

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE BOTUCATU
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM RADIOLOGIA**

WESLEY MARTINEZ YONG

**OS RISCOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE ASSUMIDOS NA JORNADA DUPLA DE
TRABALHO**

Botucatu-SP

Dezembro-2013

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE BOTUCATU
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM RADIOLOGIA**

WESLEY MARTINEZ YONG

**OS RISCOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE ASSUMIDOS NA JORNADA DUPLA DE
TRABALHO**

Orientador: Prof. Ms. Leandro Bolognesi

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
FATEC - Faculdade de Tecnologia de
Botucatu, para obtenção do título de
Tecnólogo no Curso Superior de Radiologia.

Botucatu-SP

Dezembro-2013

AGRADECIMENTOS

A finalização desse trabalho não seria possível sem a permissão de Deus, e meus agradecimentos são em primeiro lugar a Ele, pois encontrei nEle todo sustento necessário para consumir esse trabalho. Não tenho palavras para expressar também o quanto sou grato a uma moça, que por tantas vezes quando eu dizia que estava cansado e que estava com vontade de dar um nó na aula, ela chegava e falava para eu ter forças que seria cansativo nesse momento, mas que valeria muito a pena depois, e hoje eu vejo o quanto você, Regina, me estimulou para que eu alcançasse mais esse objetivo na vida. Meus avós também, mesmo que indiretamente, sempre estiveram ao meu lado para tudo e nunca me negaram nada. Se estivessem aqui, tenho certeza que meus pais estariam cheios de orgulho. Agradeço a todos os meus professores e mestres, pois me passaram todo esse conhecimento que hoje possuo, e especialmente ao meu orientador, pela paciência e pelo tempo despendido para a execução desse trabalho, deixo também a ele, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

A radiação ionizante tornou-se há muitos anos parte integrante da vida do homem. Sua aplicabilidade se estende desde a área da medicina, indústria alimentícia, e até na produção de armas bélicas tornando indiscutível sua utilidade. Os efeitos da radiação ionizante não podem ser considerados inócuos, portanto o estudo da proteção radiológica é de extrema importância, pois pode-se dessa forma proteger os profissionais dos efeitos nocivos dessa. A radiação ionizante tem a capacidade de remover elétrons orbitais, ionizando átomos e quebrando ligações químicas e conseqüentemente pode causar carcinogênese. Os locais de trabalho apresentam diversos riscos que não são vistos com o interesse devido e surgem, portanto, riscos ocupacionais decorrentes à inobservância das medidas de proteção radiológica que são agravados com a prática da jornada dupla de trabalho das pessoas que lidam com radiação ionizante. O objetivo desse trabalho é mostrar quais os riscos assumidos pelos profissionais que lidam com radiação ionizante quando optam por realizar jornada dupla de trabalho. Foram pesquisados vários conteúdos e páginas tendo como base da pesquisa, artigos científicos, sites com publicações científicas na área e base de dados *online*. A radiação ionizante comprovadamente provoca alterações celulares e pode causar carcinogênese radioinduzida, porém, mesmo assim, a dupla jornada de trabalho é uma realidade do país e apesar das normas recomendarem que as exposições devam ser as mínimas possíveis, essa prática é amparada pela Constituição Federal.

PALAVRAS-CHAVE: Proteção radiológica. Radiobiologia. Risco ocupacional.

LISTA DE FIGURAS

Figura		Pág.
1	Esquema representativo do átomo de tungstênio.....	11
2	Ejeção de parte do núcleo formando uma partícula alfa.....	13
3	Partículas beta negativa e positiva sendo ejetadas do núcleo.....	13
4	Poder de penetração das partículas.....	14
5	A célula humana.....	15
6	Fases da divisão celular e esquema demonstrativo da radiosensibilidade.....	16
7	Danos nas fitas de DNA.....	18
8	Mecanismos direto e indireto.....	19
9	Diferentes blindagens e energias.....	23
10	Diminuição do tempo de vida dos radiologistas americanos	31
11	Exemplos de dosímetros TLD.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela		Pág.
1	Fatores de peso W_T para órgãos específicos.....	27
2	Limites de doses anuais.....	27
3	Correlação entre dose e efeitos.....	29
4	Resposta humana a baixos níveis de radiação.....	31

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
1.1 Objetivo	8
1.2 Justificativa.....	9
2 REVISÃO DE LITERATURA	10
2.1 A descoberta do raio X.....	10
2.2 Constituição atômica	11
2.3 Radiação eletromagnética.....	12
2.4 Radiação corpuscular.....	12
2.5 Transferência linear de energia.....	14
2.6 A célula humana	15
2.7 Mecanismos de ação das radiações	17
2.7.1 Mecanismo direto	17
2.7.2 Mecanismo indireto	18
2.8 Princípios da proteção radiológica	20
2.9 Radioproteção	22
2.10 Grandezas utilizadas para quantificar e limitar a exposição humana à radiação.....	23
3 METODOLOGIA.....	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1 Radiossensibilidade celular	26
4.2 Efeitos biológicos da radiação.....	28
4.2.1 Efeitos determinísticos	28
4.2.2 Efeitos estocásticos.....	30
4.3 Duplo emprego	32
5 CONCLUSÃO.....	35
REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

A radiação ionizante tornou-se há muitos anos parte integrante da vida do homem. Sua aplicabilidade se estende desde a área da medicina, indústria alimentícia e até na produção de armas bélicas, tornando indiscutível sua utilidade. Os efeitos da radiação ionizante não podem ser considerados inócuos, portanto o estudo da proteção radiológica é de extrema importância, pois pode-se dessa forma proteger dos seus efeitos nocivos. Existem vários estudos que comprovam as alterações moleculares que ocorrem quando há a interação da radiação ionizante com o tecido biológico (OKUNO, 2013).

A radiação ionizante tem a capacidade de remover elétrons orbitais, ionizando átomos e quebrando ligações químicas e seus efeitos podem incluir alterações epiteliais, em mucosas, nos vasos de pequeno e médio calibre e também provocar catarata. As neoplasias são o efeito mais importante da radiação ionizante e essas alterações são classificadas como sendo de efeito estocástico (NEVES; GOMIDE, 2006).

A norma 3.01 da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) define as diretrizes básicas de proteção radiológica das pessoas em relação à exposição à radiação ionizante, e seu campo de aplicação vai desde exposições ocupacionais, médicas e do público. A norma define ainda os efeitos que a radiação pode produzir: o determinístico, para o qual existe um limiar de dose absorvida necessária para sua ocorrência e cuja gravidade aumenta com o aumento da dose; e o estocástico, para o qual não existe limiar de dose, a probabilidade de ocorrência é

uma função da dose e a gravidade dos seus efeitos independe da dose (NAVARRO et al. 2008).

Segundo Neves e Gomide (2006), os locais de trabalho apresentam diversos riscos que não são vistos com o interesse devido e surgem, portanto, riscos ocupacionais decorrentes à inobservância das medidas de proteção radiológica.

Outro agravante é a prática da jornada dupla de trabalho dos indivíduos que lidam com radiação ionizante, que causou até processo no Supremo Tribunal Federal. O CONTER (Conselho Nacional de Técnicos/Tecnólogos em Radiologia), segundo sua assessoria de imprensa, publicou em 14/06/2012 uma notícia referente a uma ação movida contra a Universidade Federal de Uberlândia – UFU, a qual o Supremo Tribunal Federal não deu provimento ao recurso alegando (ICP-BRASIL, 2013):

“A existência de norma infraconstitucional que estipula limitação de jornada semanal não constitui óbice ao reconhecimento do direito à acumulação prevista no art. 37, XVI, c, da Constituição, desde que haja compatibilidade de horários para o exercício dos cargos a serem acumulados”.

A Portaria 453/98 da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) regulamenta, entre outras coisas, os limites de doses individuais em exposições ocupacionais, não devendo o indivíduo que trabalha em área controlada, exceder o preconizado pela CNEN. A insalubridade percebida de adicional sobre o salário do trabalhador se deve à probabilidade da ocorrência de efeitos estocásticos, e como não há proibições pela Constituição Federal do Brasil, vários trabalhadores dessa área possuem dois empregos e como os efeitos são probabilísticos, assumem dessa forma todos os riscos relacionados aos efeitos cumulativos da radiação ionizante.

1.1 Objetivo

O objetivo desse trabalho é mostrar quais os riscos assumidos pelos profissionais que lidam com radiação ionizante, quando optam por realizar jornada dupla de trabalho.

1.2 Justificativa

É sabido que vários profissionais que lidam com radiação ionizante possuem dois empregos, possibilitados pela carga horária reduzida e permitindo assim um aumento na renda familiar. No entanto, uma jornada de trabalho estendida aumenta a dose de radiação absorvida por parte dos profissionais ocupacionalmente expostos, submetendo-os possivelmente a riscos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A descoberta do raio X

Segundo Navarro et al. (2008), a introdução dos raios X na medicina foi rápida e inevitável e na mesma velocidade, sua introdução para fins diagnósticos e terapêuticos. Houve grande mudança no pensamento científico, pois até então acreditava-se que não era possível romper as barreiras do átomo, tampouco alterar sua estrutura. Os benefícios produzidos pela introdução dos raios X às ciências e à medicina foram muitos, porém, junto com a inovação, vieram os perigos relacionados aos raios X e os danos que comprovadamente foram atribuídos à sua utilização.

Um ano após a descoberta dos raios X, outro pesquisador, Antoine Henri Becquerel, constatou realizando experimentos em si próprio, o primeiro efeito biológico dos raios X, pois os raios produziram queimaduras em sua pele (ALMEIDA, 2013).

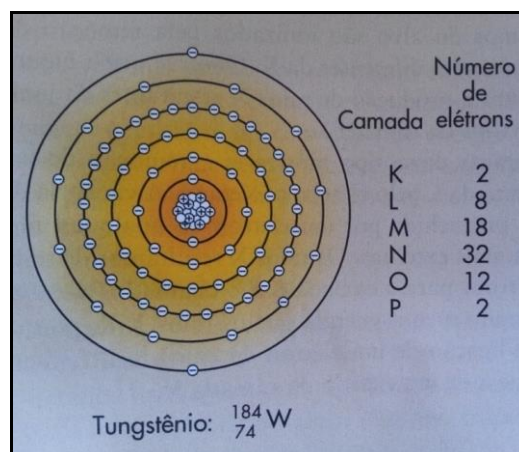
Duas décadas após a descoberta dos raios X, a *Roentgen Society* publicou recomendações de proteção para os trabalhadores, surgindo assim um campo de estudos dos efeitos nocivos da radiação ionizante, conhecido por proteção radiológica (NAVARRO, et al. 2008).

2.2 Constituição atômica

Segundo o modelo atômico de Bohr, físico dinamarquês (1885-1962), os átomos dos elementos químicos estão dispostos de modo que o núcleo fica no centro desse arranjo, e ao seu redor encontram-se os elétrons que estão em órbitas ligados a esse núcleo. O núcleo é formado por prótons, que são partículas com carga positiva, e por nêutrons, que como o próprio nome sugere, não tem carga elétrica. As órbitas são referidas por níveis e a primeira órbita interna é denominada órbita K, a segunda órbita é a L, e as próximas órbitas são M, N, O, P e Q. Essas órbitas onde estão os elétrons são chamadas de eletrosfera, e o número de elétrons da eletrosfera é igual ao número de prótons dentro do núcleo. Quando o átomo recebe uma certa energia, que pode ser elétrica ou na forma de calor, esses elétrons tendem a se movimentar para as camadas mais externas formando vacâncias, e quando retornam para seus lugares de origem, emitem radiação eletromagnética (TAVARES, 2007).

Na Figura 1 é mostrada a representação atômica de um átomo de tungstênio (W), onde o número 184 corresponde ao seu número de massa, que é a soma do número de prótons e nêutrons do átomo e é representado pela letra “A”, e o número 74 que corresponde à sua massa atômica ou número de prótons, e é representado pela letra “Z”, e ao lado da gravura está representada a quantidade de elétrons que esse átomo possui em cada camada (BUSHONG, 2010).

Figura 1: Esquema representativo do átomo de tungstênio



Fonte: Bushong, 2010

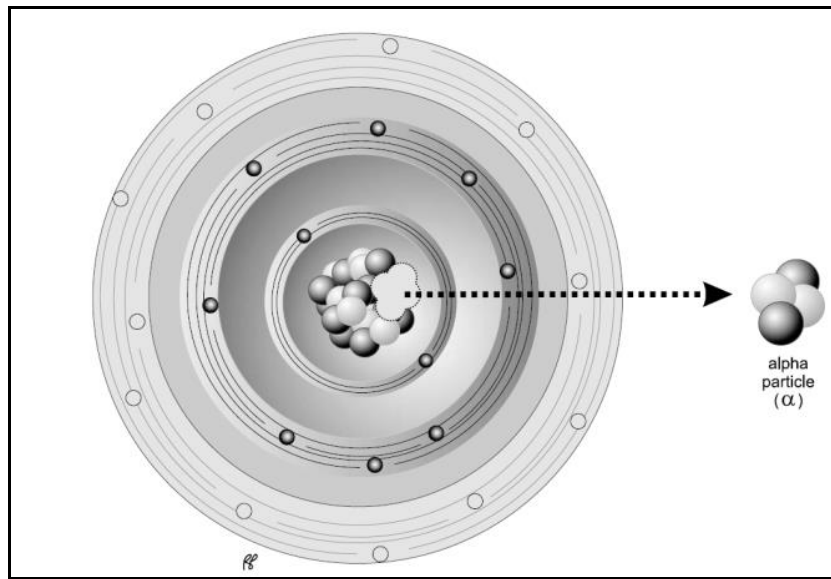
2.3 Radiação eletromagnética

Aqui se enquadram os raios X e raios gama e são comumente chamados de fótons. Os fótons não têm carga elétrica e não têm massa e se diferem quanto ao local de sua produção, sendo o raio gama oriundo do núcleo do átomo e os raios X da nuvem eletrônica. A radiação gama é comumente utilizada em medicina nuclear, valendo-se de radioisótopos específicos que possuem a afinidade por órgãos e sistemas do corpo por capacidade própria ou por ligação química a fármacos que serão utilizados como traçadores. Os raios X normalmente são produzidos quando os elétrons migram para as órbitas mais internas da eletrosfera devido à força de atração exercida pelo núcleo, eles emitem ondas eletromagnéticas que são denominadas fótons. Essa migração se dá quando por algum desequilíbrio no átomo forma-se uma vacância na eletrosfera que será preenchida por algum elétron que migrará sempre obedecendo ao critério da camada mais externa para interna. A energia desses fótons pode ser medida e a unidade usada é o elétron-volt (eV). Os raios X, pela sua alta penetração na matéria e baixa ionização, são muito úteis para imagens médicas (BUSHONG, 2010).

2.4 Radiação corpuscular

Aqui se enquadram as partículas alfa e partículas beta, e estão associadas com decaimento radioativo. As partículas alfa são formadas por dois prótons e por dois nêutrons e por possuírem massa possuem alta energia, porém são altamente atenuadas, devido à quantidade da sua ionização. Diferentemente do ar onde são muito atenuadas, no tecido, essa partícula tem alto poder de ionização sendo muito utilizada em medicina nuclear. A Figura 2 demonstra uma partícula alfa sendo emitida a partir do núcleo (POWSNER; POWSNER, 2006).

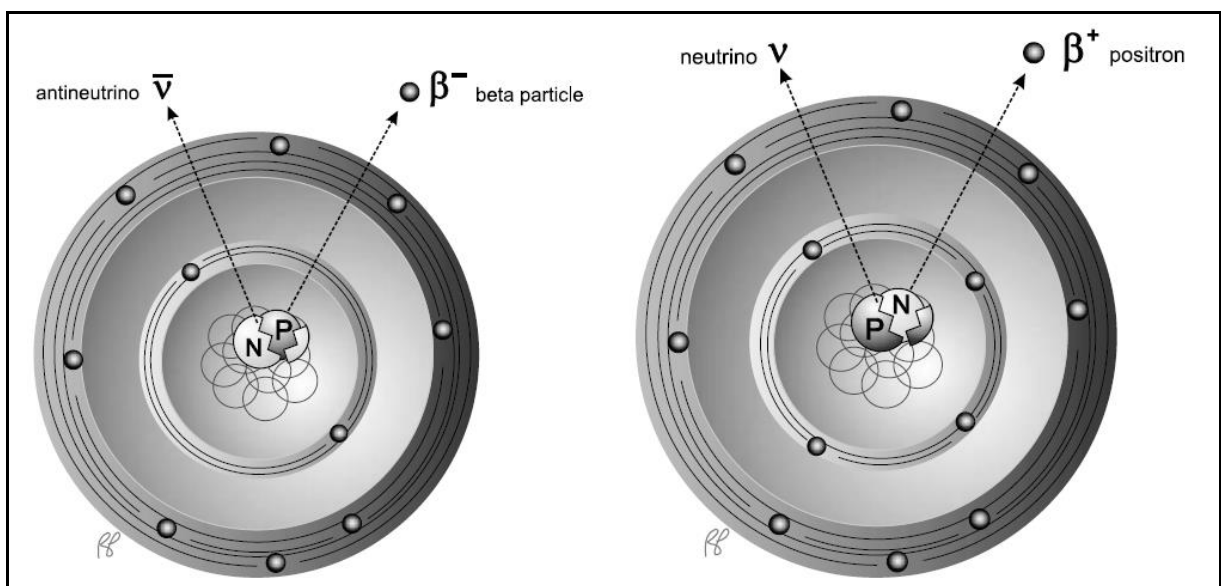
Figura 2: Ejeção de parte do núcleo formando uma partícula alfa



Fonte: Powsner; Powsner, 2006

As partículas beta são diferentes das partículas alfa, pois não têm massa atômica, mas têm cargas positivas e negativas, a primeira denominada pósitron e a segunda negatron (BUSHONG, 2010). A Figura 3 demonstra as partículas beta sendo emitidas a partir do núcleo do átomo.

Figura3: Partículas beta negativa e positiva sendo ejetadas do núcleo

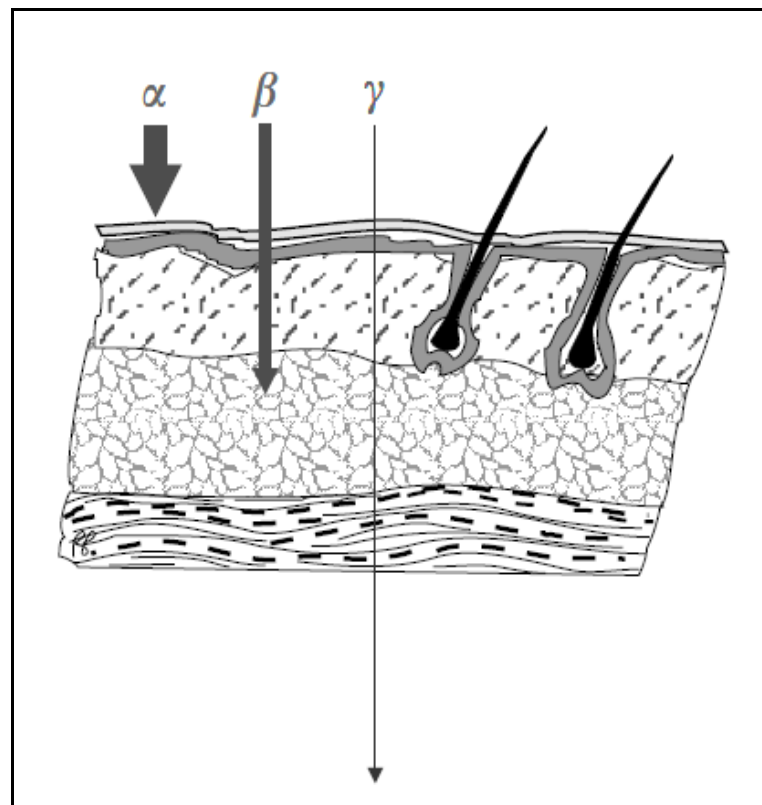


Fonte: Powsner; Powsner, 2006

2.5 Transferência linear de energia

A transferência linear de energia (TLE) ou *linear energy transference* (LET) como é mais usada, é a definição dada para a quantificação média de energia recebida por algum meio por unidade de caminho de partícula carregada nesse meio, em outras palavras, é possível dizer que seria a densidade de ionizações de um meio. Diz-se então que uma alta TLE, as partículas alfa, por exemplo, têm poder de ionização maior que uma baixa TLE, representada pelos raios gama e raios X. Poder de ionização não deve ser confundido com poder de penetração (OKUNO; YOSHIMURA, 2010). A Figura 4 tem representada as diferenças de penetração no tecido entre diferentes partículas.

Figura 4: Poder de penetração das partículas

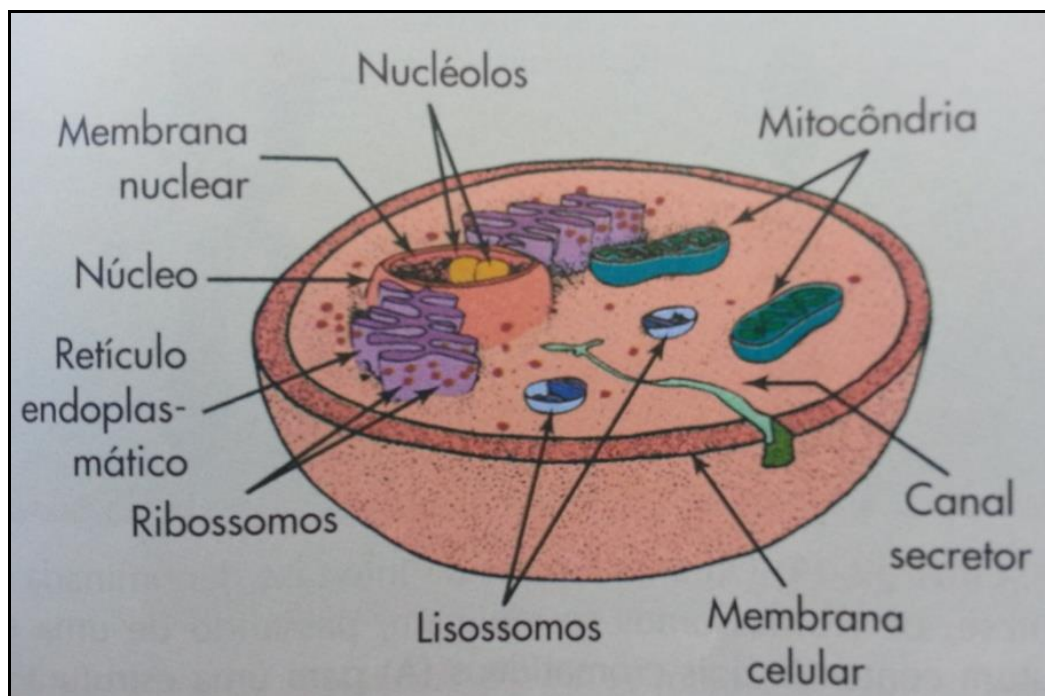


Fonte: Powsner; Powsner, 2006

2.6 A célula humana

Para entender melhor como a radiação vai interagir com o corpo humano, é necessário primeiro conhecer as células e entender o funcionamento delas. Basicamente, as células são divididas em núcleo e citoplasma. Dentre outros elementos do núcleo está o ácido desoxirribonucleico (DNA), seu principal componente, e este é formado por duas cadeias de açúcar e fosfato alternadas que ficam torcidas em um eixo imaginário tomando a forma de uma hélice dupla. O DNA carrega toda a informação hereditária do indivíduo. No citoplasma encontram-se diversas estruturas, cada uma responsável por funções específicas na célula. O retículo endoplasmático é um canal que faz ligação entre o citoplasma e o núcleo; as mitocôndrias são responsáveis pela produção de energia da célula; os ribossomos promovem a síntese de proteínas e os lisossomos fazem a remoção dos resíduos celulares. As células são divididas em células somáticas e células germinativas, nessas últimas incluem-se as gônadas masculinas e femininas, e as primeiras são as demais células do corpo (BUSHONG, 2010). A figura 5 demonstra um esquema representativo dos principais componentes de uma célula

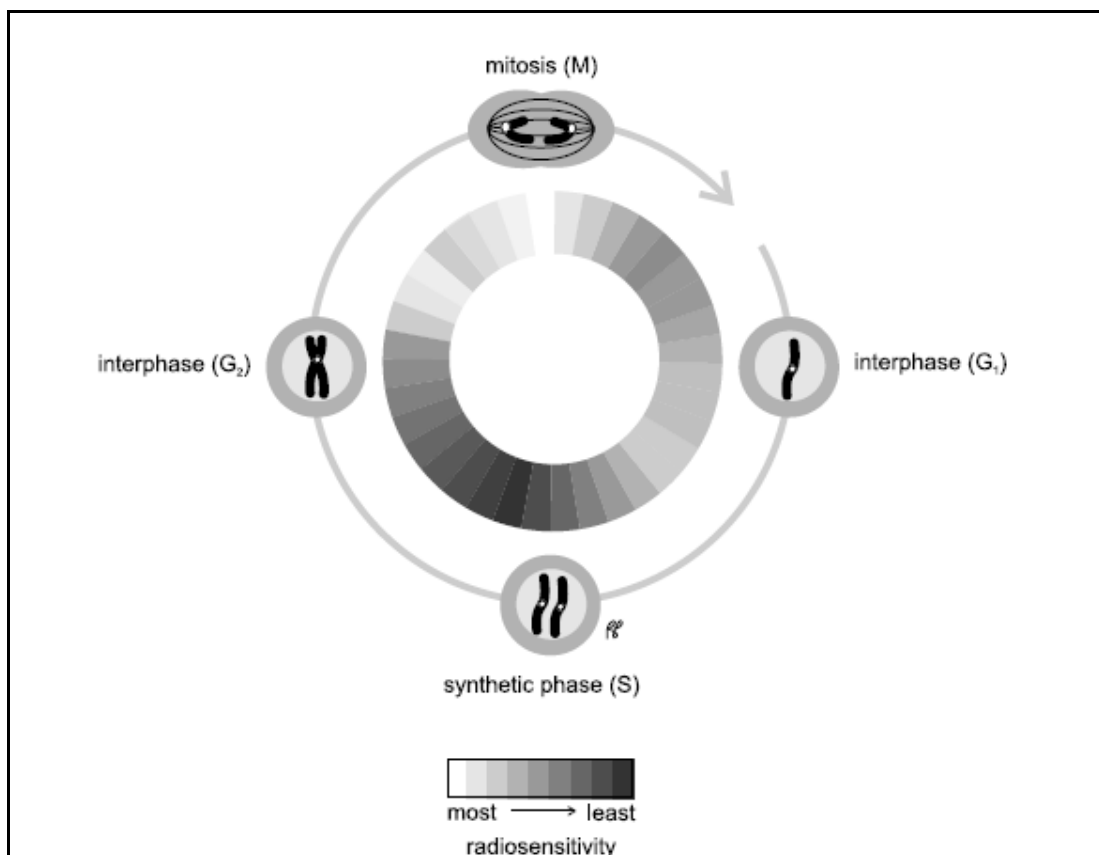
Figura 5: A célula humana



A divisão celular ou ciclo celular é o processo pelo qual as células se dividem para formarem outras células e se subdivide em quatro fases sendo elas: M, G₁, S e G₂. As fases G₁ e G₂ são fases de crescimento; S é a fase onde ocorre a síntese do DNA para a replicação do material genético, o qual está na forma de cromossomos. A fase M ou mitótica é aquela em que a célula se divide, haja vista que o material genético já se duplicou na fase S e, portanto a célula ao se dividir, formará duas células distintas, porém com o mesmo material genético. A fase mais radiosensível do ciclo celular é a fase M (BUSHONG, 2010).

Através de um esquema representativo de tons de cinza da Figura 6, é possível perceber que no ciclo celular há uma variação na radiosensibilidade da célula, variando desde mais radiosensível, representado pelos tons claros, até o menos radiosensível, representado pelos tons escuros.

Figura 6: Fases da divisão celular e esquema demonstrativo da radiosensibilidade



Fonte: Powsner; Powsner, 2006

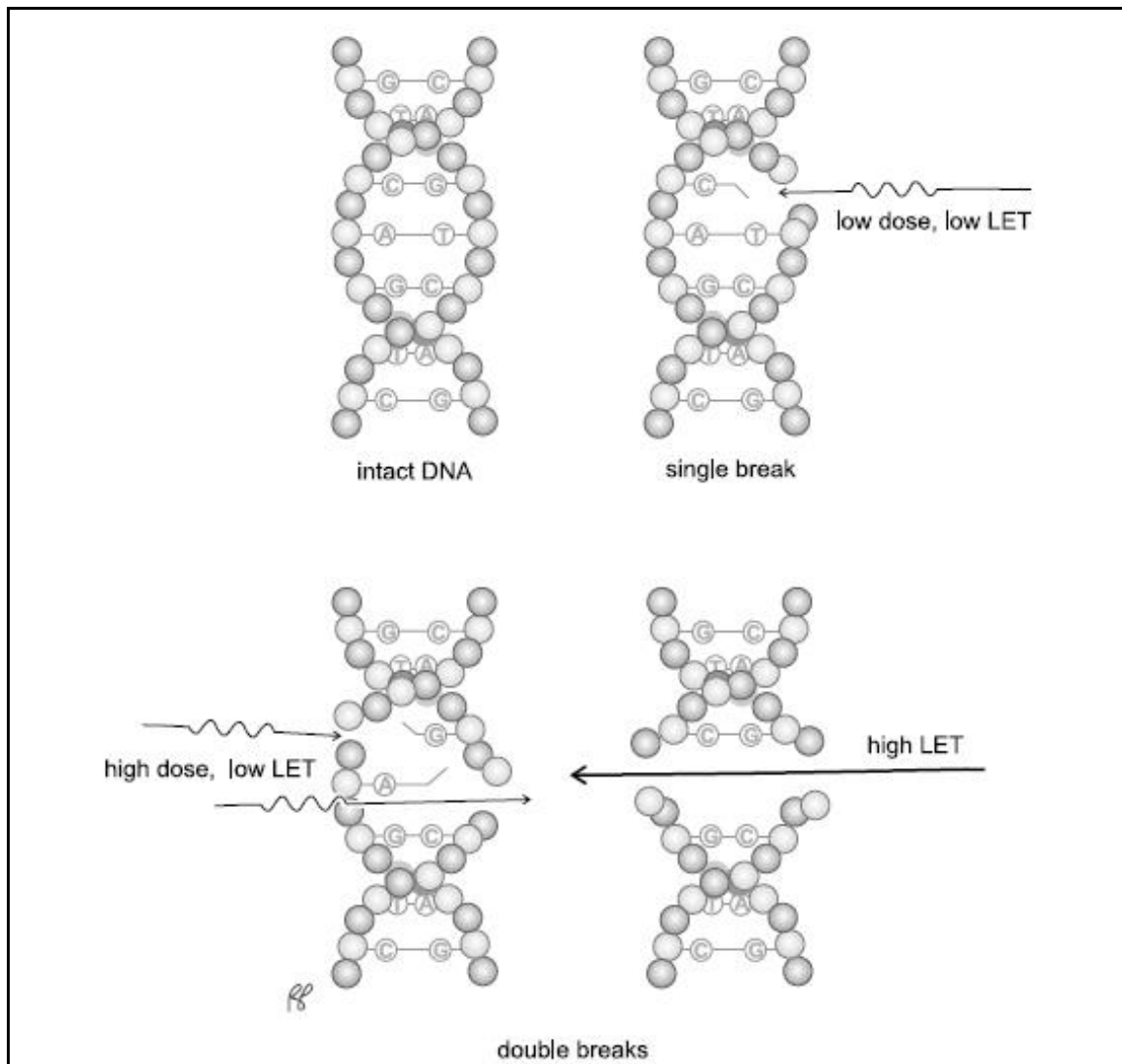
2.7 Mecanismos de ação das radiações

Eles podem ser diretos e indiretos. O mecanismo direto se dá quando a radiação interage diretamente na molécula de DNA e o mecanismo indireto ocorre quando a radiação incide na molécula da água, quebrando-a e produzindo íons e radicais livres.

2.7.1 Mecanismo direto

Quando a radiação incide na molécula de DNA, pode ocorrer a quebra de uma das fitas da cadeia do DNA e nesse caso, ou a célula pode reparar esse dano através de enzimas reparadoras e assim voltar a funcionar normalmente; ou pode ocorrer a ligação dessa fita com algum radical livre, não havendo, dessa forma, reparação celular transformando assim essa célula, na chamada mutação genética. Pode ocorrer ainda a quebra das duas fitas da molécula de DNA, e essas são consideradas as mais importantes na produção de aberração cromossômica. Cerca de 33% das quebras de fitas são produzidas pelo mecanismo direto sendo que são necessários 50 eV para romper uma fita e 200 eV para quebrar duas fitas. Acredita-se que a falha na reparação da molécula de DNA, principalmente quando ocorre a dupla quebra de fitas desta, é a principal causa de morte da célula e também de indução de mutação celular e câncer (OKUNO; YOSHIMURA, 2010). A Figura 7 representa a ocorrência dos dois tipos de quebra, a simples e a dupla.

Figura 7: Danos nas fitas de DNA



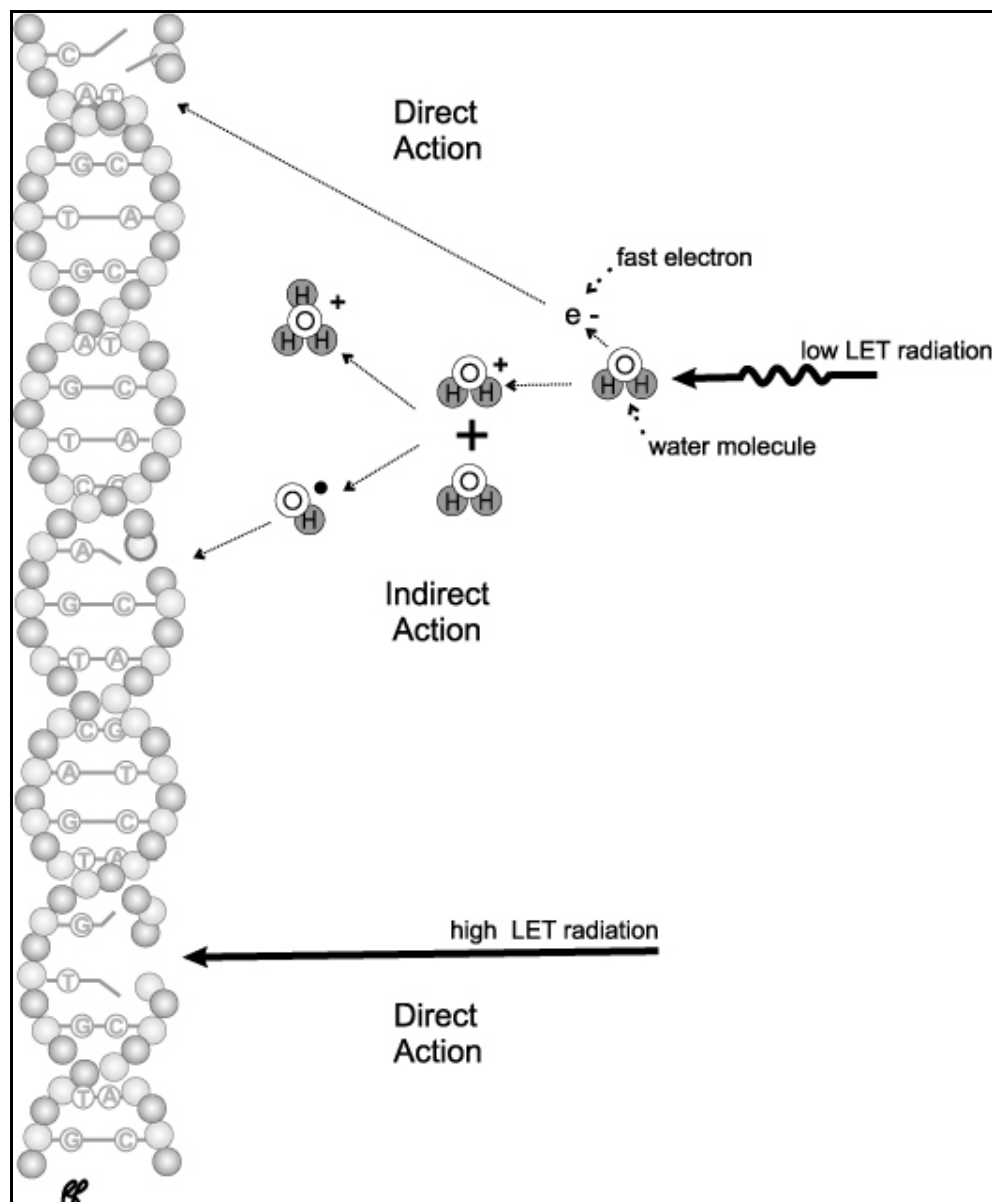
Fonte: Powsner; Powsner, 2006

2.7.2 Mecanismo indireto

Ocorre quando a radiação incide na molécula de água, processo chamado de radiólise (quebra por radiação), formando nesse evento, radicais livres que vão transferir a energia de ionização para a molécula de DNA, provocando ruptura de ligações e produzindo dessa forma pontos de lesão. Os estágios da radiólise da água obedecem alguns passos como é mostrado na Figura 8. A radiação incide na molécula de água e produz íons HOH^+ e HOH^- , após esse

evento uma outra molécula de água H_2O liga-se com o íon HOH^+ e nessa ligação transformam-se em H^3O^+ , H^\bullet e OH^\bullet , esse último, radical livre, chamado hidroxila. Esse radical livre liga-se com a molécula de DNA alterando sua conformação e conseqüentemente suas funções, chegando até a provocar carcinogênese (OKUNO; YOSHIMURA, 2010).

Figura 8: Mecanismos direto e indireto



Fonte: Powsner; Powsner, 2006

As partículas alfa, em especial, possuem uma alta TLE, e os radicais livres OH^\bullet são produzidos muito próximos uns dos outros facilitando a recombinação entre eles e o resultado

dessas ligações é o peróxido de hidrogênio, um agente oxidante importante, que possui uma estabilidade considerável e com isso, a capacidade de disseminação pelo corpo (OKUNO; YOSHIMURA, 2010).

2.8 Princípios da proteção radiológica

A capacidade de retirar manchas de nascença, pintas e matar células que a radiação possuía quando foi descoberta, fez com que seus descobridores e a sociedade médica da época utilizassem tanto os raios X como os elementos radioativos descobertos até então, de maneira desenfreada. Depois de vários anos de uso da radiação, foi criada a *International Commission on Radiation Units and Measurements* (ICRU) que teve a incumbência de criar parâmetros de grandezas físicas envolvidos no uso da radiação e três anos após foi criada a *International Commission on Radiological Protection* (ICRP) com a finalidade de criar normas para a proteção das pessoas que estariam envolvidas de alguma forma com a radiação ionizante, fossem elas ocupacionalmente expostas ou indivíduo do público (OKUNO, 2013).

Existem três princípios nos quais a proteção radiológica se baseia e eles estão normatizados na norma 3.01 da CNEN:

- ✓ da justificção: todos os benefícios da exposiçõ à radiaçõ devem superar os riscos à saúde. O uso de radiaçõ para testes e estudos é injustificável;
- ✓ da otimizaçõ da proteçõ: se resume no princípio de ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*) ou seja, tão baixos quanto razoavelmente exequíveis. Todas as exposições devem ocorrer da maneira que tanto as pessoas expostas, quanto as doses mantenham-se mínimas. Nesse quesito inclui-se a utilizaçõ de EPI (equipamentos de proteçõ individual), colimaçõ adequada, não repetiçõ de exames e utilizaçõ do mínimo de radiaçõ necessária para uma boa qualidade de exames;
- ✓ da limitaçõ de dose: as doses individuais devem estar dentro dos limites recomendados pela CNEN para limitar ao máxímo a probabilidade de ocorrêncí do efeito estocástíco nos IOE's (Indivídúos Ocupacionalmente Expostos), e vale lembrar

que doses abaixo desses limites conferem aos IOE's as mesmas chances que as pessoas que não lidam com radiação ionizante em adquirir carcinogênese radioinduzida.

A norma 3.01 da CNEN define ainda exposição como o ato ou condição de estar submetido à radiação ionizante, e ainda classifica diversos tipos de exposição sendo elas:

- ✓ acidental: exposição involuntária decorrente de situações de acidente, terrorismo ou sabotagem;
- ✓ crônica: exposição que persiste ao longo do tempo;
- ✓ do público: exposição de indivíduos do público a fonte e práticas autorizadas ou em situações de intervenção. Não inclui exposição ocupacional, médica e exposição natural local;
- ✓ médica: exposição a que são submetidos: a) pacientes, para fins de diagnósticos ou de terapia; b) indivíduos expostos, fora do contexto ocupacional, que voluntária e eventualmente assistem pacientes durante o procedimento radiológico de terapia ou diagnóstico; c) indivíduos voluntários em programas de pesquisa médica ou biomédica;
- ✓ natural: exposição resultante da radiação natural local;
- ✓ normal: exposição esperada em decorrência de uma prática autorizada, em condições normais de operação de uma fonte ou uma instalação, incluindo os casos de pequenos imprevistos que possam ser mantidos sob controle;
- ✓ ocupacional: exposição normal ou potencial de um indivíduo em decorrência de seu trabalho ou treinamento em práticas autorizadas ou intervenções, excluindo-se a radiação natural do local;
- ✓ potencial: exposição cuja ocorrência não pode ser prevista com certeza, mas que pode resultar de um acidente envolvendo diretamente uma fonte de radiação ou em consequência de um evento ou uma série de eventos de natureza probabilística.

2.9 Radioproteção

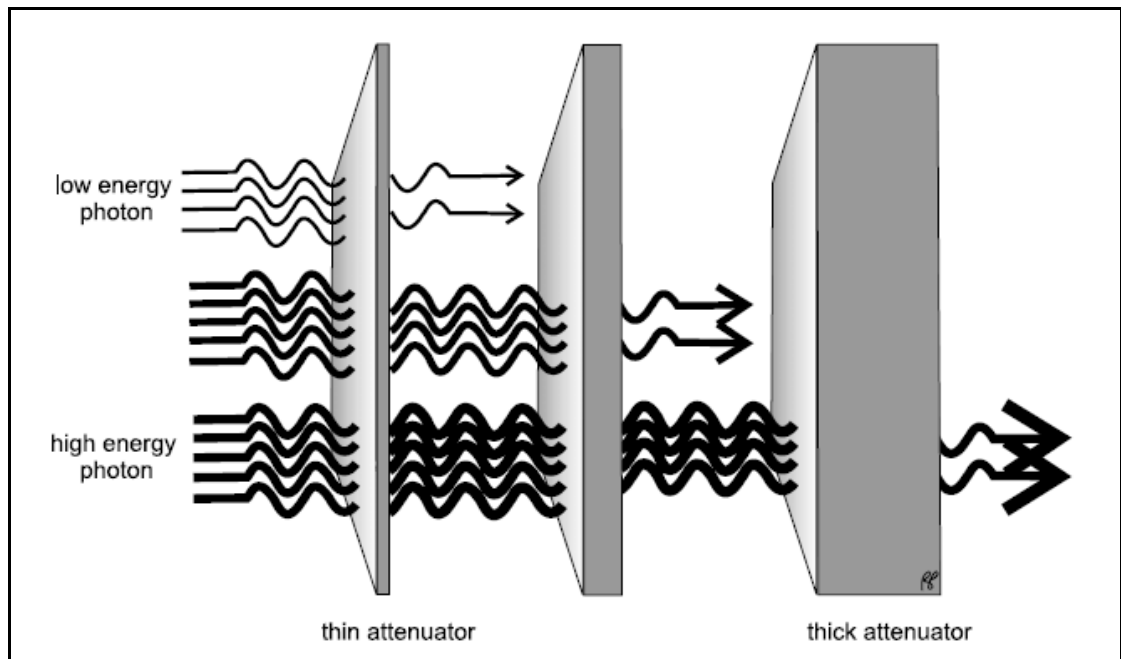
O objetivo da radioproteção é a prevenção ou diminuição dos efeitos somáticos das radiações. Vale ressaltar que a exposição à radiação sempre causa danos às células, por menores que sejam as doses de radiação num período, se forem danos em células somáticas, há a possibilidade de reversão através dos mecanismos reparadores das células, mas se forem danos genéticos, além de serem cumulativos, se a célula não conseguir passar pelo processo de reparação, há a possibilidade da célula se multiplicar mesmo estando com algum defeito genético, e aqui estão incluídas as neoplasias (SOUZA; SOARES, 2008).

Existem três princípios fundamentais de proteção radiológica que são:

- ✓ tempo: a exposição à radiação deve ser a mais breve possível para a realização de um exame;
- ✓ distância: a intensidade da energia da radiação é inversamente proporcional ao quadrado da distância da fonte, portanto a distância entre o indivíduo ocupacionalmente exposto e a fonte de radiação deve ser sempre a maior possível;
- ✓ blindagem: devem ser colocadas entre a fonte de radiação e as pessoas expostas com a finalidade de reduzir a radiação espalhada. O exemplo mais conhecido de blindagem são os aventais de chumbo que podem reduzir a exposição a 10%.

Deve-se sempre considerar a aplicação dos três princípios fundamentais em proteção radiológica (BUSHONG, 2010). A Figura 9 demonstra blindagens finas, médias e espessas e as diferentes energias que são atenuadas por elas, comprovando que a radiação espalhada, que é o tipo mais comum no radiodiagnóstico, é de baixa energia, e com o uso de blindagens finas há a possibilidade da atenuação de quase a totalidade da energia incidente.

Figura 9: Diferentes blindagens e energias



Fonte: Powsner; Powsner, 2006

2.10 Grandezas utilizadas para quantificar e limitar a exposição humana à radiação

A portaria 453/98 da ANVISA regulamenta os limites de doses individuais a que os trabalhadores podem ficar expostos segundo a resolução nº 12/88 da CNEN, a qual estabelece os seguintes conceitos:

- ✓ dose absorvida: ou dose no órgão, expressa por $D = d\varepsilon/dm$, onde D é a grandeza dosimétrica fundamental, $d\varepsilon$ é energia média depositada pela radiação em um volume elementar da matéria de massa dm . A unidade no Sistema Internacional é o joule por quilograma (J/kg), denominada gray (Gy).
- ✓ dose equivalente: expressa por $H_T = D_T \cdot W_R$, onde D_T é a dose absorvida média no órgão ou tecido e W_R é o fator de ponderação da radiação. Esse fator multiplicador leva em consideração a efetividade biológica relativa da radiação na indução de efeitos estocásticos a baixas doses. A unidade no Sistema Internacional é joule por quilograma (J/kg), denominada sievert (Sv).

- ✓ dose efetiva: expressa por $E = \sum_T W_T \cdot H_T$, e é a somatória das doses equivalentes ponderadas nos diversos órgãos e tecidos. A unidade no Sistema Internacional é o joule por quilograma (J/kg), denominada sievert (Sv).

Demonstrados os tipos de radiação, mecanismos de ação, interação com a matéria e as formas de proteção, há a possibilidade de prever os possíveis efeitos que a radiação pode exercer no corpo.

3 METODOLOGIA

Foram pesquisados vários conteúdos e páginas tendo como base da pesquisa, artigos científicos, sites com publicações científicas na área e base de dados *online*. O período de levantamento dos dados para esse trabalho foi de 2003 a 2013 e as palavras chave para pesquisa foram radiobiologia, risco ocupacional e proteção radiológica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Radiossensibilidade celular

Os diferentes tecidos e órgãos do corpo apresentam sensibilidades diferentes à radiação de acordo com a maturação e a função de cada célula que os compõe. As células de um tecido se diferem pela sua taxa de proliferação e pelo grau de desenvolvimento, e em resumo, há células imaturas e maduras. As células-tronco são chamadas de indiferenciadas, pois ainda não possuem funções definidas, e à medida que essas células amadurecem, passam por fases de diferenciação que as levam a um patamar de completa maturação e funcionalidade (BUSHONG, 2010). A Tabela 1 demonstra os fatores de peso de W_T para órgãos ou tecidos conforme estabelecido na CNEN, e a Tabela 2 relaciona os limites de doses anuais recomendados para indivíduos ocupacionalmente expostos.

Tabela 1: Fatores de peso W_T para órgãos Específicos

Tecido/Órgão humano	Fatores de peso para o tecido (W_T)
Gônadas	0,20
Medula óssea vermelha	0,12
Cólon	0,12
Pulmão	0,12
Estômago	0,12
Bexiga	0,05
Mama	0,05
Esôfago	0,05
Fígado	0,05
Tireóide	0,05
Superfície óssea	0,01
Pele	0,01

Fonte: Bushong, 2010

Tabela 2: Limites de doses anuais

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

a) O termo dose anual deve ser considerado como dose no ano calendário (janeiro a dezembro de cada ano).
b) Média aritmética em 5 anos consecutivos, desde que não exceda 50mSv em qualquer ano. (alterado pela resolução CNEN 114/2011)
c) Em circunstâncias especiais, a CNEN poderá autorizar um valor de dose efetiva de até 5mSv em um ano, desde que a dose efetiva média em um período de 5 anos consecutivos, não exceda a 1 mSv por ano.
d) Valor médio em 1cm² de área, na região irradiada.

mSv: miliSievert

Fonte: CNEN, 2013

4.2 Efeitos biológicos da radiação

A radiosensibilidade depende de diversos fatores, como, tempo de exposição, extensão irradiada do corpo, tipo de tecido ou órgão que é irradiado, dose de radiação absorvida e o tipo da radiação. Uma dose de 6 Gy ou mais pode produzir morte se toda essa energia for absorvida por todo o corpo em uma única vez, mas se essa mesma dose for fracionada e direcionada para um órgão ou tecido específico, que é o caso da radioterapia, essa dose não é letal (ALMEIDA, 2013).

Os efeitos biológicos radioinduzidos são classificados em: determinístico, para o qual existe um limiar de dose absorvida necessária para sua ocorrência e cuja gravidade aumenta com o aumento da dose; e o estocástico, para o qual não existe limiar de dose, a probabilidade de ocorrência é uma função da dose e a gravidade dos seus efeitos independe da dose (NAVARRO et al. 2008).

4.2.1 Efeitos determinísticos

Os efeitos determinísticos decorrem de uma exposição aguda que resulta em altas doses de radiação, acarretando morte celular não compensada pelo reparo e proliferação das células. Os efeitos determinísticos apresentam limiar de dose e a gravidade é proporcional à dose. Entre os exemplos, encontram-se os eritemas, catarata e a Síndrome Aguda da Radiação (SAR) (D'IPPOLITO; MEDEIROS, 2005). A SAR é dividida, de acordo com a dose, em síndrome hematológica, síndrome gastrointestinal e síndrome do SNC (Sistema Nervoso Central). Além das síndromes da SAR, mais dois períodos estão associados a elas; o período prodromico, que se caracteriza por sintomas clínicos agudos que podem aparecer dentro de alguns minutos ou algumas horas e podem durar até dois dias; e o período latente, que se caracteriza por um período de bem-estar, no qual não se nota nenhum efeito provocado pela exposição aguda à radiação, e pode durar desde algumas horas até algumas semanas. Após o

período latente, ocorre a manifestação da doença. Se a dose de radiação for demasiadamente alta, o período latente pode não existir, do mesmo modo, o período prodromico pode não existir para doses mais baixas (BUSHONG, 2010). A tabela 3 mostra a correlação entre dose recebida e os efeitos produzidos no corpo por doses mais baixas até as mais altas, ressaltando que 100 rad equivalem a 1Gy.

Tabela 3: Correlação entre dose e efeitos.

< 5 rad	Nenhum efeito imediato é observado.
5-50 rad	Ligeira variação na contagem do sangue.
50-150 rad	Ligeira variação na contagem do sangue e sintomas de náusea, vômito, fadiga, etc.
150-1100 rad	Severas mudanças no sangue são notadas e os sintomas aparecem imediatamente. Aproximadamente 2 semanas depois, algumas pessoas expostas morrem. Aqueles expostos a 300-500 rad, até a metade morrerão dentro de 30 dias sem tratamento médico intensivo. A morte ocorre devido à destruição dos órgãos formadores de sangue. Sem glóbulos brancos, as infecções aparecem. Na margem superior desta faixa, é necessário um transplante de medula.
1000-2000 rad	A probabilidade de morte aumenta para 100% dentro de 1 ou 2 semanas. Os sintomas iniciais aparecem imediatamente. Poucos dias depois, há uma piora drástica, devido à destruição do sistema gastrointestinal. Uma vez que o sistema gastrointestinal para de funcionar, nada pode ser feito e o tratamento médico é apenas um paliativo para a dor.
> 2000 rad	A morte é certa. Em doses acima de 5000 rad, o sistema nervoso central (cérebro e músculos) não consegue mais controlar as funções corporais, como respiração e circulação sanguínea. A morte ocorre dentro de dias ou horas. Nada pode ser feito.

Fonte: Almeida, 2013

Nunca foi registrada nenhuma morte devida à exposição aos raios X, mas os testes em animais de laboratório e pesquisas nas populações que foram atingidas por acidentes nucleares são necessárias para conhecer os limiares dos efeitos, para assim estabelecer limites de dose e princípios de proteção radiológica (BUSHONG, 2010).

4.2.2 Efeitos estocásticos

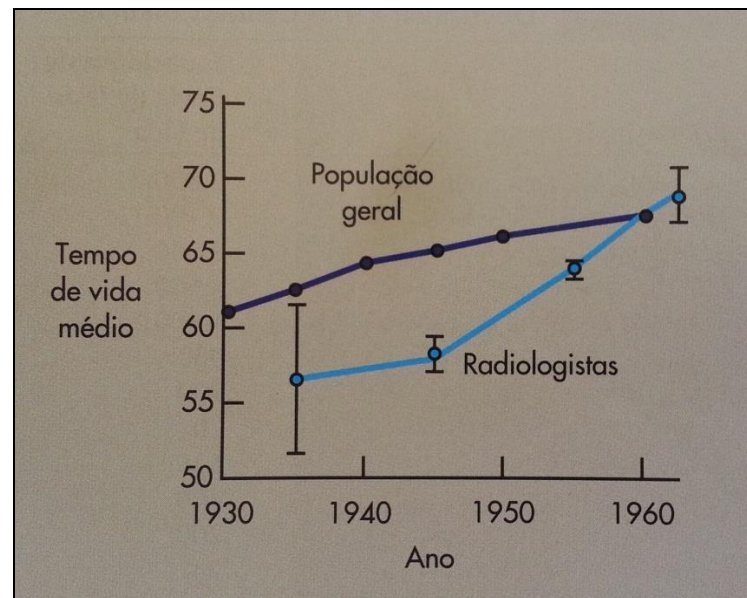
Também chamados de aleatórios ou tardios, são efeitos que se manifestam após anos da exposição à radiação, impossibilitando estabelecer uma relação de “causa e efeito”, estão relacionadas às frequentes e baixas doses as quais os profissionais do radiodiagnóstico estão submetidos e a probabilidade da ocorrência, não da gravidade, dos efeitos estocásticos, é proporcional à dose. Somadas ao longo tempo de latência, existem muitas variáveis envolvidas para o aparecimento da carcinogênese radioinduzida, tornando bem difícil estabelecer uma relação de “causa e efeito” (D’IPPOLITO; MEDEIROS, 2005).

Entre os efeitos tardios estão (BUSHONG, 2010):

- ✓ Carcinogênese radioinduzida: que é o principal efeito tardio da radiação. Para doses moderadas de radiação encontrou-se uma relação dose-resposta a partir de experimentos com animais e através dos estudos com os sobreviventes das bombas atômicas no Japão, cujos resultados mostraram uma alta incidência de leucemia nessa época. A leucemia radioinduzida, portanto, apresenta uma relação dose-resposta linear e sem limiar. Já para doses baixas de radiação, por não existirem dados experimentais inequívocos, acredita-se que a probabilidade de ocorrência de um câncer radioinduzido seja proporcional à dose.
- ✓ Efeitos hereditários: são aqueles que ocorrem nos descendentes dos indivíduos irradiados e são decorrentes de mutações nas células germinativas.
- ✓ Encurtamento do tempo de vida: podendo ser evidenciado pela morte prematura de animais irradiados em laboratórios. Experimentos mostraram que a relação entre o encurtamento do tempo de vida e a dose, é do tipo linear e sem limiar. Vários estudos envolvendo populações expostas aos desastres nucleares foram feitos, porém nenhum deles demonstrou encurtamento do tempo de vida apesar da alta dose a que foram expostos. Na Figura 10, Bushong (2010) mostra um gráfico dos resultados de um estudo aprofundado, envolvendo radiologistas americanos da época de 1930, comparados à população geral, e mostra que, em média, aqueles radiologistas morriam cinco anos mais jovens em relação à média obtida para a população geral. Todavia,

essa diferença passou a não existir em 1965, provavelmente devido aos programas de proteção radiológica.

Figura 10: Diminuição do tempo de vida de radiologistas americanos.



Fonte: Bushong, 2010

A proteção radiológica melhorou muito em relação aos primórdios do descobrimento da radiação ionizante e alguns dados, como os da Tabela 4, mostram o quanto ela é segura.

Tabela 4: Resposta humana a baixos níveis de radiação

Encurtamento do tempo de vida	10 dias/100 mGy
Catarata	Nenhuma catarata abaixo de 2 Gy
Leucemia	10 casos/10 ⁶ /100 mGy/ano
Câncer	2 casos/10 ⁴ /100 mGy
Efeitos genéticos	Dose que dobra o risco = 0,5 Gy
Morte de todas as causas	2 mortes/10 ⁴ /100 mGy

Fonte: Bushong, 2010

Powsner e Powsner (2006), afirmam que de acordo com a *Nuclear Regulatory Commission* (NRC), a incidência natural de câncer fatal é de cerca de 20% e o risco de morte por câncer aumenta 4% para sievert de dose recebida. Considerando que o limite de dose

efetiva para os IOE's é de 20 mSv/ano, é possível fazer uma simulação para um profissional que recebeu esse limite por vinte anos consecutivos e conclui-se que essa soma dá um total de 0,4 Sv, ou seja, nesses vinte anos, há um aumento de 1,6% de probabilidade do profissional adquirir câncer. A maior parte dos procedimentos de controle de exposição à radiação é realizada com dispositivos simples e baratos, como os dosímetros termoluminescentes (TLD), porém, é necessária uma conscientização para que os profissionais o utilizem da maneira correta, para a obtenção de valores reais de exposição (BUSHONG, 2010). A Figura 11 mostra alguns dosímetros TLD e suas variadas formas de apresentação tais como cristais, discos, hastes e pó.

Figura 11: Exemplos de dosímetros TLD



Fonte: Bushong, 2010

4.3 Duplo emprego

O estudo sobre a questão da necessidade de mais de um local de trabalho para profissionais de radiologia, bem como a exposição à radiação ionizante, vem sendo realizado

e discutido por outros autores (NEVES; GOMIDE, 2006; OLIVEIRA; AZEVEDO; CARVALHO, 2003), tentando estabelecer umnexo causal entre a realidade empregatícia do país, e a prática comum amparada pela Constituição Federal. A partir dos dados levantados nessa revisão, a probabilidade da ocorrência de efeitos tardios devido ao uso da radiação ionizante é baixa, mas existe. Muito embora os estabelecimentos tenham os registros de doses dos trabalhadores, existe a questão do duplo emprego, subnotificando dessa forma as doses dos trabalhadores. Não existe preocupação desses trabalhadores, o fato de seus monitores estarem vinculados com seus locais de trabalho, não considerando dessa forma o fracionamento da medição de suas doses. Essa realidade pode estar associada a um comportamento coletivo de proteção, onde todos fingem não conhecer esse fator, colocando em risco suas vidas e conseqüentemente, seu próprio emprego.

Um dado importante dessa pesquisa é a constatação que os trabalhadores muitas vezes não são instruídos quanto à correta utilização de seus monitores individuais, prova disso, não armazenam seus monitores no local apropriado no final do expediente, não o posicionam no local correto de utilização como orienta a norma e o mais agravante, não conhecem os limites de doses recomendados. Importante salientar que cada local de trabalho tem seu local apropriado para armazenar os dosímetros quando estes não estão em uso, e quanto ao posicionamento durante sua utilização, cada estabelecimento define se o dispositivo será posicionado por fora do avental de chumbo, ou por baixo deste, ficando a cargo da empresa que realiza as leituras destes dispositivos, aplicar os fatores de correção, quando estes forem utilizados por baixo do avental. Os profissionais que trabalham nessa área devem estar atentos ao uso correto dos EPI's para minimizar a exposição à radiação, bem como observar os princípios do tempo e da distância, que formam a tríade da proteção radiológica (OLIVEIRA; AZEVEDO; CARVALHO, 2003).

Outra questão levantada nesse trabalho é da necessidade de um programa de controle de qualidade regular dos equipamentos, pois a repetição de exames por falta de calibração dos aparelhos ou por falta de treinamento da equipe representam doses extras, tanto nos profissionais como nos pacientes. Os estudos laboratoriais de radiobiologia são de grande valia para explicar os mecanismos dos efeitos biológicos produzidos pela radiação, pois dessa forma é possível estimar as probabilidades de ocorrência de danos no homem, já que as informações que existem, não são possíveis estatisticamente. As normas de controle de exposição ocupacional estabelecem critérios de avaliação de dose de radiação recebida e utilizam esses parâmetros para determinação de efeitos biológicos determinísticos, e até

estocásticos, pois o programa de controle de qualidade, através da monitoração dos trabalhadores, dispõe de ferramentas e dados para esse fim (GOMES, 2013).

O Estado não deve ser o único responsável pela regulação sanitária, mas também os fabricantes de equipamentos, conselhos e associações de classe devem estar engajados na manutenção da saúde dos trabalhadores e pacientes (NAVARRO et al. 2008).

Embora as exposições ocupacionais proporcionem doses muito mais próximas da dose de radiação proveniente das exposições naturais (cerca de 3 mSv/ano) do que do limite de dose para IOE's, e as estatísticas mostrem uma probabilidade bastante baixa para o aparecimento de um câncer de origem radiogênica (Tabela 4), é imprescindível para a segurança do tecnólogo o conhecimento das normas que regulamentam o uso da radiação ionizante, bem como das medidas de proteção, dos riscos biológicos radioinduzidos associados a uma exposição crônica à radiação ionizante e dos limites de dose, e esses fatores devem ponderar a decisão do profissional em optar por uma jornada dupla.

5 CONCLUSÃO

Os tecnólogos em radiologia que optam por uma jornada dupla de trabalho apresentam uma probabilidade maior de manifestar uma resposta estocástica à radiação, como a carcinogênese radioinduzida, efeitos hereditários e encurtamento do tempo de vida e esses fatores devem ponderar a decisão do profissional em optar por uma jornada dupla. O sistema capitalista e consumista obriga cada vez mais as pessoas a buscarem fontes extras de renda, sendo necessários portanto, treinamentos contínuos dos profissionais e programas de garantia de qualidade dos aparelhos e processos, para minimizar o máximo a probabilidade de ocorrência desses efeitos.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. J., Estudo dos efeitos biológicos da radiação, com ênfase nos raios-X. Disponível em: <http://www.conter.gov.br/uploads/trabalhos/dr_ronaldo_radiologia.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2013.
- BRASIL, Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Portaria nº 453/98. **Diretrizes básicas de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico**. Disponível em: <http://www.saude.mg.gov.br/images/documentos/Portaria_453.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2013.
- BUSHONG, S. C. Ciência radiológica para tecnólogos: **Física, biologia e proteção**. 9.ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2010. 709 p.
- COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **CNEN-NN-3.01: Diretrizes básicas de radioproteção**. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/seguranca/normas/mostra-norma.asp?op=301>>. Acesso em: 27 ago. 2013
- D'IPPOLITO, G.; MEDEIROS, R. B. Exames radiológicos na gestação. **Radiologia Brasileira**, v. 38, n. 6, p.447-450, 2005.
- GOMES, R. S., **Condições do meio ambiente de trabalho e riscos da exposição aos raios X no serviço de radiodiagnóstico de um hospital público**. Disponível em: <<http://www.conter.gov.br/uploads/trabalhos/robsonspinelli.pdf>>. Acesso em: 08 out. 2013.
- INFRAESTRUTURA DE CHAVES PÚBLICAS BRASILEIRA – ICP-BRASIL. **AG.REG. NO RECURSO EXTRAORDINÁRIO 633.298 MINAS GERAIS**. Disponível em: <<http://www.stf.jus.br/portal/autenticacao>> sob o número 1638789. Acesso em: 26 ago. 2013.
- NAVARRO, M. V. T. et al. Controle de riscos à saúde em radiodiagnóstico: uma perspectiva histórica. **História, Ciências, Saúde**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 4, p.1039-1047, 2008.
- NEVES, E. B.; GOMIDE, M. O risco ocupacional no setor de raio-x diagnóstico de um hospital universitário. **Cadernos Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 4, p.643-654, 2006.
- OKUNO, E. Efeitos biológicos das radiações ionizantes. Acidente radiológico de Goiânia. **Estudos Avançados**, São Paulo, v.27, n. 77, p.185-200, 2013.
- OKUNO, E.; YOSHIMURA, E. M. **Física das radiações**. 1.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 296 p.

OLIVEIRA, S. R.; AZEVEDO, A. C. P.; CARVALHO, A. C. P. Elaboração de um programa de monitoração ocupacional em radiologia para o hospital universitário Clementino Fraga Filho. **Radiologia Brasileira**, v. 36, n. 1, p.27-34, 2003

POWSNER, R. A.; POWSNER, E. R. *Essential Nuclear Medicine Physics*, 2.ed. Malden: Blackwell Publishing Ltd, 2006. 206 p.

SOUZA, E; SOARES, J. P. M. Correlações técnicas e ocupacionais da radiologia intervencionista. **Sociedade Brasileira de Angiologia e de Cirurgia Vascular**, v. 7, n 4, p.341-350, 2008.

TAVARES, S. M. F. **As teorias atômicas:** da antiguidade ao modelo atômico actual. 2007. 39p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Físico-Química) – Instituto Superior de Educação, Praia, 2007.