



Universidade Estadual de Maringá
Centro de Ciências Exatas
Departamento de Física

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PESQUISA SOBRE A RADIOPROTEÇÃO DE UM SETOR DE RADIOLOGIA

Guilherme Santana da Silva

Orientador: Dr. Maurício A. Custódio de Melo

Maringá, 17 de janeiro de 2020



Universidade Estadual de Maringá
Centro de Ciências Exatas
Departamento de Física

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PESQUISA SOBRE A RADIOPROTEÇÃO DE UM SETOR DE RADIOLOGIA

Trabalho de Conclusão de Curso ao Departamento de Física da Universidade Estadual de Maringá, sob orientação do professor Dr. Maurício A. Custódio de Melo, como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Física

Guilherme Santana da Silva

Orientador: Dr. Maurício A. Custódio de Melo

Maringá, 17 de janeiro de 2020

Sumário

Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Introdução	1
1 Radiações	3
1.1 Contexto histórico	3
1.1.1 A descoberta dos Raios-X	3
1.1.2 A radioatividade	6
2 Física das Radiações	10
2.1 Radiações Corpusculares e sua interação com a matéria	10
2.1.1 Decaimento α	10
2.1.2 Decaimento β	12
2.2 Radiações Eletromagnéticas	14
2.2.1 Radiação gama (γ)	15
2.2.2 Radiação de freamento (Bremsstrahlung)	16
3 Grandezas e Unidades	18
3.1 Grandezas Físicas	18
3.1.1 Exposição	19
3.1.2 Dose absorvida	19
3.1.3 Dose equivalente	20
3.1.4 Kerma	21
3.1.5 Atividade (A)	21
4 Materiais e Métodos	23
4.1 Máquinas de Raios-X	23
4.1.1 Como são criados os raios-X nas máquinas atuais	23
4.1.2 Máquina de Tomografia	25

4.1.3	Raio-X Analógico	26
4.1.4	Raio-X móvel	27
5	Resultados e Discussão	29
5.1	Respostas ao questionários	29
5.1.1	Funcionário 1	29
5.1.2	Funcionário 2	30
5.1.3	Funcionário 3	32
5.1.4	Funcionário 4	33
5.1.5	Funcionário 5	35
5.2	Discussão	36
6	Manual de radioproteção para a clínica de radiologia	37
6.1	Princípios da radioproteção	37
6.1.1	Princípio da justificativa	37
6.1.2	Princípio da otimização	38
6.1.3	Princípio da limitação de dose	38
6.2	Meios de proteções radiológicas	39
6.2.1	Distância da fonte	39
6.2.2	Blindagem	40
6.2.3	Tempo de exposição	41
6.3	Procedimentos de trabalho	42
6.4	Proteção do operador e da equipe	43
	Conclusões	46
	Referências Bibliográficas	47
A	O questionário	49

Agradecimentos

Agradeço primeiro a Deus e a Nossa Senhora, por me ajudarem a enfrentar tudo que passei durante o curso e a realização do Trabalho de Conclusão de Curso.

Aos meus pais, por me incentivarem durante todo esse caminho e a dedicação em tempo integral, mesmo após a troca de cursos. Sem eles não conseguiria chegar onde cheguei.

Ao meu irmão por todas as conversas que tivemos e todo o aprendizado que tive com ele.

Ao prof. Dr. Ary Rodrigues Junior, pela dedicação em me ajudar com palavras, ensinamentos e livros que me ajudaram a escrever esse trabalho.

Aos meus amigos de curso, Angelo Thiago de Souza Catanio, Hugo Nasser Machado e Gustavo Massao Yoshitome por todos esses anos de conversas, ajudas, incentivos e animações.

Aos meus amigos do grupo de oração que aguentaram minhas reclamações durante algum tempo, principalmente ao Rafael Vitor Monteschio Magalhães e ao Gabriel Vitor Monteschio Magalhães.

Ao meu orientador prof. Dr. Maurício A. Custódio de Melo, pela paciência em me explicar o conteúdo, em corrigir o trabalho e pelos puxões de orelha.

A todos os meus professores que me deram aula durante o curso, pois sem eles não seria possível me tornar quem eu sou hoje.

Resumo

A descoberta dos raios x foram de extrema importância para o desenvolvimento da física médica e para os exames radiológicos. São esses exames que ajudam os médicos a identificarem ossos quebrados, tecidos doentes entre muitas outras finalidades. Porém, os trabalhadores de clínicas radiológicas sofrem com a radiação ionizante se ficarem expostos muito tempo sem a devida proteção, que pode ser consequência da falta de conhecimento e/ou treinamento.

Dessa forma, a radioproteção de funcionários é de suma importância para uma clínica de radiologia, pois as radiações ionizantes, como o raio X, podem alterar o conteúdo genético das células podendo assim causar doenças degenerativas ou até mesmo o câncer. Neste trabalho estudou-se como os funcionários do setor de radiologia de uma clínica da região de Maringá se protegem contra as radiações advindas dos maquinários presentes durante a realização dos exames.

Feita as análises dos dados obtidos por um questionário, foi implementado um manual de radioproteção para o setor de radiologia onde foi feita a pesquisa, com o intuito de lhes fornecer informações que permitam lembrar os princípios de radioproteção.

Introdução

Ao longo da história muitos foram os descobrimentos sobre as radiações ionizantes desde o dia do descobrimento dos raios X até os dias atuais. Essas descobertas ajudaram muito o desenvolvimento da medicina, pois possibilitou a realização de diagnósticos mais profundos em certas situações. Porém, essas radiações podem afetar o corpo humano. Algumas perguntas podem surgir disso, como por exemplo: como se proteger dessas radiações? Como agir em determinadas situações? O que realmente é uma radiação ionizante? Muitas vezes essas perguntas não são respondidas devidamente por profissionais da área de radiologia. Por isso, o objetivo desse trabalho é analisar, através de um questionário, o conhecimento de funcionários a respeito de radioproteção de um setor de radiologia da região de Maringá.

Inicialmente a ideia era a realização de um manual de radioproteção para uma clínica de radioterapia, porém a clínica enfatizou que não era viável pois, segundo eles, os funcionários não tinham doses acumuladas de radiações, conforme estava mostrado no relatório de dose mensal ao qual foi me apresentado. Com isso, passou-se a realização de um manual de radioproteção para uma clínica de radiologia, porém com o desenvolvimento do trabalho viu-se que não ficaria um manual completo, logo passou-se a ser uma pesquisa a respeito da radioproteção do setor de radiologia da região de Maringá.

No primeiro capítulo é abordado um pouco do conceito histórico das radiações. De início, estudou-se como Wilhelm Conrad Roentgen descobriu os raios-x e suas propriedades. A partir desse descobrimento foi possível encontrar elementos que emanavam radiação naturalmente, conhecido como radioatividade.

O segundo capítulo é voltado para o estudo da física das radiações, ou seja, como a radiação interage com a matéria ao seu redor. Aqui entra as radiações corpusculares, como o decaimento α e β , e as radiações eletromagnéticas sendo elas as radiações γ e a radiação de freamento (Bremsstrahlung).

No capítulo 3 é introduzido a noção de grandezas e unidades utilizadas para a radioproteção no mundo todo. Cada país utiliza como base as definições imposta pela International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) e a International Commission on Radiological Protection (ICRP). As grandezas aqui apresentadas são

a exposição, a dose absorvida, a dose equivalente, o Kerma e a Atividade. O Sievert é utilizado como uma unidade de medida em várias das grandezas apresentadas.

No quarto capítulo é apresentado o questionário que foi aplicado com os funcionários, além de mostrar quais os equipamentos utilizados no setor de radiologia estudado neste trabalho. O questionário é composto por 15 perguntas relacionadas ao entendimento das pessoas que ali trabalham sobre radiações e a radioproteção. As máquinas utilizadas são a máquina de tomografia, o raio X analógico, raio X móvel e o arco em C.

No capítulo 5 obteve-se as respostas de 5 funcionários que trabalham no setor de radiologia estudado nesta pesquisa, juntamente com a discussão desses dados. Algumas respostas foram curtas e objetivas, por causa do constrangimento e da desconfiança deles em responder ao questionário.

Já no capítulo 6 é apresentado o manual de radioproteção como sendo o resultado da pesquisa realizada com os funcionários desse setor de radiologia. Porém ele é apenas um esboço, pois tivemos alguns contratempos em realiza-lo de uma maneira mais completa.

Por fim, o último capítulo apresenta a conclusão obtida dos dados coletados, tendo em vista algumas observações importantes sobre as respostas.

Capítulo 1

Radiações

1.1 Contexto histórico

1.1.1 A descoberta dos Raios-X

Desde os primórdios da civilização, os cientistas se perguntavam como a terra era feita, do que nós seres humanos eramos feitos, entre muitas outras perguntas. Nos dias atuais, graças ao avanço da ciência e da tecnologia, sabemos do que somos feitos, do que a terra é formada, mas existem muitas outras perguntas a serem respondidas ainda.

Em meados do século XIX, uma das grandes perguntas de alguns físicos e químicos era: O que aconteceria se fosse aplicada uma tensão elétrica entre os eletrodos colocados em um tubo de vidro sem ar, chamado de ampola de Crookes? Esse experimento é conhecido também como tubo de raios catódicos [1].

A resposta para tal pergunta foi obtida em 1895 por Wilhelm Conrad Roentgen, professor de Física da Universidade de Wurzburg, na Alemanha. O estudo realizado por Roentgen se baseava no experimento do tubo de raios catódicos.

Raios catódicos são elétrons acelerados em uma região de alta voltagem. Dentro do tubo, existe um anteparo onde os elétrons atingem essa região. Quando ocorre a colisão com o obstáculo, boa parte da energia dos elétrons se transforma em energia térmica, mas uma pequena parte dessa energia é transformada em energia radiante. Foi essa energia radiante que Roentgen observou em seu experimento ao aplicar algumas dezenas de quilovates entre os eletrodos presentes no tubo [2], como é visto na Figura (1.1).

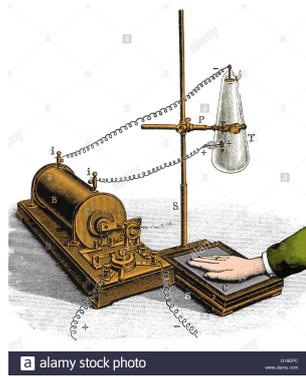


Figura 1.1: Experimento dos raios catódicos.

Roentgen resolveu então apagar as luzes do laboratório para ter uma visualização melhor. Feito isso, observou-se que um vidro coberto por uma placa de platinocianeto de bário colocada a uma certa distância do tubo apresentava uma certa luminescência. Mesmo cobrindo o vidro com um papel preto, ainda era possível observar a luminescência vista anteriormente. Uma ideia surgiu para Roentgen, onde ele colocou um livro entre o tubo e o vidro. Fazendo-se isso, ainda foi possível observar a energia radiante observada no começo do experimento. Em seguida, ele tentou colocar uma madeira, um pedaço de alumínio e até a sua mão, mas nada impedia o feixe radiante.

Esses raios descobertos por Roentgen eram muito mais potentes que os raios catódicos, pois estes raios só atravessam alguns centímetros no ar, diferente dos raios radiantes que atravessam até o corpo humano, o que denominou raios x. Tal descoberta da época revolucionou o mundo da medicina, pois foi possível observar o interior de corpos humanos a partir dos raios observados. Roentgen fez a primeira fotografia com os raios x no dia 22 de dezembro de 1895, expondo a mão direita de sua esposa a 15 minutos de interação com os raios [2]. Algum tempo depois, ele fez o seguinte relato

Quando fiz primeiramente a chocante descoberta dos raios penetrantes, o fenômeno era tão espantoso e extraordinário que eu tive que me convencer repetidamente, fazendo o mesmo experimento de novo, de novo e de novo, para ficar absolutamente certo de que os raios realmente existiam. Eu não estava consciente de nada mais além do estranho fenômeno no laboratório. Era um fato ou uma ilusão? Eu estava dilacerado entre dúvida e esperança, e não queria ter quaisquer outros pensamentos que interferissem com meus experimentos. Tentei excluir tudo o que não fosse pertinente ao trabalho de laboratório de minha mente. Qualquer interferência poderia ter me levado a falhar na criação de condições idênticas para substituir a descoberta. Fiz as observações muitas e muitas vezes antes de ser eu próprio capaz de aceitar o fenômeno. Durante esses dias de teste eu estava como em um estado de choque. [3]

Em dois meses, além da possibilidade de fotografar os ossos humanos, Roentgen conseguiu determinar várias outras propriedades dos raios X. Conforme ele descreve em seu primeiro artigo, esses raios não sofriam desvios em lentes de variados materiais, muito menos desvios ocasionados pelos ímãs (muito diferente dos raios catódicos, que sofriam desvios pelos ímãs). A polarização também não teve efeito sobre os raios X, muito menos a interferência. Por fim, Roentgen sugere que os raios por ele descoberto seriam ondas longitudinais que se propagavam no éter, meio esse que na época era muito considerado ainda pelos físicos. Antes de tal consideração, pelo fato de que os raios X tinham propriedades semelhantes a da luz, ele comparou com a luz ultravioleta [4].

Pouco tempo depois da publicação dos trabalhos de Roentgen sobre sua descoberta, vários outros físicos reproduziram os experimentos realizado por ele e obtiveram os mesmo resultados. No dia 27 de janeiro de 1896, Henri Poincaré faz um grande comentário a respeito dos estudos sobre raio X. Esses raios se formam a partir das paredes de vidro do tubo de raios catódicos onde são atingidos, gerando assim a luminescência vista nos experimentos. Poincaré então fez o seguinte comentário em seu artigo de 1896

É, portanto, o vidro que emite os raios Roentgen, e ele nos emite tornando-se fluorescente. Podemos nos perguntar se todos os corpos cuja fluorescência seja suficientemente intensa não emitiriam, além dos raios luminosos, os raios X de Roentgen, qualquer que seja a causa de sua fluorescência. Os fenômenos não seriam então associados a uma causa elétrica. Isso não é muito provável, mas é possível e, sem dúvida, fácil de verificar. [4]

1.1.2 A radioatividade

A partir da observação feita por Poincaré, Antoine Henri Becquerel (1852-1908) descobriu que alguns elementos emanavam raios espontaneamente. Na época foi utilizado um sal de urânio. Becquerel, em um primeiro experimento, colocou esse sal em uma chapa fotográfica, que foi envolta em um pano preto. Ao revelar a chapa, ele observou que a chapa ficou marcada com manchas escuras onde foi exposta ao sal de urânio [2]. Além disso, em uma carta escrita sobre o experimento realizado, enviado para a Academia de Ciência francesa, ele faz o seguinte comentário:

Com o sulfato duplo de urânio e potássio, de que possuo alguns cristais sob a forma de uma crosta transparente, fina, realizei a seguinte experiência: Envolve-se uma chapa fotográfica de Lumière em duas folhas de papel negro muito espesso, de tal forma que a chapa não se escureça mesmo exposta ao sol durante um dia. Coloca-se uma placa da substância fosforescente sobre o papel, do lado de fora, e o conjunto é exposto ao Sol durante várias horas. Quando se revela a chapa fotográfica, surge a silhueta da substância fosforescente, que aparece negra no negativo. [4]

Porém, ele continua falando sobre o experimento mas colocando-se uma moeda ou uma chapa de metal entre a substância e o papel.

Se for colocada uma moeda ou uma chapa metálica perfurada, entre a substância fosforescente e o papel, a imagem desses objetos poderá ser vista no negativo. As mesmas experiências podem ser repetidas colocando-se uma chapa fina de vidro entre a substância fosforescente e o papel; e isso exclui a possibilidade de qualquer ação química por vapores que pudessem sair da substância ao ser aquecida pelos raios do Sol. Pode-se concluir dessas experiências que a substância fosforescente em questão emite radiações que penetram um papel opaco à luz e reduzem sais de prata. [4]

O interessante a respeito desse experimento veio em seguida. Com a primeira parte encerrada, Becquerel guardou o sal de urânio junto com um filme fotográfico em uma gaveta, totalmente sem luz em seu interior. Posteriormente, quando ele revelou o filme, as manchas apareceram muito mais escuras do que no primeiro experimento. Dois anos se passaram depois disso e com os estudos realizados sobre o urânio, Becquerel percebeu que os raios emanados tinham propriedades similares aos raios X e estes raios foram inicialmente chamados de raios de Becquerel.

Em 1897 Marie Skłodowska Curie (1867-1934) iniciou seus estudos para a tese de seu doutorado, com o tema sobre os estudos dos "raios de Becquerel". O motivo da escolha da tese, na época, foi que o estudo da condutividade produzida pelos raios de urânio poderia ser feito a partir de uma aparelhagem desenvolvido pelo marido de Marie, Pierre Curie (1859-1906), e o irmão de Pierre, Jacque Curie.

Inicialmente, a tese de Marie seria voltada para os estudos já feitos sobre os raios X, mas com a utilização dos raios de urânio. Ela utilizou uma técnica elétrica ao invés do método fotográfico, onde ela cita o motivo da utilização da técnica elétrica:

Em geral, utilizou-se nesses estudos o método elétrico, quer dizer, o método que consiste em medir a condutibilidade do ar sob a influência dos raios que se estuda. Esse método possui, de fato, a vantagem de ser rápido e de fornecer números que podem ser comparados entre si [5]

Conforme a pesquisa foi caminhando, ela decidiu então mudar o rumo da pesquisa, pois ela se perguntou se não existiria mais elementos com as mesmas propriedades dos

raios de urânio. Isso ocorreu em fevereiro de 1898, quando ela estava realizando testes em algumas substâncias diferentes e fazendo a comparação com o urânio. No fim do experimento, foi observado que nenhum dos elementos demonstravam a mesma característica do urânio, ou seja, nenhum deles produzia condutividade no ar. Em seguida, ela fez um experimento com um mineral de urânio, conhecido como pechblenda ou uraninita, que produzia fenômenos parecidos com o urânio puro. Mas um fato chamou a atenção de Marie: "a corrente elétrica observada com a pechblenda era maior do que no caso do urânio metálico puro" [5]. A preocupação de Marie quanto a este fato estaria nas observações de Becquerel mostravam que a radiação do urânio metálico era maior do que a de seus compostos. No caso da pechblenda, ou Becquerel estava enganado ou o experimento feito por Marie tinha dado algo de errado. Ela repetiu inúmeras vezes o experimento e sempre obtinha os mesmos resultados.

Ela então repetiu o experimento com outros compostos do urânio e todos mostravam menor poder de radiação do que o urânio puro, menos a pechblenda. Foi este fato que fez com que Marie mudasse sua tese de doutorado. Ela começou então a investigar se existiam outros elementos com as mesmas características que a do urânio.

No dia 24 de fevereiro de 1898, Marie analisou um mineral de nióbio e tório, o qual não continha urânio. Isso aconteceu pelo seguinte motivo: a pechblenda contém outros elementos além do óxido de urânio, entre eles está o tório. Ela analisou então estes minerais, observando no primeiro que não foi detectado atividade alguma. Já no segundo, ela observou atividades parecidas com a do urânio, em todos os minerais de tório.

Foi então, a partir dessas análises, que Marie fez a suposição de que essas emissões de todos esses elementos era uma propriedade atômica. As propriedades que ela supôs foram as seguintes:

- dependia da presença de certos elementos químicos particulares;
- a intensidade da radiação dependia também da quantidade desses elementos químicos presentes nas amostras dos estudos, ou seja, ela era proporcional a quantidade do elemento;
- a radiação não era afetada por outros elementos chamados de inativos.

Foi então que em julho 1898, ela e seu marido propuseram o nome de polônio a um elemento que precisava ser descoberto. Realizando vários tipos de separações na pechblenda, foi possível identificar e comprovar o elemento por eles proposto, o qual emitia 400 vezes mais radiação do que o urânio. Um tempo depois, o casal Curie descobriu mais um elemento, ao qual chamaram de rádio.

A essas radiações emitidas e investigadas, Marie deu o nome de "*radioatividade*" que significa "ativado por uma radiação penetrante que preenche todo o espaço, para a emis-

são de radiância" [2]. Os elementos que apresentam radioatividade foram chamados de "*radioelementos*". Todo esse trabalho de investigação rendeu ao casal Curie um prêmio Nobel de Física, juntamente com Becquerel, em 1903. Além disso, Marie Curie foi agraciada também com um prêmio Nobel de Química em 1911 por seu trabalho relacionado ao elemento rádio.

No mesmo ano da descoberta dos elementos radioativos, como o polônio e o rádio, Ernest Rutherford começou seus estudos para desvendar os famosos "raios de Becquerel". Ernest era neozelandês e tinha acabado de ser contratado pela Universidade McGill em Montreal, no Canadá, por indicação de Joseph John Thomson.

Rutherford, depois de um ano de pesquisa, constatou que as radiações emanadas pelos radioelementos eram complexas, sendo necessária a constituição dessas radiações por pelo menos dois tipos: "um deles, facilmente absorvido, e o outro, muito mais penetrante, sendo ambos desviados por campos magnéticos" [2]. Hoje em dia, essas radiações são conhecidas como partículas α e β , chamadas de radiação corpusculares. Um tempo depois, Paul Villard descobriu também a radiação γ , sendo ela mais energética que as radiações corpusculares e que não sofria desvios em campos magnéticos. Foi Rutherford que identificou que a radiação γ era uma onda eletromagnética e de mesma natureza dos raios X.

Capítulo 2

Física das Radiações

No contexto da radioatividade, a radiação "é *energia em trânsito*, da mesma forma que calor é energia térmica em trânsito e vento é ar em trânsito. Portanto, radiação é uma forma de energia, emitida por uma fonte e transmitida através do vácuo, do ar ou de meios materiais." [6]. Existem dois tipos de radiações: a radiação corpuscular e a radiação eletromagnética.

Quando as radiações tem energia suficiente para arrancar um elétron de sua camada mais externa de um átomo neutro, ela é chamada de radiação ionizante, pois transforma esse átomo em um íon, direta ou indiretamente.

2.1 Radiações Corpusculares e sua interação com a matéria

Esta radiação, diferente da radiação eletromagnética, é composta por um feixe energético de partículas. Esse feixe pode ser constituído por partículas alfa, elétrons, pósitrons, múons, etc. As partículas alfa, beta e os pósitrons, são provenientes de emissões espontâneas dos núcleos atômicos de determinados elementos em busca de uma estabilidade em seu núcleo. Essa busca de estabilidade energética é conhecida como *decaimento nuclear* ou *desintegração* tendo como resultado final um novo elemento.

2.1.1 Decaimento α

O decaimento por emissão de partícula α geralmente ocorrem em elementos com número atômico alto, ou seja, com número atômico $Z \geq 83$. Existem mais de 400 radionuclídeos, entre naturais e artificiais, que emitem radiação na forma de partículas α . Além disso, Rutherford verificou que as partículas α são núcleos do Hélio. A emissão dessas

partículas pode ser representada pela seguinte reação nuclear:



sendo X o elemento pai e Y o elemento filho. Deve existir uma conservação total no decaimento alfa, ou seja, a massa, o número atômico e a energia total vão se conservar antes e depois da reação. Se o elemento pai não ficar estável mesmo depois do primeiro decaimento, ele continuará com o processo até encontrar sua estabilidade atômica.

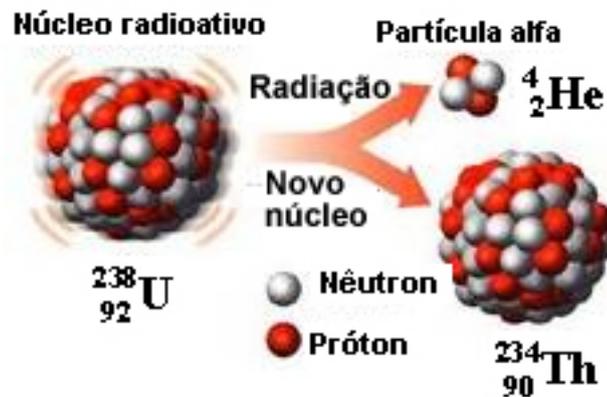


Figura 2.1: Exemplo de decaimento alfa do Urânio 238. Imagem retirada do site <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/emissao-alfa.htm>. Acessado em 20 de agosto de 2019

Podemos ver na Figura (2.1) um exemplo de emissão de partícula α . Neste caso, o Urânio 238 emite radiação α se transformando no Tório 234.

As partículas α tem um alto poder de ionização, mas são facilmente bloqueadas devido ao seu peso. Um exemplo disso é o próprio corpo humano, que bloqueia facilmente essas partículas, no caso do emissor da partícula estiver fora do corpo [6]. Mas se houver ingestão de algum radionuclídeo com emissão α , ocorre ionização dos brônquios e alvéolos pulmonares. Tal penetração no corpo humano pode ser calculada a partir da Equação(2.2)

$$\langle R \rangle = 0,318 \cdot E^{3/2}, \quad (2.2)$$

sendo $\langle R \rangle$ o valor médio do alcance, em cm , e E a energia da partícula alfa, dado em MeV [7].

Como a partícula α é uma partícula carregada a interação com a matéria acontece a partir do momento que ela penetra no material e transfere toda sua energia. A isso é dado o nome de *range* ou *alcance* [6].

2.1.2 Decaimento β

Neste tipo de decaimento observa-se a emissão espontânea de elétrons ou de pósitrons do núcleo de elementos radioativos. Os elétrons são chamados de β^- e os pósitrons, que tem a mesma massa do elétron e só diferenciando na carga, é chamado de β^+ e além disso, o pósitron é a antipartícula do elétron. Quando a partícula β^- foi detectada experimentalmente, foi analisado algumas dificuldades [6], que seriam:

- O espectro de energia da partícula β^- era contínuo, sendo diferente da energia de uma partícula α , que era monoenergética;
- Como era possível a emissão de um elétron de dentro de um núcleo, sendo que nele só existiam prótons e nêutrons?.

A respostas para a primeira dificuldade foi proposta por Wolfgang Pauli em 1930. A proposta se baseava em uma nova partícula, que foi batizada por Enrico Fermi de neutrino ν_e . Essa nova partícula carrega parte da energia no momento da desintegração, explicando assim o espectro contínuo da partícula β^- . A segunda dificuldade foi respondida por Fermi em 1934, quando ele fez a suposição de que no processo de emissão de β^- , o elétron e o antineutrino fossem criados no processo de decaimento do nêutron. Isso pode ser representado da seguinte maneira:



Na natureza são encontrados mais de 600 núcleos que emitem partículas β^- . Essa emissão tem como objetivo buscar a estabilidade do núcleo, pois neste caso existe uma falta de prótons em relação aos nêutrons existentes no núcleo. Uma reação, de modo geral, desse tipo de decaimento é representado pela equação (2.4)



A Equação (2.4) pode ser representada também pela Figura (2.2)

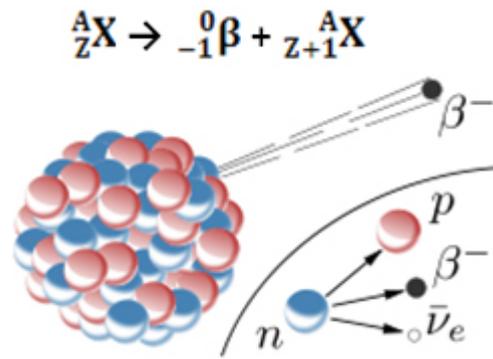


Figura 2.2: Exemplo de uma emissão de partícula β^- . Imagem retirada do site <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/emissao-beta.htm>. Acessado em 20 de agosto de 2019.

A equação (2.4) pode ser representado a partir do decaimento β^- no elemento Carbono-14 (C) que se transforma no elemento filho Nitrogênio-14 (N). A equação para esse decaimento, utilizando a equação (2.4), pode ser observada na Figura (2.3).

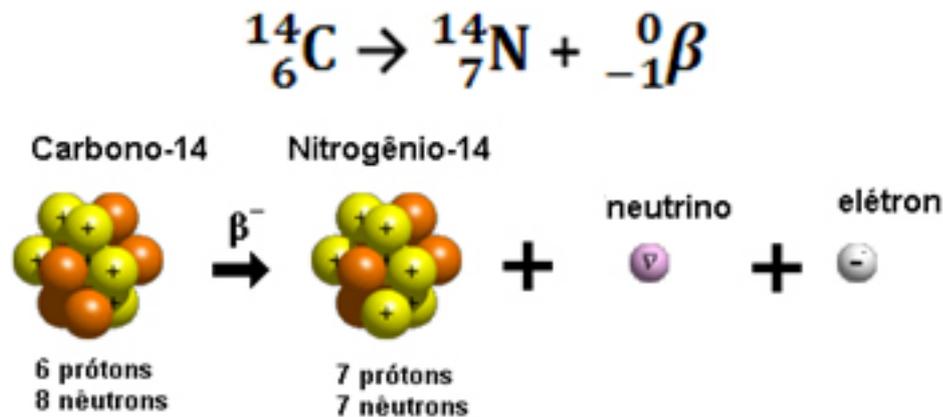


Figura 2.3: Exemplo de decaimento β^- do elemento instável Carbono-14 para o Nitrogênio-14, que é estável. Imagem retirada do site <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/emissao-beta.htm>. Acessado em 20 de agosto de 2019

Já na emissão de β^+ , um próton decai em um nêutron junto com um e^+ e um ν_e , sendo esses dois últimos ejetados pelo núcleo. Tudo isso pode ser representado como se segue:

$$p \rightarrow n + e^+ + \nu_e. \quad (2.5)$$

Para os mais de 800 núcleos que emitem β^+ , ocorre a busca da estabilidade do núcleo que tem "excesso de prótons em relação ao número de nêutrons" [6]. Em outros termos, vai manifestar-se então o decaimento de um próton do núcleo instável, sendo representado

pela equação(2.6)

$$X_Z^A \rightarrow Y_{Z-1}^A + \beta_1^{+0} + \nu_{e0}^0. \quad (2.6)$$

A partícula β interage com a matéria da mesma forma que a partícula α , pois é também uma partícula carregada. Dessa forma ela penetra no material até transferir toda sua energia [6].

2.2 Radiações Eletromagnéticas

As radiações eletromagnéticas são compostas por campos elétricos e magnéticos, perpendiculares entre eles e tem uma energia quantizada, ou seja, a energia de uma radiação eletromagnética só pode assumir valores discretos de energia. Isso foi proposto por Albert Einstein que se baseou na quantização proposta por Max Planck e a energia pode ser mostrada como se segue na equação abaixo

$$E = h\nu = h\frac{c}{\lambda}. \quad (2.7)$$

A equação (2.7) nos diz que a energia de uma radiação eletromagnética é diretamente proporcional a sua frequência ν , sendo h a constante de Planck e que vale $6,663 \times 10^{-34} J \cdot s \cong 4,14 \times 10^{-15} eV \cdot s$ e c a velocidade da luz no vácuo igual a $3 \times 10^8 m \cdot s^{-1}$. Para um fóton de $500nm$ a sua energia, em joules, é muito pequena, então é utilizado a equivalência com o elétron-volt. Como a energia depende da frequência da radiação, teremos então uma faixa de energia para cada frequência conhecida. Isso pode ser demonstrado no espectro da radiação eletromagnética, mostrado na Figura (2.4)



Figura 2.4: Espectro da radiação eletromagnética. Imagem retirada do site <http://labcisico.blogspot.com/2013/03/o-espectro-eletromagnetico-na-natureza.html>. Acessado em 10 de setembro de 2019.

Quando uma radiação eletromagnética incide em algum corpo imerso no ar, parte da intensidade da radiação pode ser transmitida através do corpo e outra parte pode ser refletida na região ar-pele. Lembrando que intensidade de uma onda é "a quantidade de energia propagada por unidade de área e tempo, expressa em W/m^2 ". Além disso, os coeficientes de reflexão e transmissão dependem da frequência ν da radiação eletromagnética e do meio onde a radiação inside. A intensidade das radiações monocromáticas, considerando o número de fótons N , é dado por

$$I = \frac{E}{At} = \frac{Nh\nu}{At}, \quad (2.8)$$

sendo E a energia do fóton, A a área onde a radiação inside e t o tempo de incidência.

Existem três principais modos em que a radiação eletromagnética interage com a matéria. Eles são o efeito fotoelétrico, o efeito Compton e a produção de pares.

2.2.1 Radiação gama (γ)

Dentro do espectro eletromagnético, existe a **radiação gama** (γ), sendo sua frequência observada a partir da Figura (2.4). Essa radiação é uma onda eletromagnética muito penetrante e de alto valor energético. Elas podem interagir com a matéria a partir do efeito Compton ou produção de pares e o efeito fotoelétrico. Na Figura (2.5) podemos observar um esquema da radiação gama.



Figura 2.5: Esquemática de uma radiação gama. Imagem retirada do site <https://www.youtube.com/watch?v=5Ioag1IEKnE>. Acessado em 20 de setembro de 2019.

Em suma, tal radiação ocorre quando um núcleo ainda permanece excitado logo após um decaimento α ou β , emitindo assim um fóton. Esse fóton é chamado então de raio gama (γ) e possui energia $h\nu$, sendo essa a diferença entre dois níveis de energia nuclear. O núcleo não sofre modificação, sendo seu estado final o seu estado fundamental. A reação do decaimento γ é:



onde X_Z^{*A} é o núcleo no estado excitado. O decaimento gama ocorre entre $10^{-15} s$ a $10^{-9} s$.

2.2.2 Radiação de freamento (Bremsstrahlung)

Quando um elétron de alta velocidade, passando por um núcleo de um átomo com alto valor de Z , sofre uma mudança em sua direção devido ao campo coulombiano do núcleo [8], conforme a esquematização apresentada na Figura (2.6).

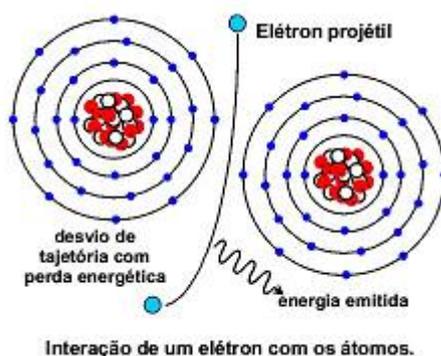


Figura 2.6: Exemplo de uma interação de um elétron com átomos [9].

O resultado final dessa interação é energia na forma de fótons de raios X. Isso ocorre devida a perda parcial da energia cinética do elétron, sendo emitidos fótons de baixa e alta energia com comprimentos de ondas diferentes [9], tendo um espectro contínuo. Tal processo é conhecido como *bremsstrahlung* ou **radiação de freamento**.

Segundo [9], os fótons obtidos pela radiação de freamento, em sua maioria, possuem um espectro contínuo, desde baixas energia até energia equivalente a diferença de potencial aplicada ao tubo onde os raios X são criados. Isso acaba sendo muito prejudicial para o paciente, pois esses interagem com os tecidos vivos. Além disso, eles não contribuem para a formação da imagem radiográfica.

Capítulo 3

Grandezas e Unidades

Quando Röntgen descobriu os raios X, e um pouco depois a radioatividade descoberta por Becquerel, muitas pessoas utilizavam essas descobertas para tirarem radiografias de tudo que era possível, muitas vezes por curiosidade, de uma maneira desenfreada. Muitas e muitas "fábricas" de tubos de raios X foram criadas sem terem noção da segurança do local e muito menos o que esses raios poderiam causar para o ser humano e a maioria dessas fábricas eram feitas no fundo de quintais ou em garagens. Logo os pesquisadores perceberam que essas descobertas poderiam ser de grande ajuda, porém era muito perigosa para o ser humano. Passou-se então mais de 30 anos desde a descoberta dos raios X e da radioatividade até que foi criada uma comissão para tratar sobre essas radiações, principalmente sobre o desenvolvimento de equipamentos, como fazer as medições das radiações e os cuidados sobre o manuseio ao trabalhar com elas.

A primeira comissão a surgir foi a **International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU)** no ano de 1925, no Primeiro Congresso de Radiologia realizado em Londres. A finalidade dessa comissão era a de estabelecer grandezas e unidades da Física das Radiações, critérios de medidas e efetuar sua divulgação. Em 1928, aconteceu a criação da segunda comissão internacional, conhecida como **International Commission on Radiological Protection (ICRP)** tendo como objetivo a criação de normas para a proteção radiológica e "estabelecer limites de exposição à radiação ionizante para **indivíduo ocupacionalmente exposto (IOE)**" [6].

Com isso, as grandezas de Física das Radiações foram divididas em três principais categorias: *grandezas físicas*, *grandezas de proteção* e *grandezas operacionais*.

3.1 Grandezas Físicas

Vamos então começar pelas grandezas físicas, o qual pode ser discutida em três partes: exposição, dose absorvida e kerma. Além disso, iremos falar da grandeza Atividade e Dose

equivalente.

3.1.1 Exposição

Essa grandeza foi a primeira para as radiações, sendo introduzida em 1928 e tendo seus pontos desconhecidos finalizados em 1962. Ela é simbolizada como "X", sendo definida apenas para os fótons e a radiação γ que interagem no ar. Em geral, essa grandeza "mede a quantidade de cargas elétricas de mesmo sinal produzida no ar, por unidade de massa do ar" [6]. Podemos então definir, matematicamente, a exposição como sendo

$$X = \frac{dQ}{dm}, \quad (3.1)$$

onde dQ é a carga total dos íons de mesmo sinal produzidos no ar, num elemento de volume de ar cuja massa é dm .

Na época que foi determinada essa grandeza, ela foi definida como **rontgen**, tendo primeiramente o simbolo r e posteriormente alterada para R . Atualmente, no SI, ela é definida como C/Kg_{ar} , de tal modo que

$$1R = 2,58 \times 10^{-4} \frac{C}{Kg_{ar}}, \quad (3.2)$$

ou

$$1 \frac{C}{Kg_{ar}} = 3,876R \quad (3.3)$$

Está grandeza é utilizada apenas para os raios X e γ e apenas para o meio ar. Ela também é indefinida para feixes de fótons que tem energia acima de $3MeV$.

3.1.2 Dose absorvida

No ano de 1950, teve a necessidade, com o avanço de tratamento de tumores com as radiações, de se saber "a quantidade de energia a ser fornecida ao tumor para matar células malignas" [6]. Para isso, foi introduzido a grandeza conhecida como **dose absorvida** D . Ela relaciona a energia de radiação absorvida juntamente aos danos biológicos causado por tal radiação. Matematicamente falando, ela é definida como

$$D = \frac{dE_{ab}}{dm}, \quad (3.4)$$

onde dE_{ab} é a energia média que a radiação deposita em um volume de massa dm .

No início, sua unidade foi definida como *radiation absorbed dose(rad)*, sendo

$$1rad = 10^{-2} \frac{J}{Kg}. \quad (3.5)$$

Em 1975 a unidade da *dose absorvida* foi alterada para o *gray(Gy)* no SI, sendo

$$1Gy = 100rad = 1 \frac{J}{Kg}. \quad (3.6)$$

Hoje em dia, principalmente na radioterapia, é utilizado a unidade *centigray(cGy)* ($1cGy = 1rad$) pois "o valor numérico continua a ser o mesmo da época em que a dose de radioterapia era prescrita em rad" [6].

3.1.3 Dose equivalente

Dependendo do tipo de radiação, o efeito biológico no ser humano pode ser maior ou menor. Para isso, foi introduzida a grandeza *dose absorvida* em 1962. Isso se deve ao fato de que quanto maior a ionização de partículas produzidas por unidade de comprimento, maior será o dano biológico. Essa grandeza é de grande importância para a proteção radiológica, pois leva em conta o dano biológico.

Segundo [10], a dose equivalente pode ser definida como "a dose absorvida multiplicada por um coeficiente de peso, que dependerá do tipo da radiação incidente, pois o número de ionizações produzidas por unidade de comprimento durante o trajeto varia para cada tipo de radiação". Matematicamente falando, temos que:

$$H = D \cdot W_r \quad (3.7)$$

no qual H é a dose equivalente, D é a dose absorvida e W_r é o coeficiente de peso (esse coeficiente depende do tipo de radiação incidente).

Tabela 3.1: Coeficientes de peso (W_r) para os vários tipos de radiação [11].

Feixe de radiação ionizante		Coeficiente de peso daradiação incidente (W_r)
Fótons, todas as energias		1
Elétrons e múons, de todas as energias		1
Nêutrons	Energia abaixo de $10keV$	5
	$10keV$ a $100keV$	10
	$100keV$ a $2MeV$	20
	$2MeV$ a $20MeV$	10
	Maior do que $20MeV$	5
Prótons com energia acima de $2MeV$ (excetuando próton de recuo)		5
Partículas alfa, fragmentos de fissão, núcleos pesados		20

Sievert

A unidade de medida **sievert** é muito importante para a radioproteção, pois ela é uma medida dos efeitos que os baixos níveis de radiação ionizante podem produzir no organismo humano. Ela é representada pelo símbolo Sv , mas normalmente são utilizados os prefixos milisievert (mSv) e o microsievert (μSv) [12]. Essa unidade leva o nome do físico médico sueco Rolf Maximilian Sievert.

Para entendermos melhor essa unidade, utilizaremos como exemplo o acidente na usina nuclear de Fukushima no dia 11 de março de 2011. No dia 15 de março de 2011, segundo foi reportado, foi feita uma medição de uma alta dose de radiação de $400mSv$ por hora na área da unidade 3 da usina [13]. Já no portão frontal da central nuclear, foi feita uma medição de $11,93\mu Sv$ por hora.

Assim se uma pessoa ficar uma hora no ambiente, irá receber um total de $11,93\mu Sv$. Porém esse valor é o máximo, o que significa que a dose permanece abaixo desse valor [13].

O limite de dose anual, que é a quantidade máxima de exposição a radiação recomendada pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP), é de $1mSv(1000\mu Sv)$ para o público e de $20mSv$ para os trabalhadores levando em conta a média de 5 anos. Lembrando que esses valores não inclui a exposição à radiação natural ou médica.

3.1.4 Kerma

O kerma (Kinetic Energy Released per unit of Mass) possui a mesma unidade que a dose absorvida, ou seja, o *gray*. Muitas vezes o kerma é utilizado como dose absorvida, pois é numericamente igual a dose absorvida, principalmente para fótons com energia abaixo de $1MeV$ [6].

Podemos então definir essa grandeza como o seguinte quociente:

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm} \quad (3.8)$$

onde dE_{tr} é a energia transferida ao meio [6] e dm é o elemento de volume de massa. A diferença entre o kerma e a dose absorvida é que o primeiro acontece no ponto de interação do fóton e o segundo ocorre ao longo da trajetória do elétron.

3.1.5 Atividade (A)

A grandeza *Atividade (A)* é definida como o "quociente dN/dt , de uma quantidade de núcleos radioativos num estado de energia particular, onde dN é o valor esperado do número de transições nucleares espontâneas deste estado de energia no intervalo de tempo dt " [7].

Em suma, podemos definir essa grandeza da seguinte forma:

$$A = \frac{dN}{dt}. \quad (3.9)$$

Sendo dN a quantidade de radionuclídeos e dt o tempo de atividade desses radionuclídeos. A unidade utilizada é o becquerel(Bq), mas antigamente era utilizado o curie(Ci) e até hoje ainda é utilizada em certas situações.

Capítulo 4

Materiais e Métodos

Neste trabalho utilizamos um questionário com os funcionários, ao todo 5, do setor de radiologia estudado com o intuito de identificar o conhecimento deles sobre os riscos das radiações e a necessidade de uma radioproteção adequada no ambiente de trabalho [14] está sendo minimamente seguida. O questionário utilizado nesse trabalho se encontra no Anexo A.

4.1 Máquinas de Raios-X

Nesta seção, serão apresentados alguns aparelhos utilizados por todos os funcionários entrevistados. Os 5 funcionários entrevistados utilizam os mesmos equipamentos, que são o tomografo, o arco em C, a máquina de raio x Analógico e a máquina de raio x portátil. Vamos então conhecer algumas dessas máquinas.

4.1.1 Como são criados os raios-X nas máquinas atuais

Os raios X são produzidos no que chamamos de **tubo de raios X**. Este tubo consiste em uma ampola de metal ou vidro, em vácuo, contendo um alvo de tungstênio em sua extremidade conhecida como ânodo [15]. Na outra extremidade existe o cátodo que produz uma grande quantidade de elétrons que são acelerados para bombardear o ânodo com uma alta energia cinética. Um exemplo de um tubo de raio x pode ser visto na Figura (4.1).

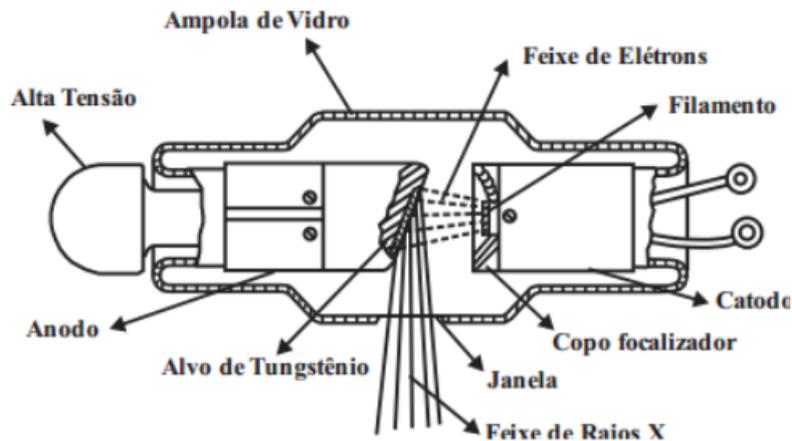


Figura 4.1: Um exemplo de um tubo de raio X. Foto retirada do site <http://radiologiaconcurso.blogspot.com/2017/12/o-que-ocorre-dentro-de-uma-ampola-de.html>.

O cátodo fica dentro de uma cavidade chamada **copo focalizador**. O cátodo é aquecido pela passagem de corrente em seu filamento, logo ele emite elétrons por emissão termiônica. Quanto maior a corrente, maior a emissão de elétrons pelo cátodo, assim maior será a emissão de raios X.

A função do copo focalizador é a de direcionar essa corrente de elétrons para um alvo fixo, ou seja, para o ânodo. Para essa área fixa, denomina-se como **ponto focal**. Para pontos focais menores, melhor será a resolução da imagem, por outro lado, o desgaste do ânodo será maior.

Os tubos podem conter dois tipos de ânodos: giratórios ou estacionários. Além disso, o ânodo deve ser de material com boa condutividade térmica, alto número atômico e alto ponto de fusão.

Para máquinas de baixa correntes são utilizados os ânodos fixos, como em máquinas de raios X portátil ou dentário. No outro caso, para máquinas de alta corrente, são utilizados os ânodos giratórios. Esses ânodos são utilizados em máquinas de radiodiagnóstico.

Como visto na 4.1, existem outros componentes no tubo de raio X como a ampola de vidro ou metal, o suporte e o cabeçote protetor. A ampola de vidro tem como objetivo proporcionar o isolamento térmico e elétrico entre as extremidades onde ficam o ânodo e o cátodo [15]

Como os raios X podem ser emitidos em todas as direções, o tubo é colocado dentro do cabeçote protetor que é revestido de chumbo. Por fim, todo esse conjunto de ampola, cabeçote e tubo de raios X são colocados em um mecanismo ao qual permite o posicionamento adequado para a realização dos exames.

4.1.2 Máquina de Tomografia

Segundo o dicionário da língua portuguesa [16], a tomografia tem a seguinte definição:

1. qualquer exame radiológico que permita visualizar as estruturas anatômicas na forma de cortes.
 - em sentido restrito, que utiliza raios X e filmes radiográficos.
 - em sentido amplo, inclui a tomografia por emissão de pósitrons, a tomodensitometria, a tomocintigrafia e a ecotomografia.
2. imagem obtida por qualquer dos processos anteriormente descritos.

Com a definição de um exame de tomografia em mente, podemos então tomar um exemplo desse exame. A Figura (4.2), retirada do site <https://pt.freeimages.com/premium/cranial-tomography-image-of-child-patient-632046>, mostra a tomografia feita em um crânio de uma criança.

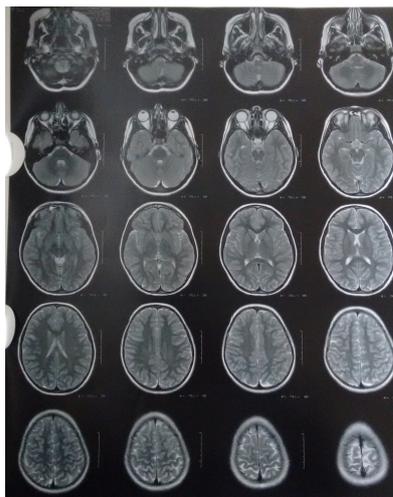


Figura 4.2: Exemplo de um exame por tomografia de crânio.

Esse tipo de imagem pode ser obtida a partir de uma máquina de Tomografia. Um exemplo é a SIEMENS SOMATOM Spirit, que pode ser vista na Figura (4.3).



Figura 4.3: Exemplo de uma máquina de tomografia. Imagem retirada do site <https://www.siemens-healthineers.com/br/computed-tomography/single-source-ct/somatom-spirit>. Acessado em 20 de outubro de 2019.

Segundo [17], a tomografia é indicada para os seguintes casos:

- Diagnosticar distúrbios musculares e ósseos, como tumores ósseos e fraturas Identificar a localização de um tumor, infecção ou coágulo sanguíneo
- Orientar procedimentos como cirurgia, biópsia e radioterapia
- Detectar e monitorar doenças e condições como câncer, doenças cardíacas, nódulos pulmonares e massas hepáticas
- Monitorar a eficácia de certos tratamentos, como o tratamento do câncer
- Detectar ferimentos internos e sangramento interno.

4.1.3 Raio-X Analógico

Esta máquina é utilizada em alguns procedimentos nas áreas de traumatologia e para a ortopedia, tanto adulta quanto pediátrica. Podemos ver na Figura (4.4) um exemplo de aparelho de raio X analógico.



Figura 4.4: Exmplo de um aparelho de raio X analógico. Imagem retirada do site <https://diagrad.com.br/noticias/componentes-do-aparelho-de-raiox-como-ele-funciona/>. Acessado em 20 de outubro de 2019.

4.1.4 Raio-X móvel

A princípio, os pacientes são levados de macas até a máquina de raio x analógico do setor de radiologia, ou são atendidos individualmente por ordem de chegada, quando não estão internados. Porém existem casos onde os pacientes que estão internados não podem sair do quarto por indicação do médico ou o médico solicita um raio x no leito. Para esse tipo de procedimento é utilizado o equipamento de raio x móvel. Como por exemplo o Mobile Art Evolution da SHIMADZU, que pode ser visto na Figura (4.5)



Figura 4.5: Exemplo de um raio X móvel. Imagem retirada do site <https://www.medicalexpo.com/pt/prod/shimadzu-europe-medical-systems/product-94641-835928.html>. Acessado em 20 de outubro de 2019.

Capítulo 5

Resultados e Discussão

A partir das perguntas do Capítulo Materiais e Métodos, podemos ter uma noção do conhecimento dos funcionários sobre a área de atuação deles e principalmente sobre o conhecimento deles a respeito da radio proteção. Por questões de ética, todos os funcionários serão chamados por nomes genéricos.

5.1 Respostas ao questionários

5.1.1 Funcionário 1

1. Você conhece os tipos de radiações e seus benefícios/malefícios?

R: Sim, conheço a maioria das radiações, principalmente a radiação α , β e γ , assim como seus benefícios e malefícios.

2. Você conhece os tipos de proteções contra as radiações?

R: Sim, principalmente o chumbo, que é muito utilizado.

3. Você fez algum tipo de treinamento?

R: Quando eu fiz o curso técnico de radiologia.

4. Alguma vez você já ficou exposto a radiação mais do que o tempo permitido?

R: Não me recordo de ter acontecido isso alguma vez.

5. Você conhece as medidas de proteções utilizadas pelo Comissão Nacional de Energia Nuclear(CNEN) ou pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária(Anvisa)?

R: Não lembro completamente das normas, mas lembro do básico.

6. Você conhece o dosímetro? Você o utiliza?

R: Sim, conheço e também utilizo ele no dia a dia.

7. Você conhece as unidades de medidas das radiações? Qual você conhece? Quais são utilizadas durante a operação das máquinas?

R: Algumas sim. Conheço a mSv e o Roentgen.

8. Qual tipo de equipamento radiológico você utiliza nos procedimentos diários?

R: Eu utilizo o tomografo, o arco em C no centro cirúrgico, raio-X analógico e o portátil.

9. Qual a média de pacientes que você atende por dia? E qual a sua carga horária de trabalho?

R: Eu atendo em torno de 10 a 30 pacientes por dia. Minha carga horária de trabalho é de 4 horas por dia.

10. Qual a dose diária de radiação que você recebe?

R: Não sei exatamente, pois depende do relatório do dosímetro.

11. Alguma vez você precisou segurar algum paciente durante o procedimento do exame?

R: Sim, várias vezes.

12. A quanto tempo você trabalha na área?

R: Trabalho há mais ou menos 10 anos.

13. Quando começou a trabalhar, sentiu alguma dificuldade com o equipamento? o treinamento foi o suficiente?

R: Sim, no começo foi um pouco difícil, pois o curso acaba não sendo suficiente.

14. Existe algum manual de radio proteção onde trabalha?

R: Não sei te dizer.

15. Alguma vez você já participou de alguma palestra/treinamento sobre radio proteção? Se sim, qual?

R: Eu não me lembro.

5.1.2 Funcionário 2

1. Você conhece os tipos de radiações e seus benefícios/malefícios?

R: Conheço sim, principalmente as radiações ionizantes que são utilizados aqui na radiologia.

2. Você conhece os tipos de proteções contra as radiações?
R: Sim, conheço quase todas.
3. Você fez algum tipo de treinamento?
R: Sim, mas não me recordo do ano.
4. Alguma vez você já ficou exposto a radiação mais do que o tempo permitido?
R: Não.
5. Você conhece as medidas de proteções utilizadas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear(CNEN) ou pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária(Anvisa)?
R: Conheço sim.
6. Você conhece o dosímetro? Você o utiliza?
R: Sim, conheço e utilizo ele.
7. Você conhece as unidades de medidas das radiações? Qual você conhece? Quais são utilizadas durante a operação das máquinas?
R: A maioria eu conheço. Tenho conhecimento das principais que são utilizadas.
8. Qual tipo de equipamento radiológico você utiliza nos procedimentos diários?
R: Utilizo o raio-x analógico, o tomografo e o arco em C que é utilizado no centro cirúrgico.
9. Qual a média de pacientes que você atende por dia? E qual a sua carga horária de trabalho?
R: Eu atendo uma média de 20 pacientes por dia. Minha carga horária é de 4 horas diárias.
10. Qual a dose diária de radiação que você recebe?
R: Não sei dizer, pois depende do relatório do dosímetro.
11. Alguma vez você precisou segurar algum paciente durante o procedimento do exame?
R: Sim, muitas e muitas vezes.
12. A quanto tempo você trabalha na área?
R: Trabalho há 29 anos.

13. Quando começou a trabalhar, sentiu alguma dificuldade com o equipamento? o treinamento foi o suficiente?

R: Nenhuma dificuldade, pois o treinamento foi suficiente.

14. Existe algum manual de radio proteção onde trabalha?

R: Existe sim, mas não me lembro onde está.

15. Alguma vez você já participou de alguma palestra/treinamento sobre radio proteção? Se sim, qual?

R: Participei sim, mas não me recordo do nome pois já faz uns 3 anos que participei.

5.1.3 Funcionário 3

1. Você conhece os tipos de radiações e seus benefícios/malefícios?

R: Sim.

2. Você conhece os tipos de proteções contra as radiações?

R: Sim

3. Você fez algum tipo de treinamento?

R: Apenas quando fiz o curso de técnico em radiologia.

4. Alguma vez você já ficou exposto a radiação mais do que o tempo permitido?

R: Não.

5. Você conhece as medidas de proteções utilizadas pelo Comissão Nacional de Energia Nuclear(CNEN) ou pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária(Anvisa)?

R: Sim.

6. Você conhece o dosímetro? Você o utiliza?

R: Conheço sim e também utilizo ele todos os dias.

7. Você conhece as unidades de medidas das radiações? Qual você conhece? Quais são utilizadas durante a operação das máquinas?

R: Conheço a maioria. No ambiente de trabalho é utilizado a mSv.

8. Qual tipo de equipamento radiológico você utiliza nos procedimentos diários?

R: Utilizo o raio-x analógico e o móvel, o tomografo e o arco em C.

9. Qual a média de pacientes que você atende por dia? E qual a sua carga horária de trabalho?

R: Uma média de 20 pacientes por dia. Trabalho 4 horas diárias.

10. Qual a dose diária de radiação que você recebe?

R: Eu espero que seja zero, mas teria que ver no relatório do dosímetro.

11. Alguma vez você precisou segurar algum paciente durante o procedimento do exame?

R: Sim, muitas vezes.

12. A quanto tempo você trabalha na área?

R: Trabalho há 4 meses.

13. Quando começou a trabalhar, sentiu alguma dificuldade com o equipamento? o treinamento foi o suficiente?

R: Não senti nenhuma dificuldade. O treinamento foi suficiente.

14. Existe algum manual de radio proteção onde trabalha?

R: Não sei se existe aqui no local de serviço.

15. Alguma vez você já participou de alguma palestra/treinamento sobre radio proteção? Se sim, qual?

R: Não, apenas quando estudava.

5.1.4 Funcionário 4

1. Você conhece os tipos de radiações e seus benefícios/malefícios?

R: Sim, conheço todos os tipo, principalmente a radiação ionizante e principalmente seus benefícios e malefícios que causam no ser humano.

2. Você conhece os tipos de proteções contra as radiações?

R: Com toda certeza. Posso citar o chumbo, paredes grossas de concreto, entre outros tipos de proteção.

3. Você fez algum tipo de treinamento?

R: Sim, o de técnico em radiologia.

4. Alguma vez você já ficou exposto a radiação mais do que o tempo permitido?

R: Nunca.

5. Você conhece as medidas de proteções utilizadas pelo Comissão Nacional de Energia Nuclear(CNEN) ou pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária(Anvisa)?

R: Sim.

6. Você conhece o dosímetro? Você o utiliza?

R: Sim e também utilizo ele todos os dias.

7. Você conhece as unidades de medidas das radiações? Qual você conhece? Quais são utilizadas durante a operação das máquinas?

R: Conheço, mas não me recordo delas agora.

8. Qual tipo de equipamento radiológico você utiliza nos procedimentos diários?

R: Utilizo o raio-x analógico e o móvel, o tomografo e o arco em C.

9. Qual a média de pacientes que você atende por dia? E qual a sua carga horária de trabalho?

R: Eu atendo mais ou menos 60 pacientes por dia. Minha carga horária de serviço são de 8 horas por dia.

10. Qual a dose diária de radiação que você recebe?

R: Não sei, pois depende do dosímetro.

11. Alguma vez você precisou segurar algum paciente durante o procedimento do exame?

R: Sim, muitas e muitas vezes.

12. A quanto tempo você trabalha na área?

R: Trabalho há 2 anos.

13. Quando começou a trabalhar, sentiu alguma dificuldade com o equipamento? O treinamento foi o suficiente?

R: Não tive nenhuma dificuldade, o treinamento foi necessário.

14. Existe algum manual de radio proteção onde trabalha?

R: Não me recordo.

15. Alguma vez você já participou de alguma palestra/treinamento sobre radio proteção? Se sim, qual?

R: Participei sim, porém não me lembro qual foi e nem quando.

5.1.5 Funcionário 5

1. Você conhece os tipos de radiações e seus benefícios/malefícios?

R: Sim.

2. Você conhece os tipos de proteções contra as radiações?

R: Sim.

3. Você fez algum tipo de treinamento?

R: Sim, apenas o de técnico em radiologia.

4. Alguma vez você já ficou exposto a radiação mais do que o tempo permitido?

R: Sim, mas estava usando proteção.

5. Você conhece as medidas de proteções utilizadas pelo Comissão Nacional de Energia Nuclear(CNEN) ou pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária(Anvisa)?

R: Sim.

6. Você conhece o dosímetro? Você o utiliza?

R: Sim, mas nem sempre uso.

7. Você conhece as unidades de medidas das radiações? Qual você conhece? Quais são utilizadas durante a operação das máquinas?

R: Sim.

8. Qual tipo de equipamento radiológico você utiliza nos procedimentos diários?

R: Raio-x, tomografia, arco em C e raio-x móvel.

9. Qual a média de pacientes que você atende por dia? E qual a sua carga horária de trabalho?

R: De 30 a 40 no total do plantão.

10. Qual a dose diária de radiação que você recebe?

R: Não sei.

11. Alguma vez você precisou segurar algum paciente durante o procedimento do exame?

R: Sim, muitas vezes.

12. A quanto tempo você trabalha na área?

R: Quatro anos.

13. Quando começou a trabalhar, sentiu alguma dificuldade com o equipamento? o treinamento foi o suficiente?

R: Não tive dificuldades quando comecei a trabalhar, porém não tive treinamento.

14. Existe algum manual de radio proteção onde trabalha?

R: Não.

15. Alguma vez você já participou de alguma palestra/treinamento sobre radio proteção? Se sim, qual?

R: Não me lembro.

5.2 Discussão

Todos os funcionários souberam dizer o que é um dosímetro e o que ele faz, porém nem todos o utilizam diariamente. Todos também disseram conhecer as unidades de medidas das radiações utilizadas durante a operação das máquinas. Por outro lado eles desconhecem a quantidade de dose diária recebida, argumentando que havia a necessidade de observar o relatório mensal.

Segundo relato dos funcionários, muitas vezes eles tiveram que segurar algum paciente para o procedimento dos exames.

O tempo de trabalho e a dificuldade que sentiu quando começou a trabalhar também é uma importante análise a se fazer, pois boa parte dos funcionários disseram que o treinamento não foi suficiente e outros sim.

A maioria dos funcionários não conhecem ou nunca viram um manual de radioproteção no ambiente de trabalho. Além disso, pelo questionário pode-se verificar que os funcionários não recebem treinamentos periódicos de radioproteção e que o único conhecimento sobre o assunto advém do curso de radiologia. Essa última observação sobre os treinamentos é muito crucial para essa pesquisa, pois segundo a portaria 453 da ANVISA [14] é obrigatório o treinamento dos funcionários a respeito da radioproteção e das operações do maquinário.

Por fim, algumas perguntas não foram respondidas de maneira completa, pois não insisti para não constrange-los, ainda mais do que já estavam.

Capítulo 6

Manual de radioproteção para a clínica de radiologia

A partir dos conceitos básicos sobre radiação, radioproteção, sobre as unidades de medidas e os dados coletados do setor de radiologia, vamos então tentar fazer um pequeno esboço de um manual de radioproteção.

Primeiramente, devemos ter em mente alguns princípios sobre a proteção radiológica como o **princípio da justificativa**, **princípio da otimização** e o **princípio da limitação de dose**. Esses itens são os mínimos exigidos pela portaria 453 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) [14]. Dessa forma, iremos abordar cada princípio nos tópicos a seguir.

6.1 Princípios da radioproteção

6.1.1 Princípio da justificativa

Os raios X devem ser utilizados de tal forma a evitar a exposição desnecessária. Assim, todos os exames radiológicos devem ser devidamente *justificados*, pois é necessário levar-se em conta os benefícios advindos [18].

Essa justificativa deve ser feita também visando a necessidade das devidas características das pessoas envolvidas e da exposição. De fato isso fica explícito nas normas nacionais:

Fica proibida toda a exposição deliberada de seres humanos às radiações ionizantes com o objetivo único de demonstração, treinamento ou outros fins que contrariem o princípio da justificativa [18].

6.1.2 Princípio da otimização

Para os efeitos estocásticos, não existe um limiar real de dose. Isso foi comprovado através de estudos epidemiológicos e radiobiológicos em baixas doses [7]. Assim, toda a exposição envolve um certo risco. Dessa forma, o *princípio da otimização* nos diz que todas as exposições devem ser mantidas tão baixas quanto razoavelmente exequíveis (ALARA: *As Low As Reasonably Achievable*) [7].

Além disso, esse princípio é aplicado a todos os tipos de atividades que envolvam radiações ionizantes. Alguns exemplos da aplicação desse princípio podem ser observados a seguir:

- Utilização de filtros de compensação;
- Com a colimação, reduz-se a dose no paciente, a radiação espalhada e otimiza o contraste;
- A combinação de filmes mais rápidos na radiologia pediátrica evita o borramento da imagem além de reduzir as linhas da grade do filme;
- Quando a compressão mamária é utilizada de uma maneira correta na mamografia aumenta-se o contraste e a dose é reduzida.

Por outro lado, existem várias outras formas do não emprego do princípio da otimização. Por exemplo, quando o exame é repetido várias vezes por uma escolha errada da técnica. A falta de limpeza dos equipamentos também pode ser considerado como o não emprego desse princípio, pois sem a limpeza dos equipamentos existe a possibilidade de uma exposição desnecessária de doses de radiação.

6.1.3 Princípio da limitação de dose

Existe um certo limite anual para as doses absorvidas por uma pessoa. Porém ela é diferente para trabalhadores da área em relação ao paciente. Desse modo, o princípio da limitação de dose só se aplica para os trabalhadores ocupacionalmente expostos.

Na 6.1 são mostrados alguns dos limites de doses para os trabalhadores da área e para o público [10].

Segundo a norma da CNEN [11], mulheres grávidas ocupacionalmente expostas não devem ficar expostas de tal forma que o feto não receba uma dose efetiva superior a 1 mSv até o fim da gestação. Além disso, não é permitido que menores de 18 anos sejam expostos a doses ocupacionais.

Tais limites de doses não se aplicam para pessoas que acompanham pacientes. Para esse tipo de público, a CNEN [11] indica que seja impossível eles receberem uma dose

Tabela 6.1: Limites de doses anuais para indivíduos ocupacionalmente expostos (IOEs) e para o público [11].

Grandeza	Órgão	IOEs	Público
Dose efetiva	Corpo inteiro	20 mSv	1 mSv
Dose equivalente	Cristalino	20 mSv	15 mSv
	Pele	500 mSv	50 mSv
	Mãos e pés	500 mSv	--

maior que 5 mSv durante todo o tempo que o paciente realiza o exame radiológico ou o tratamento.

6.2 Meios de proteções radiológicas

Para se reduzir os efeitos insalubres da radiação ionizante nos trabalhadores ocupacionalmente expostos, pode-se utilizar três formas para controlá-las: *Tempo, distância e blindagem*.

6.2.1 Distância da fonte

Podemos considerar uma fonte de radiação ionizante como sendo puntiforme, mesmo que a fonte seja grande, pois a distância em relação a ela também é grande [19].

De certo modo, quanto mais longe de uma fonte de radiação, menor será a exposição a essa radiação. Dessa forma, para uma fonte puntiforme, o fluxo de uma determinada dose é inversamente proporcional ao quadrado dessa distância. Isso só vale para fonte puntiformes. A lei que corresponde ao que foi dito é dada por:

$$\frac{\dot{D}_1}{\dot{D}_2} = \frac{(r_2)^2}{(r_1)^2}, \quad (6.1)$$

onde \dot{D}_1 é a taxa de dose a uma distância r_1 e \dot{D}_2 é a taxa de dose na distância r_2 . Portanto, o jeito mais fácil de evitar exposições desnecessárias é ficar longe da fonte. A Figura (6.1) mostra a relação da distância da fonte e a dose da radiação.

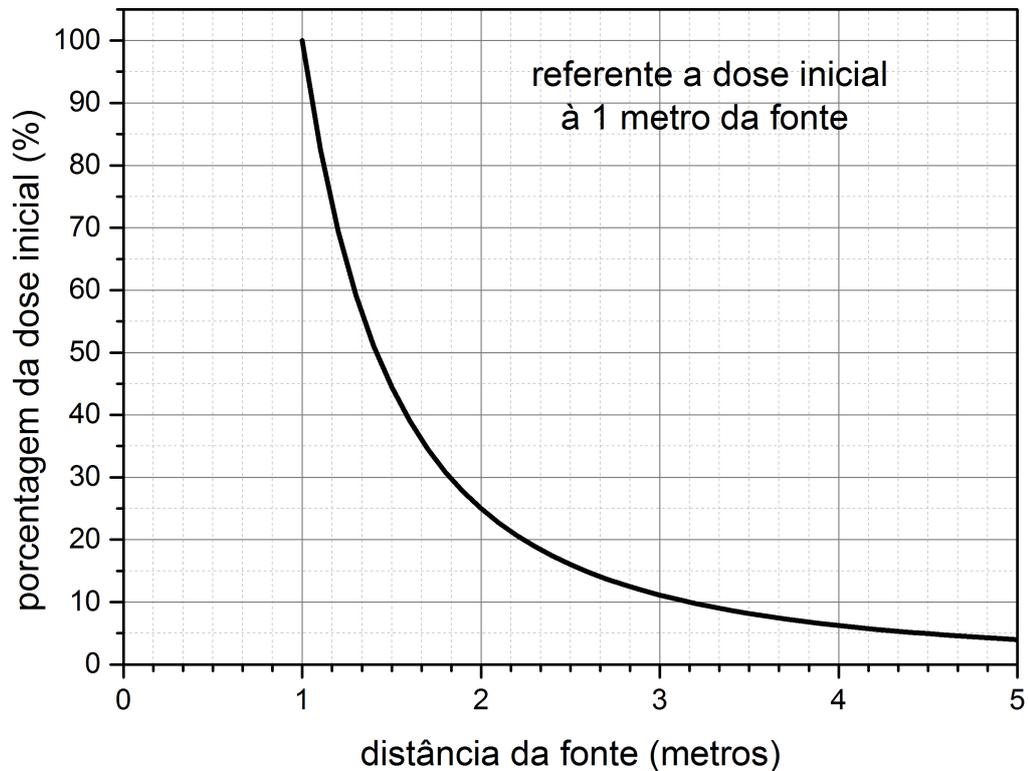


Figura 6.1: Exemplo de um gráfico que mostra a relação entre a porcentagem da dose em relação a distância da fonte.

A partir disso podemos aplicar uma dica para o equipamento *Arco em C* [18]. Para esse tipo de equipamento a distância recomendada é de 38 *cm* entre o paciente e a fonte. Além disso, o paciente deve ser posicionado o mais próximo possível do intensificador de imagens. Isso acarreta em uma baixa dose para o paciente, pois o intensificador serve de barreira.

Estando o Arco em C nessa posição, as radiações não atingem o cristalino do operador, pois o intensificador minimiza o retroespalhamento, ou seja, essa radiação é espalhada para baixo. A radiação espalhada pode ser refletida para todas as direções. Em termos da radioproteção, ela é mais significativa em equipamentos de raios X de tórax, nos centros cirúrgicos e em procedimentos radiológicos intervencionistas.

6.2.2 Blindagem

Nesta forma de proteção radiológica, podemos dividi-la em três partes: *blindagem individual*, *blindagem para pacientes* e *blindagem das áreas*.

Dessa forma, vamos aprofundar um pouco mais em cada uma dessas formas de blindagens.

Blindagem individual

O principal meio de blindagem para os raios X é o chumbo, pois o chumbo é um elemento de alto número atômico ($Z = 82$) e densidade de $11,35\text{g/cm}^3$.

Tabela 6.2: Exemplos de alguns materiais e suas densidades.

Materiais	Densidade
Ferro	7,8
Alumínio	2,7
Concreto	2,3 - 3,8

Os protetores individuais são então constituídos de laminas de chumbo ou em borracha enriquecida com chumbo. Segundo [18], os aventais podem possuir uma espessura entre 0,25 mm a 0,50 mm de chumbo. Essa espessura depende muito da necessidade da proteção radiológica. Para baixas energias de radiação ($70\text{kVp} - 100\text{kVp}$) o avental de 0,50 mm é muito eficiente.

Blindagem para pacientes

Saiotes plumbíferos é uma forma de proteção eficaz e barata para pacientes. Lembrando que a proteção dos pacientes é um item *obrigatório*.

Blindagem das áreas

Segundo [14], as áreas onde ocorrem os exames radiológicos devem possuir uma blindagem de tal forma que o nível de dose se mantenha baixo e que não ultrapasse a restrição de dose que está presente no devido Regulamento.

Além disso, as barreiras devem ser calculadas para proteger da exposição primária do feixe, da radiação espalhada e da radiação de fuga. Elas também devem proteger as áreas adjacentes e não podem conter falhas, ou seja, devem ser contínuas.

6.2.3 Tempo de exposição

Conforme vimos até aqui, existem várias maneiras de proteção radiológica. Um último exemplo seria a redução do tempo de exposição. O rodízio do pessoal em procedimentos nos leitos e UTI é uma maneira de limitarmos esse tempo [18].

6.3 Procedimentos de trabalho

Dando continuidade, a equipe de radiodiagnóstico, a fim de reproduzir uma dose mínima para o paciente, deve seguir os seguintes procedimentos definidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária [14], de uma forma combinada entre eles para atingir o objetivo:

- A região do corpo a ser examinada e o número de exposições por exame;
- O receptor de imagem;
- Quando for aplicada, grade anti-difusora;
- Colimação apropriada do feixe primário;
- Valores apropriados dos parâmetros operacionais;
- Técnica propicias para a obtenção de imagens em exames dinâmicos;
- Um ótimo processamento de dados (temperatura do revelador e algoritmo de reconstrução de imagem).

Por outro lado, durante o procedimento radiológico apenas a equipe especializada para a realização do procedimento e o paciente podem permanecer na sala de raios x. Com isso, os profissionais devem seguir os seguintes passos:

1. Posicionar-se onde nenhuma parte do corpo, incluindo as extremidades, seja atingida pelo feixe primário. Caso isso ocorra, estar devidamente protegida por $0,5mm$ de chumbo;
2. Para as radiações espalhadas, proteger-se com vestimentas ou barreiras protetoras que não tenham espessura menor do que $0,25mm$ de chumbo.

Se existir a necessidade da permanência do acompanhante do paciente na sala durante o exame, só será permitido com a autorização do responsável técnico (RT) e com as devidas proteções radiológicas.

Durante o exame radiológico, o técnico operador deve permanecer dentro da cabine de comando de tal forma a observar o paciente em instalações fixas. Por outro lado, a porta de acesso de instalações fixas devem permanecer fechadas durante a realização dos exames com a devida sinalização, conforme consta na portaria da ANVISA [14].

Somente será permitida a realização de exames com equipamentos móveis em pacientes que estão em leitos hospitalares ou em quartos coletivos de internação (UTI's e berçários),

quando não for autorizado a remoção do paciente pelo médico para uma instalação com equipamento fixo. Além das precauções e procedimentos a serem realizados citados acima, deve-se tomar também as seguintes medidas:

- Para pacientes adjacentes que não tem condições de serem removidos do local, devem ser protegidos da radiação espalhada por uma barreira protetora de corpo inteiro com, no mínimo, $0,5mm$ de chumbo;
- Os demais pacientes que não poderem ser removidos devem permanecer a uma distância mínima de 2 metros do cabeçote ou do receptor de imagem.

Quando houver uma grande repetição de exposição, essa deve ser anotada e ser especialmente supervisionada pelo RT. As exposições devem ser autorizadas apenas por um médico do serviço.

Para as mulheres grávidas ou que possam estar grávidas deve ser evitado a exposição do abdômen ou pelve nos exames radiológicos. Só será permitido esse tipo de exames com fortes indicações médicas. Algumas informações adicionais a respeito desse assunto:

- É de responsabilidade da própria paciente informar sobre a gravidez ou possível gravidez;
- Uma mulher pode ser considerada grávida se a mais recente menstruação não ocorreu e não existir mais nenhuma informação relevante.

Em relação ao feixe de raios x, devem ser alinhados com o receptor de imagem e cuidadosamente posicionado no paciente. Além disso, o feixe útil deve ser utilizado na menor área possível porém que consiste com os objetivos do exame. Essa área mencionada deve ser, no máximo, do tamanho do receptor de imagem.

Os equipamentos radiológicos devem possuir potência suficiente para os exames, caso contrário, é recomendável não utilizar esses equipamentos. No caso de equipamentos móveis que tenham potência inferior a $4kW$ e instalados como fixos, só podem ser utilizados para exames de extremidades (pés e mãos).

6.4 Proteção do operador e da equipe

A radiologia também está presente nas clínicas odontológicas. Nesses lugares são utilizados equipamentos panorâmicos ou cefalométricos para a obtenção da imagem bucal, conforme um exemplo de equipamento mostrado na Figura (6.2).

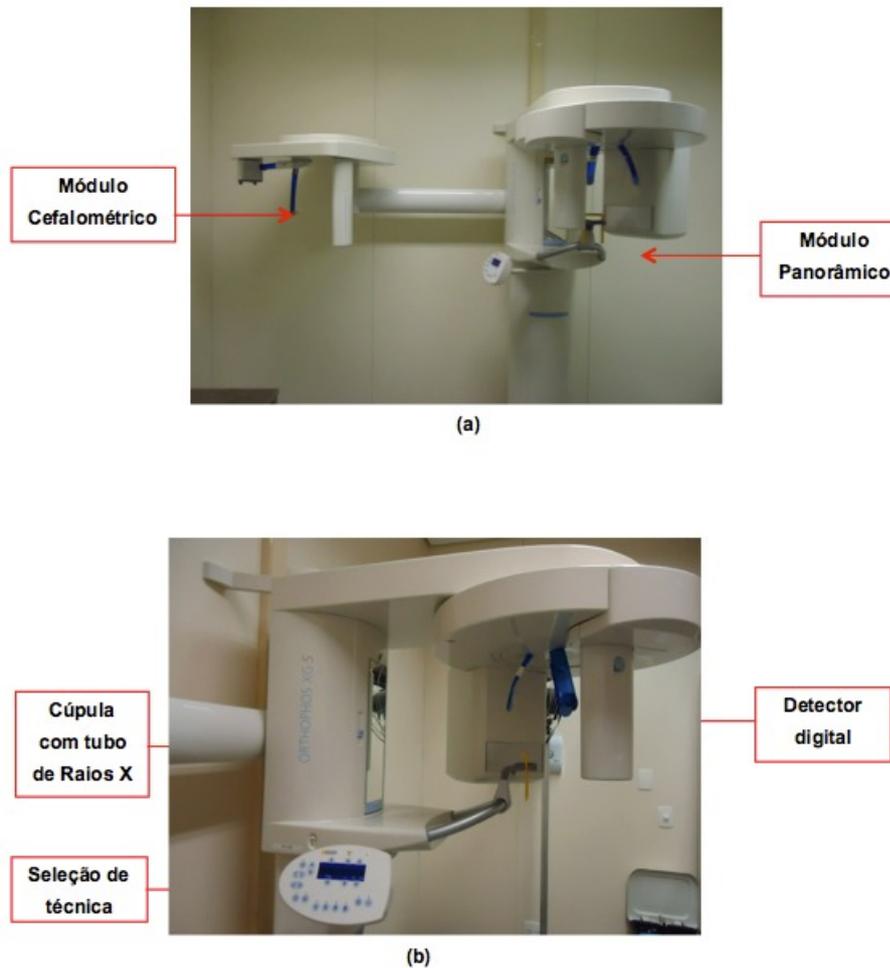


Figura 6.2: Exemplo de equipamento cefalométrico. Imagem retirada do site <http://rle.dainf.ct.utfpr.edu.br/hipermidia/index.php/radiologia-convencional/tecnologia-e-funcionamento-dos-equipamentosrx/tipos-de-equipamentos>.

Nesses casos, tais equipamentos devem ser operados dentro de uma cabine fixa devidamente reforçada com chumbo e com um visor adequado ou monitoramento por câmeras. Além disso, esse monitoramento ou o visor devem ter a mesma proteção calculada para a cabine.

Outro aparelho usado na radiologia odontológica é o intra-oral. Na Figura (6.3) podemos observar um exemplo desse aparelho. Para esse tipo de exame, o operador deve permanecer a uma distância de pelo menos 2 metros do tubo de raios-x durante o procedimento. Por outro lado, se o operador possuir uma carga de trabalho maior que $30mAsin$ por semana, é obrigatório o uso de uma barreira protetora com pelo menos $0,5mm$ de espessura de chumbo.



Figura 6.3: Equipamento de radiologia odontológica intra-oral. Imagem retirada do site <http://kowalskiodontologia.com.br/clinica-kowalski/nosso-universo/>

Em hipótese alguma os membros da equipe devem colocar-se em frente ao feixe principal durante o procedimento. Isso inclui também em não segurar o cabeçote da máquina durante o processo. Outro fator importante, onde nenhum membro da equipe deve realizar, envolve o manuseio do filme revelador durante a exposição.

Nos locais onde se encontram os aparelhos fixos, é de extrema importância que apenas o operador e o paciente permaneçam nela durante o exame. Prestar atenção em quantas vezes realiza essa tarefa, pois nenhuma pessoa deve realizar regularmente os exames radiológicos.

Conclusões

Neste trabalho, pôde-se investigar sobre aspectos da radiação ionizante e da radioproteção para exames clínicos a partir de descobrimentos históricos e um estudo de caso em um setor de radiologia da região de Maringá.

O trabalho envolveu uma pesquisa com funcionários de um setor de radiologia da região de Maringá com o intuito de se verificar como os funcionários agem com a radioproteção tanto pessoal quanto do público.

Observou-se um fato, no qual existe a necessidade de um treinamento periódico para os funcionários desse tipo de clínica, mas isso não foi detectado durante a entrevista. Além disso, foi concluído que os funcionários desconhecem o manual de radioproteção no setor radiológico, porém não só nesse setor como em todos os lugares que negaram a aplicação desse questionário, visto a forte recusa em colaborar com o trabalho. Isto coloca em dúvida a existência deste manual, e se existir, não sabem, não tem interesse na forma de acesso ou ele não é disponibilizado.

Além disso, os funcionários não possuem acesso ao relatório mensal de doses de seus dosímetros e por isso não sabem a quantidade de dose que eles recebem.

Eles relataram também, como é possível ver no questionário, que tiveram que segurar pacientes para realizar o procedimento do exame, o que contraria a portaria 453 da ANVISA [14]. O correto seria o acompanhante desempenhar esse papel vestindo pelo menos um avental de chumbo. Mudanças deste procedimento é aconselhado. Isto reforça a importância deste trabalho em função de detectar problemas e ou procedimentos equivocados e propor mudanças e melhorias.

Entre as perspectivas de trabalhos futuros, pretende-se melhorar o manual que está presente no atual trabalho, pois ele é apenas um esboço, cabendo assim melhorias conforme os anos forem passando e o conhecimento e a experiência se acumulando.

Referências Bibliográficas

- [1] D. Galetti and C. L. Lima, *Energia Nuclear: com fissões e com fusões*. São Paulo: Unesp, 2010.
- [2] E. Okuno, *Radiação: efeitos, riscos e benefícios*, vol. 2. São Paulo: HARBRA, 5 ed., 2007.
- [3] R. de A. Martins, “A descoberta dos raios x: O primeiro comunicado de roentgen,” *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 20, no. 4, pp. 373–390, 1998.
- [4] R. de A. Martins, “Como becquerel não descobriu a radioatividade,” *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, vol. 7 (Número Especial), no. 41, pp. 27–45, 1990.
- [5] R. de Andrade Martins, “As primeiras investigações de marie curie sobre elementos radioativos,” *REVISTA DA SBHC*, no. 1, pp. 29–41, 2003.
- [6] E. Okuno and E. Yoshimura, *Física das Radiações*, vol. 1. São Paulo: Oficina de Textos, 1 ed., 2010.
- [7] I. S. Luiz Tauhata, R. D. Prinzio, and A. R. D. Prinzio, *Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos*, vol. 1. Rio de Janeiro: IRD-CNEN, 9 ed., 2013.
- [8] C. O. P. Orejuela, *ESTUDO DA INFLUÊNCIA DOS RAIOS X DE FREAMENTO PRODUZIMOS PELAS PARTÍCULAS BETA DO ÍTRIO-90 EM SISTEMA SPECT UTILIZANDO SIMULAÇÃO MONTE CARLO*. PhD thesis, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Rio de Janeiro, 2018.
- [9] L. S. R. Oliveira, “Física dos raios x.” http://www.tecnologiaradiologica.com/materia_fisica_rx.htm. acessado em 12/09/2019.
- [10] A. de Araújo Rodrigues Júnior, *Irradiadores industriais e sua radioproteção*. Maringá: Edição do Autor, 1 ed., 2014.
- [11] C. N. de Energia Nuclear, *Diretrizes básicas de proteção radiológica (CNEN-NN-3.01)*. CNEN, 2011.

- [12] “Sievert.” <https://pt.energia-nuclear.net/definicoes/sievert.html>. acessado em 12/09/2019.
- [13] “Entendendo um pouco sobre as doses de radiação e a sua unidade de medida sievert.” http://www.cnen.gov.br/noticias/documentos/entendendo_radiacao.pdf. acessado em 12/09/2019.
- [14] A. N. de Vigilância Sanitária, *PORTARIA 453*. ANVISA, 1998.
- [15] C. P. EDUCAÇÃO, “Tubos geradores de raios x.” <https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/medicina/tubos-geradores-de-raios-x/35845>. acessado em 14/10/2019.
- [16] A. B. de Holanda Ferreira, *Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa*, vol. 1. São Paulo: Editora Positivo, 5 ed., 2010.
- [17] B. Caetano, “Tomografia: o que é, quando é indicada e como funciona?.” <https://www.minhavidacom.br/saude/tudo-sobre/33570-tomografia>. acessado em 02/07/2019.
- [18] R. Dimenstein and Y. M. M. Hornos, *MANUAL DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA APLICADA AO RADIODIAGNÓSTICO*. São Paulo: SENAC, 1 ed., 2001.
- [19] I. L. C. Emico Okuno and C. Chow, *Física para ciências biológicas e biomédicas*. São Paulo: HARBRA ltda, 1986.

Apêndice A

O questionário

1. Você conhece os tipos de radiações e seus benefícios/malefícios?
2. Você conhece os tipos de proteções contra as radiações?
3. Você fez algum tipo de treinamento?
4. Alguma vez você já ficou exposto a radiação mais do que o tempo permitido?
5. Você conhece as medidas de proteções utilizadas pelo Comissão Nacional de Energia Nuclear(CNEN) ou pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária(Anvisa)?
6. Você conhece o dosímetro? Você o utiliza?
7. Você conhece as unidades de medidas das radiações? Qual você conhece? Quais são utilizadas durante a operação das máquinas?
8. Qual tipo de equipamento radiológico você utiliza nos procedimentos diários?
9. Qual a média de pacientes que você atende por dia? E qual a sua carga horária de trabalho?
10. Qual a dose diária de radiação que você recebe?
11. Alguma vez você precisou segurar algum paciente durante o procedimento do exame?
12. A quanto tempo você trabalha na área?
13. Quando começou a trabalhar, sentiu alguma dificuldade com o equipamento? o treinamento foi o suficiente?
14. Existe algum manual de radio proteção onde trabalha?
15. Alguma vez você já participou de alguma palestra/treinamento sobre radio proteção? Se sim, qual?