

VILÃ OU HEROÍNA? OS DOIS LADOS DA RADIAÇÃO

VILLAIN OR HEROINE? BOTH SIDES OF RADIATION

Marcel Oliveira de Melo¹, Gabriel Pereira Silva², Toni Cordeiro de Almeida³, Francina Estefânia Guimarães Cerqueira⁴, Francisco de Assis Moura⁵, Iranderly Fernandes de Fernandes⁶

Universidade Estadual de Feira de Santana, Departamento de Física. E-mail: 1marceldemelo.fis@gmail.com, 2biel.silva2802@gmail.com, 3tonialmeida10@hotmail.com, 4francina.eguimaraes@gmail.com, 5mourafrancisco451@gmail.com, 6iffernandes@uefs.br.

Do descobrimento dos raios X aos dias atuais, a radiação tem sido estudada e reconhecida como uma poderosa ferramenta no desenvolvimento científico e tecnológico. Embora ela tenha sido fundamental para trazer a sociedade aos dias de hoje, até que se fossem conhecidos os cuidados necessários para sua utilização e seus efeitos ao atuar em organismos vivos, alguns acidentes se tornaram marcos históricos e ainda causam medo em algumas pessoas sobre a segurança de sua utilização. Casos como o acidente nuclear de Chernobyl e o acidente radiológico com Césio-137 em Goiânia fizeram muitas vítimas e deram à radiação uma má reputação que impede algumas pessoas de perceber como ela pode ser uma grande aliada em áreas essenciais à vida, como a medicina. Este artigo aborda de forma simplificada alguns tópicos sobre os estudos dos efeitos da radiação no corpo humano, desde os eventos históricos importantes, como sua descoberta e os acidentes que a trazem fama de vilã, ao seu papel nos dias atuais como heroína na área de saúde, ressaltando a importância dos cuidados a serem tomados na sua utilização.

Palavras-Chave: Radiação, Efeitos no corpo humano, Medicina.

From the discovery of X-rays to the present day, radiation has been studied and recognized as a powerful tool in scientific and technological development. Although it was very important in bringing society to the present days, until the necessary care for its use and its effects when acting on living organisms were known, some accidents have become historical landmarks and still causes fear in some people about the safety of its use. Cases such as the Chernobyl nuclear accident and the Cesium-137 radiological accident in Goiânia have claimed many victims and have given radiation a bad reputation that prevents some people from realizing how it can be a great ally in areas that are essential to life, like medicine. This article discusses in a simplified way some topics about studies on the effects of radiation on the human body, from important historical events, such as its discovery and the accidents that bring it the fame as a villain, to its role as a heroine in the area of health nowadays, emphasizing the importance of the care to be taken in its use.

Key-Words: Radiation, Effects on the human body, Medicine.

INTRODUÇÃO

O que você pensa quando ouve falar de ‘radiação’ ou algo que envolva os termos ‘atômico’ ou ‘nuclear’? É algo que te assusta? Para muitas pessoas, a resposta da segunda pergunta é sim, e a primeira pode trazer lembranças de alguma tragédia. Mas aquele símbolo amarelo com algo parecido com um trevo preto carrega muito mais informação do que somente um aviso de perigo. Mas antes de falarmos disso, vamos esclarecer umas coisas, afinal, o que é radiação? Dizer que algo é nuclear significa que vai explodir? Isso eu já vou adiantar que não.

De forma simplificada, a radiação é a energia que se propaga em forma de partículas ou ondas. As radiações eletromagnéticas viajam com a mesma velocidade da luz, no vácuo, como uma combinação de campos elétricos e magnéticos, que variam no tempo e espaço. Apesar da ideia que a radiação é fatal ser comum no cotidiano, é necessário entender primeiro que o conhecimento dessa área na ciência trouxe também benefícios para humanidade como por exemplo sua aplicação na medicina para o diagnóstico e tratamento de câncer e outras doenças, na produção de energia nuclear, e até mesmo na indústria alimentícia utilizando a radiação para conservar os alimentos.

Seu descobrimento se deu de forma progressiva. Quando o físico alemão Wilhelm C. Röntgen, em 1895, fez o experimento acidental de colocar a mão entre a válvula que utilizava para estudo

da condutividade dos gases e atela de platinocianeto de bário, o que resultou na imagem dos ossos de sua mão impressos na folha, uma grande janela de oportunidades de pesquisas se abriu. Esses raios que ainda não eram conhecidos foram chamados por ele de raios-X e essa notável descoberta o concedeu o Prêmio Nobel da Física em 1901. A descoberta de Röntgen, levou outros pesquisadores a estudar os raios-X ou agregá-los a suas pesquisas. Um deles foi Antoine H. Becquerel, que, empenhado nas áreas de fosforescência e fluorescência moleculares, buscou verificar se substâncias fosforescentes ou fluorescentes emitiam raios-X. Depois de algumas tentativas frustradas, Becquerel fez novos experimentos utilizando urânio, cujos resultados o levaram à conclusão de que aquela radiação penetrante tinha origem do elemento em si, e não dos fenômenos que ele observava em sua pesquisa (Choppin et al. (2002)).

O trabalho de Becquerel foi investigado pela física e química polonesa Marie S. Curie, que nomeou os até então conhecidos como 'raios de Becquerel' de radioatividade, em 1898. Em seguida, a radioatividade foi estudada por vários cientistas de renome e também pelos novos cientistas da época. Pouco tempo depois, no ano de 1900, dois tipos diferentes de emissão provindas dos elementos radioativos foram identificadas pelo físico neozelandês Ernest Rutherford e pelo físico francês Pierre Curie, de forma independente e quase que simultânea. Estas foram chamadas partículas alfa (α) e beta (β). Ainda em 1900, um tipo de radiação eletromagnética foi identificado pelo físico francês Paul U. Villard, que ficou conhecida como radiação gamma (γ).

As décadas seguintes foram marcadas por outras descobertas importantes nesse campo, como o nêutron, proposto de forma independente por Rutherford, W. D. Harkins e Orme Masson, nos anos 20 e comprovado em 1932 por James Chadwick; o pósitron, previsto teoricamente por Paul Dirac em 1928 e comprovado por C. D. Anderson em 1932; e a descoberta do fenômeno denominado de fissão nuclear, notado em meados de 1934 por Enrico Fermi e explicado pela física austríaca Lise Meitner, e seu sobrinho, o físico Otto R. Frisch, em 1938 (Choppin et al. (2002)).

Desde essas descobertas, vários estudos foram realizados na busca do conhecimento das propriedades da radioatividade e dos elementos responsáveis por esses fenômenos. O controle dos efeitos de suas interações com o ambiente ao redor, em grande e pequena escala, já era visto como algo promissor em várias áreas, entre elas, a geração de energia, a medicina e a indústria bélica.

Ainda por volta de 1934, após a descoberta da fissão nuclear, a indústria bélica americana buscou meios de converter esse conhecimento em tecnologia de forma que pudesse ser utilizado na Segunda Guerra Mundial, e financiou projetos para a construção de um reator nuclear. Em 1945 foi criada a primeira bomba nuclear para teste, a Gadget. Com o sucesso do teste, ainda em 1945, os EUA promoveram um ataque as cidades de Hiroshima e Nagasaki com uma bomba nuclear semelhante a Gadget, o que deixou mais de 200 mil mortos e milhares de feridos. Em 1986, um dos acidentes mais graves da história ocorreu em Chernobyl após a explosão de um reator da usina nuclear. Além das pessoas que morreram no momento da explosão, o acidente fez várias outras vítimas, pois uma nuvem radioativa que se formou da explosão provocou câncer e mutações genéticas a milhares de pessoas ao longo dos anos e até mesmo a seus descendentes.

Mas apesar dos efeitos destrutivos já observados no que se refere à interação da radiação com a matéria orgânica, muito foi desenvolvido para que esse recurso fosse utilizado de forma benéfica

para a humanidade. Hoje em dia, muitos diagnósticos e tratamentos médicos só são possíveis por conta de sua utilização e o controle de suas implicações tem sido feito de forma cada vez mais rigorosa.

OS TIPOS DE RADIAÇÃO

Como já dito, radiação pode ser definida de forma simples como “energia em trânsito” e pode ser classificada por fatores observáveis como sua fonte, efeitos e tipos.

Uma das classificações por fonte é a radioatividade, que é a propriedade que alguns elementos químicos possuem que permitem a emissão de radiações natural ou artificialmente. A radioatividade natural ocorre de forma espontânea em alguns elementos enquanto a artificial ocorre em transformações nucleares, como no processo de fissão nuclear por exemplo.

Por seus efeitos, as radiações podem ser classificadas como ionizantes e não ionizantes. As radiações ionizantes são capazes de arrancar elétrons de um átomo se sua energia for maior que a energia de ligação do átomo. Pelo espectro de ondas eletromagnéticas, somente os raios X e gama são considerados ionizantes. Além destes, partículas alpha e beta podem ser consideradas tipos de radiação ionizante.

As radiações não ionizantes são aquelas cuja energia não é suficiente para efetuar uma retirada de elétrons, embora possam quebrar ligações químicas. Elas estão por toda a parte, são as ondas de rádio, radiação emitida por celulares, Wi-Fi, lâmpadas, telas, etc. Geralmente estão associadas à geração de luz ou calor.

Ao observar seus tipos de emissão, as radiações podem ser caracterizadas por 5 formas: alfa (α), beta, (β), gama (γ), raios X e nêutrons (Org (1995)).

Na radiação alfa, são emitidas as chamadas partículas alfa, que são iguais a um átomo de Hélio por serem compostas por 2 prótons e 2 nêutrons. Estas possuem carga positiva de $2e$ e, no ar, podem ser bloqueadas por uma folha de papel ou a pele do corpo humano por não serem tão penetrantes.

Na radiação beta, as partículas beta emitidas são elétrons ou pósitrons (antimatéria do elétron). No ar, percorrem uma distância de aproximadamente 1 metro e podem ser bloqueadas por poucos centímetros de madeira.

Na radiação gama, diferente das radiações alfa e beta, a emissão se dá em forma de ondas eletromagnéticas. Estas percorrem centenas de metros no ar e tem penetrabilidade muito alta por conta de sua energia acima de 100 keV, fazendo necessária uma parede grossa de chumbo ou cimento para que haja seu bloqueio.

Estes 3 tipos de radiação (alfa, beta e gama) podem ser obtidos naturalmente a partir do processo de decaimento radioativo de alguns elementos ou isótopos com núcleo instável. Como exemplo desses elementos temos o Polônio (Po210), Tório (Th232) e o isótopo Gálio-67 (Ga67), que são emissores alfa, beta e gama, respectivamente. Os raios X são um outro tipo de radiação cuja emissão se dá por ondas eletromagnéticas, assim como radiação gama, porém, os raios X não são obtidos por decaimento radioativo. Além disso, eles são menos energéticos se comparados à radiação gama, tendo energia na faixa de 100 eV a 100 keV (Org (1995)).

Os nêutrons podem ser emitidos nos processos de fissão e fusão nuclear, de forma espontânea ou

induzida e também se fazem presentes em interações com raios cósmicos. Por conta de sua alta penetrabilidade esse tipo de radiação é muito utilizado em indústrias nucleares, aeroespaciais e como no exemplo histórico da Segunda Guerra Mundial, na indústria bélica.

O QUE A RADIAÇÃO CAUSA

Como já é de se imaginar, se estamos imersos num mar de radiações de diferentes tipos e penetrabilidades, é inevitável que soframos seus efeitos. Mas vale reforçar que a maioria dessas radiações são do tipo não ionizantes, ou seja, de baixa energia, o que quer dizer que seus efeitos a curto prazo não costumam ser prejudiciais. Já as radiações ionizantes exigem cuidados para evitar consequências indesejáveis durante sua exposição por causarem efeitos mais significativos num tempo muito curto.

Basicamente, todo nosso corpo é formado por átomos que se unem em moléculas. A união desses átomos se dá por forças elétricas de forma que a molécula se mantenha estável. Quando uma radiação ionizante arranca um elétron de um desses átomos, pode ocorrer uma desestabilização que resulta na quebra da molécula. Esse efeito pode ocorrer em moléculas de diferentes tamanhos, desde pequenas como moléculas de água a muito grandes como moléculas de DNA. Com isso, os mecanismos de ação podem ser diretos ou indiretos.

O mecanismo direto ocorre quando a radiação atua em moléculas como as de DNA, podendo causar efeitos que variam de mutação genética a morte celular (Yoshimura (2009)). No mecanismo indireto, a radiação atua quebrando moléculas de água, implicando na formação de radicais livres que podem atacar células importantes, como as de DNA. O processo descrito como mecanismo indireto é muito comum uma vez que nosso corpo é formado por cerca de

70% de água. Ele acontece de forma rápida e sequencial. Após a ionização do átomo (estágio físico que dura 10^{-15} s) e quebra das ligações da molécula (estágio físico-químico, dura 10^{-6} s), os fragmentos da molécula quebrada se ligam a

outras moléculas num processo químico que tem duração de poucos segundos. O próximo estágio (estágio biológico) pode durar desde dias a várias dezenas de anos, onde ocorrem efeitos bioquímicos e fisiológicos que alteram tanto a morfologia como a funcionalidade dos órgãos.

Os efeitos biológicos vão desde reações teciduais a efeitos estocásticos. As reações teciduais são resultado de uma alta dose de radiação e só aparecem acima da chamada dose limiar, que depende de fatores como o tipo de radiação e do tecido irradiado. A consequência mais comum é a morte celular, que pode não ser notada se ocorrida em poucas células mas que prejudica o funcionamento do órgão se ocorrer em grande quantidade (Okuno (2013)).

Os efeitos estocásticos se tratam de alterações que ocorrem em células normais, sendo o exemplo mais comum as neoplasias (câncer) e efeitos hereditários. Esses efeitos não dependem de uma dose limiar, podendo ser ocasionados até pela radiação natural.

Quando se aborda esse aspecto, é importante destacar que os efeitos da atuação de radiações ionizantes nos organismos vivos é cumulativo, o que significa que a exposição a doses pequenas por um tempo prolongado pode ter um efeito similar a uma dose mais elevada em um tempo mais curto.

ACIDENTES ACONTECEM...

Os efeitos nocivos das altas doses de radiação causam até hoje muito medo a muitas pessoas. Alguns acidentes ocorridos ao longo da história podem ter contribuído para a propagação desse temor. Quando se trata de acidentes que envolvem radiação há duas classificações: acidentes nucleares e acidentes radiológicos. Os acidentes ou emergências nucleares ocorrem em reatores nucleares e usinas cujo material é utilizado para fins de pesquisa ou geração de energia. Já os acidentes radiológicos são os que ocorrem com materiais radioativos no geral.

Desde o início das pesquisas utilizando reatores nucleares, por volta de 1942, via-se a energia nuclear como uma tecnologia muito promissora e também temia-se o poder destrutivo que a liberação de uma grande quantidade de radiação pudesse causar, baseado por exemplo, nos ataques realizados as cidades de Hiroshima e Nagasaki durante a Segunda Guerra Mundial. Apesar de todo o cuidado com a operação e funcionamento das usinas e reatores, ocorreram alguns acidentes nucleares ao longo da história, como o acidente de Windscale em 1957 e o acidente de Three Mile Island em 1979, mas o que ficou conhecido como o acidente nuclear mais grave da história aconteceu em 1986, o acidente nuclear de Chernobyl.

Acidente nuclear de Chernobyl

A Usina Nuclear V. I. Lenin foi construída nos primeiros anos da década de 70, a pouco mais de 15 km da cidade de Chernobyl, região onde hoje é a Ucrânia. No início da década de 80, a usina era responsável pelo fornecimento de cerca de 10% por cento da energia elétrica que abastecia a região, até que no dia 26 de abril de 1986, a explosão de um de seus reatores a levou a ter seu nome na história como o acidente nuclear mais grave da história.

A explosão do reator número 4 resultou numa reação em cadeia que espalhou uma nuvem radioativa na atmosfera que atingiu as regiões norte e central do continente europeu. Apesar das proporções da tragédia, os dados oficiais apontam que, como resultado imediato, apenas 31 pessoas morreram e outras 237 foram hospitalizadas pela exposição a altos níveis de radiação (Mould (2000)).

Porém, nos primeiros 10 dias após a explosão, o incêndio no reator provocou a liberação de dezenas de radionuclídeos (Saenko et al. (2011)), incluindo elementos voláteis como I-131, Sr-90 e Cs-137, sendo esse último o mais perigoso, por ter meia vida de 30 anos e ter se espalhado por uma região de área entre 125.000 e 146.000 km quadrados. Essa propagação dos elementos radioativos contaminou aproximadamente 8 milhões e meio de pessoas, provocando os mais diversos sintomas e problemas de saúde. O incêndio foi contido com ajuda de helicópteros que derramavam misturas de areia, argila, bicarbonato de cálcio e magnésio, boro e chumbo, e mesmo depois de pôr fim às chamas, o reator 4 precisou ser selado externamente com aço e concreto (Choppin et al. (2002)) Essa construção, chamada de Sarcófago, visou impedir que a liberação da radiação alcançasse a atmosfera, mas precisou ser reforçada por uma nova contenção chamada de Novo Confinamento Seguro, uma vez que a Comissão de Segurança Radioativa reportou, em 2002, que os níveis de radiação em Chernobyl estavam aumentando e o sarcófago aquecendo.

Vários anos após o acidente, foi comprovado um aumento significativo nos casos de câncer (principalmente de tireóide) e há registros de mutações genéticas em pessoas expostas à radiação no período do acidente, assim como em gerações seguintes. Além disso, o material radioativo ainda

presente no solo é espalhado também por fatores naturais como vento, chuva e o derretimento da neve na primavera, o que implicou no impedimento de várias atividades na região e a necessidade de um monitoramento constante dos níveis de radiação até os dias atuais.

Acidente radiológico de Goiânia

Pouco mais de 1 ano depois do acidente nuclear de Chernobyl, um acidente radiológico fez várias vítimas em Goiânia. O caso do céσιο-137, ocorrido em 13 de setembro de 1987, foi notificado em vários jornais do Brasil como “o maior acidente envolvendo radiação desde Chernobyl”. O caso ocorreu quando dois coletores de sucata encontraram uma cápsula de céσιο-137 que era utilizada pelo Instituto Goiano de Radiologia e foi abandonada quando o prédio foi desativado. Quando os sucateiros abriram a cápsula, se depararam com o sal de céσιο-137, um dos materiais radioativos expelidos também no acidente nuclear de Chernobyl. Esse sal tem coloração azul luminescente, o que fascinou as pessoas que encontraram, fazendo com que, após vender a cápsula no ferro-velho, levassem o material radioativo para mostrar a suas famílias. Os familiares manusearam o material radioativo e o distribuíram entre amigos, implicando a na exposição de um grande número de pessoas (Okuno (2013)).

A exposição ao material radioativo fez com que os contaminados apresentassem os primeiros sintomas em poucas horas após a contato. Vale destacar que só a exposição à radiação emitida pelo material, por um tempo prolongado, já seria suficiente pra causar danos consideráveis, e como no caso ocorrido em Goiânia, o contato direto com o elemento

radioativo intensifica ainda mais esses efeitos nocivos, o que implicou em 4 mortos e mais de 200 feridos na cidade (Okuno (2013)).

Pela falta de conhecimento sobre o que desencadeou esses sintomas em tantas pessoas e uma sequência de fatores, em pouco tempo vários pontos da cidade, como residências e locais públicos, já se encontravam contaminados. Somente no final do mês os sintomas observados foram conhecidos como os da síndrome da radiação (Okuno (2013)). Com isso, o físico Walter M. Ferreira, que trabalhava na Secretaria de Saúde de Goiás obteve um cintilômetro da agência local da NUCLEOBRÁS, o que possibilitou que, ao testar a cápsula, ela fosse reconhecida como a origem do problema.

A partir daí, com a supervisão da CNEN (Conselho Nacional de Energia Nuclear), foi iniciada uma operação para avaliar o nível e alcance da contaminação e o tratamento dos cidadãos expostos a ela (Choppin et al. (2002)).

SALVANDO VIDAS

Apesar das tragédias e do potencial destrutivo que a radiação tem ao agir sobre células e tecidos vivos, seu uso tem fundamental importância no avanço da medicina, uma vez que possa ser utilizada em procedimentos de diagnóstico e tratamento de doenças. O uso das radiações ionizantes se aplica desde os exames de imagem até os tratamentos de doenças.

As quantidades de radiação são cuidadosamente monitoradas de forma que os efeitos colaterais são mitigados ao máximo para que não comprometam a saúde do paciente. Durante alguns desses procedimentos, o efeito esperado é justamente a destruição de determinados tecidos, enquanto outros buscam apenas uma forma de adquirir informações sobre o funcionamento de órgãos ou

sistemas específicos. Em ambos os casos, deve-se levar em conta a dose limiar e a cumulatividade para as regiões irradiadas. Uma das maiores vantagens dos procedimentos de imagem que utilizam radiação é a obtenção de informações de forma não invasiva. O mais popular deles é raios X, que desde sua descoberta já se mostraram eficientes para a obtenção de imagens do sistema esquelético. Uma vez que sua energia não é suficiente para atravessar ossos, mas atravessa os demais tecidos do corpo, um feixe raios X forma, numa placa, uma imagem de contraste que permite reconhecer fraturas e anormalidades no sistema esquelético (Ziessman and O'Malley (2013)).

Os raios X também são utilizados na tomografia computadorizada, cujas imagens são em planos transversais (como fatias) e podem ser sobrepostas para formar uma imagem interna em 3D e detalhar a anatomia de dos órgãos internos. A medicina nuclear oferece suporte essencial a áreas médicas como cardiologia, neurologia e várias outras. Um dos seus principais exames é a cintilografia. A cintilografia se trata do uso de substâncias que emitem radiação, injetando-as no paciente. Ao alcançar a corrente sanguínea e se espalhar pelo corpo, essas substâncias, chamadas radiofármacos, podem se concentrar em diferentes localidades a depender de suas propriedades (Stannard and Baalman Jr). Eles são formados por moléculas ligadas a radioisótopos e emitem uma radiação de baixa intensidade que pode ser detectada pela câmara de cintilação e fornecer informações como áreas onde ocorre obstrução no fluxo sanguíneo, por exemplo. A emissão radioativa dessas substâncias se dá de forma espontânea e geralmente dura poucas horas (Ziessman and O'Malley (2013)).

Além do diagnóstico de determinadas patologias, alguns radiofármacos podem chegar a determinadas regiões e emitir radiação gama, causando a destruição das células locais. Os radiofármacos que atuam dessa forma são utilizados para se ligar a tumores e destruir as células cancerosas. Um exemplo comum é o iodo-137, que se acumula na tireóide e é a principal arma no tratamento de câncer nessa glândula.

A radioterapia consiste no uso da radiação ionizante no tratamento de câncer em geral. É uma área que se desenvolveu rapidamente e essencial para a contenção de agravamentos da doença. Com o objetivo de destruir as células cancerosas ou enfraquecer o tumor, retardando seu crescimento, a radioterapia utiliza doses maiores de radiação do que as utilizadas nos exames e rotinas de medicina nuclear, mas sua aplicação se dá de forma externa (Yoshimura (2009)). São 2 os tipos de tratamento radioterápico: a teleterapia ou radioterapia externa e a braquiterapia. Em ambas, por se tratarem de doses mais elevadas, o paciente é exposto à radiação de forma direta, porém, distribuída em doses diárias, para que a cumulatividade se encarregue de depositar na área desejada a energia necessária para provocar a morte celular.

Na teleterapia, a radiação é emitida a partir de equipamentos como aceleradores lineares, e para impedir que órgãos mais frágeis recebam uma dose maior que sua limiar, a emissão é feita por mais de uma fonte, de forma que os feixes fiquem sobrepostos na região onde a dose deve ser mais alta e os regiões delicadas como o reto. Já braquiterapia é uma abordagem mais agressiva, pois os aplicadores são posicionados diretamente sobre a região a ser tratada. Essa técnica é mais recomendável em casos mais específicos, onde a região afetada é mais externa e não exige um cuidado com órgãos delicados em suas proximidades.

Por conta da necessidade do controle da radiação utilizada para fins médicos, o monitoramento das doses entregues aos pacientes e profissionais da área de saúde durante seus serviços é feita de forma muito rigorosa. É exigida que haja blindagem nas salas onde os exames e tratamentos são realizados, blindagem essa que geralmente é feita com chumbo. Para a proteção dos profissionais e pacientes, é exigido que ocorra o menor tempo de exposição possível e que os profissionais se mantenham distantes durante os procedimentos para que não haja exposição desnecessária.

No Brasil, diretrizes básicas de medidas de segurança e saúde são apresentadas pela Norma Regulamentadora 32 do Ministério do Trabalho e é exigido que quaisquer unidades que utilizem radiação em suas atuações possuam um Plano de Proteção Radiológica, que entre outras ações, monitore o individualmente os funcionários expostos à radiação de acordo com os limites determinados pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) (De Radioproteção (2018)).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cuidado com o tempo de exposição e quantidade de radiação a que as pessoas envolvidas nas rotinas de usinas nucleares e unidades médicas que fazem seu uso, assim como a manutenção dos equipamentos e manipulação correta do material radioativo, inclusive no seu descarte, são fundamentais para evitar acidentes como os de Chernobyl e Goiânia. Apesar de todo o temor propagado pelos registros históricos de acidentes, a radiação não pode ser vista apenas como uma vilã. Principalmente na área de saúde, seu uso proporcionou um avanço tecnológico muito rápido, quer seja refinando exames de imagem de forma que sejam oferecidos diagnósticos cada vez mais precisos e prévios, ou otimizando tratamentos que melhoram a qualidade de vida e a longevidade de pacientes que possuem doenças que nem sempre podem ser curadas. Além disso, a radiação se faz útil também para que órgãos a serem transplantados sejam mantidos saudáveis por mais tempo, evitando que sua funcionalidade seja comprometida durante o transporte até o transplante.

A radiação deve ser cuidadosamente administrada para que seja utilizada como aliada no desenvolvimento da humanidade. Pois mesmo antes da sua descoberta e criação dos dispositivos tecnológicos que a emitem, ela já envolvia todos os seres vivos. A luz natural, emitida pelo sol, é essencial para a vida, ainda que seja advertido que em determinados horários e por tempos prolongados, a exposição a ela seja prejudicial à saúde humana. Por fim, como no ditado popular que diz que “a diferença entre o remédio e o veneno é a dose”, quando se trata de radiação isso não é diferente.

REFERÊNCIAS

- G. Choppin, J.-O. Liljenzin, and J. Rydberg. *Radiochemistry and Nuclear Chemistry*. Elsevier, 2002. doi: 10.1016/b978-0-7506-7463-8.x5000-6.
- S. De Radioproteção. alteração do item 6.1.1.2, alínea c. Technical report, 2018.
- R. F. Mould. Chernobyl record: The definitive history of the chernobyl catastrophe. *Chernobyl Record: The Definitive History of the Chernobyl Catastrophe*, pages 1–360, 2000. ISSN 0017-9078. doi: 10.1097/00004032-200101000-00020.

- E. Okuno. Efeitos biológicos das radiações ionizantes. Acidente radiológico de Goiânia. *Estudos Avançados*, 27(77): 185–200, 2013. ISSN 01034014. doi: 10.1590/S0103-40142013000100014. URL http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142013000100014&lng=pt&tlng=pt.
- E. Org. Publication Date. Technical report, 1995. URL <https://escholarship.org/uc/item/903703qv>.
- V. Saenko, V. Ivanov, A. Tsyb, T. Bogdanova, M. Tronko, Y. U. Demidchik, and S. Yamashita. The Chernobyl Accident and its Consequences. *Clinical Oncology*, 23(4):234–243, may 2011. ISSN 09366555. doi: 10.1016/j.clon.2011.01.502. URL <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0936655511005346>.
- J. N. Stannard and R. W. Baalman Jr. Radioactivity and health: A history. doi: 10.2172/6608787. URL <https://www.osti.gov/biblio/6608787>.
- E. M. Yoshimura. Física das Radiações : interação da radiação com a matéria Radiation Physics : interaction of radiation with matter. *Revista Brasileira de Física Médica*, 3(1):57–67, 2009.
- H. A. Ziessman and J. P. O'Malley. *Nuclear medicine: the requisites e-book*. Elsevier Health Sciences, 2013.