do profissional na posição P1.

Ao comparar os resultados encontrados com o estudo realizado por TRAVASSO nota-se que o resultado das doses de Fluoroscopia foram baixos, no entanto, o tempo utilizado neste estudo para a simulação foi um tempo total de 54 segundos de Fluoroscopia, TRAVASSO utilizou 516 segundos. Ao extrapolar o valor médio encontrado para o mesmo tempo utilizado no estudo de TRAVASSO é possível verificar uma diferença significativa nos resultados abaixo.

Tabela 8 - Estimativa de dose equivalente por ano recebida pelos profissionais para tempo de Fluoroscopia de 516 s e 9 radiografias.

	P1 Olhos mSv	P2 Olhos mSv	P1 Mãos mSv	P2 Mãos mSv
Dose Por Ano mSv	21,4130	16,5210	65,6422	35,5012

Fonte: a Autora, 2019

Para tempo de Fluoroscopia de 516 s, o limiar de dose equivalente para o cristalino na posição do profissional P1 apresenta acima de 20 mSv.

Esses resultados demonstram que a distância do centro do feixe proporciona

significativa redução na exposição do profissional. Não é possível mensurar o quanto será a redução em relação ao distanciamento do profissional ao paciente uma vez que a dose obtida corresponde à radiação espalhada, a qual segundo BUSHONG et al (2010) não obedece a Lei do inverso do quadrado da distância que corresponde a uma fonte de radiação pontual, na radiação espalhada, a fonte é denominada extensa.

5 CONCLUSÃO E PROPOSTAS DE MELHORIA

Através dos resultados é possível concluir que para um tempo médio de duração de 516 segundos da técnica de Fluoroscopia, a dose de radiação equivalente recebida pelo profissional que se posiciona perpendicularmente ao paciente pediátrico, ou seja, mais próximo da fonte, ultrapassa em 1,413 mSv o limiar estabelecido nas normas de radioproteção. As demais posições, tanto para mãos como para o cristalino do profissional da posição P2 não ultrapassaram o limiar de dose estabelecido. Apesar do cristalino do profissional 2 ter apresentado exposição anual abaixo do limiar estabelecido é importante salientar que segundo estudos a radiosensibilidade da lente do olho é dependente da idade da pessoa, à medida que a idade do profissional aumenta o efeito da radiação torna-se maior. Através desta observação é possível concluir que mesmo o cristalino do profissional 2 não apresente exposição acima do limiar de dose estabelecido para IOE de 20 mSv/ano para olhos, não exclui a possibilidade de manifestação de catarata neste profissional. Estudos também apontam que a radiosensibilidade dos tecidos depende do estado de saúde do indivíduo exposto. Assim, ainda que as doses encontradas referente às mãos de ambos os profissionais não tenham ultrapassado o limiar estabelecido de 500 mSv/ano, profissionais expostos que apresentam doenças dermatológicas não radio-induzidas durante a ocupação apresentam mais chances de desenvolver doenças radio-induzidas.

Os resultados salientam a necessidade contínua de melhorar os procedimentos visando reduzir a exposição dos IOEs. Algumas técnicas podem ser utilizadas como:

- Maior atenção ao preparo do paciente assim como o seu responsável que

também irá acompanhá-lo antes de iniciar os preparativos do procedimento como vídeos explicativos, a fim de tranquilizar e conseqüentemente diminuir o tempo de exame através da cooperatividade do paciente,

- Buscar sempre reduzir o tempo de exame,
- Aumento da distância do tubo de raios X e do profissional,
- Análise da viabilidade da alteração da posição do profissional 1 da posição perpendicular ao feixe para a posição oblíqua similar a posição do profissional 2, que recebeu uma menor dose durante o procedimento, uma vez que o espalhamento demonstrou ser menor nesta posição (na Extremidade),
- Utilização de luvas plumbíferas

REFERÊNCIAS

- BONTRAGER, Kenneth L.; LAMPIGNANO, John P. Tratado de posicionamento radiográfico e anatomia associada. 7th ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- BUSHONG, Stewart C. Radiologic science for technologists: physics, biology, and protection. 9th ed. St.Louis: Mosby, 2010.
- COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR – Diretrizes Básicas de Radioproteção. CNEN-NN-3.01. CNEN, Rio de Janeiro, 2005. Resolução CNEN 114/2011. Publicação D.O.U – 01/09/2011.
- INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP). The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103, Elsevier (2007).
- TAUHATA, Luiz, et al. Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos. Instituto de Radioproteção e Dosimetria. Rio de Janeiro: Comissão Nacional de Energia Nuclear, 2003.
- BONTRAGER, K.L.; LAMPIGNANO, J. Bontrager's Handbook of Radiographic Positioning and Techniques. 8a ed. St. Louis, MO (USA): Mosby Elsevier, 2013.
- TRAVASSOS, L.; BOECHAT, M.; SANTOS, E.; OLIVEIRA, S.; SILVA, M.; CARVALHO, A.; et al. – Evaluation of Radiation Dose in Voiding Cystourethrography in Children: Radiologia Brasileira, 2009, Vol. 42 (1): 21-25.
- CANEVARO, L.; et al. – Physical and Technical Aspects in Interventional Radiology: Revista Brasileira de Física Médica, 2009, vol. 3 (1): 101-15
- FILHO, J.; REIS, C.; TANIGUTI, L.; PACÍFICO, L.; SAINTYVES, T.; MECCA, F.; et al. – Study of Dose and Relative Risk Occupationally Exposed Individuals in Interventional Procedures: Revista Brasileira de Física Médica, 2012, vol. 6 (3): 167-71
- CHEN, M.; POPE, T.; OTT, D.; Basic Radiology. 2^o ed. Nova York, 2011
- METTLER, F.; UPTON, A.; Medical Effects Of Ionizing Radiation. 2^a ed. Philadelphia, W. B. Saunders, 1995.
- ANDREUCCI, R.; Proteção Radiológica Aspectos Industriais. Ed. Jan. 2016.
- SCAFF, L.; Bases Físicas da Radiologia – Diagnóstico e Terapia. 1 ed. São Paulo, 1979.
- RADCAL CORPORATION. **Accu-Gold.UserGuide**. Monrovia, CA, USA: RADCAL CORPORATION. 2012. Manual do usuário.

BROW, T.; LEMAY, E.; BURSTEN, B.; Chemistry The Central Science 10^a ed. Pearson, 2006.

RUSSEL, J.; Química Geral. 2^a ed., vol. 2. Pearson, 2006.

TIPLER, P.; Physics For Scientists and Engineers. 4^a ed. vol. 1. Nova York, 1999.

CARUSO, F.; OGURI, V.; Física Moderna – Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos. 1^a ed. Elsevier, 2006.