



Revista Interdisciplinar do Pensamento Científico. ISSN: 2446-6778
Nº 5, volume 5, artigo nº 109, Julho/Dezembro 2019
D.O.I: <http://dx.doi.org/10.20951/2446-6778/v5n5a109>
Edição Especial

O PARADOXO DAS RADIAÇÕES X

Alice Pontara Pazini Rodrigues¹

Graduanda em Medicina

João Pedro Delgado Furtado²

Graduando em Medicina

Ramon Machado Avelar³

Graduando em Medicina

Ludmilla Carvalho Rangel Resgala⁴

Docente do curso de Medicina da UniRedentor

Resumo

O raio X, representa um tipo de radiação eletromagnética que atravessa o corpo humano com frequências elevadas às obtidas a partir da radiação ultra violeta, atingindo valores superiores a 10^{18} Hz. Possui como principal função a produção de radiografias para análise de partes ósseas do corpo humano. É obtido através de um aparelho conhecido como Tubo de Coolidge, produzindo feixes de ondas eletromagnéticas capazes de atravessar materiais de baixa densidade como pele, músculos e vísceras, atenuando-se ao contato com materiais de maior densidade como os ossos, razão pela qual na realização de radiografias, estes últimos aparecem em coloração branca e visível, enquanto partes mais moles do corpo demonstram coloração opaca. Sabe-se que os efeitos biológicos produzidos a partir do contato entre as radiações ionizantes com o corpo humano decorrem da interação entre a radiação com as células que, a depender de seu tipo, podem possuir maior ou menor radiosensibilidade. Dessa forma, apesar do raio X representar avanço ao campo da medicina, tal prática deve ser realizada de forma prudente e adequada pois, apesar do corpo humano possuir mecanismos celulares de defesa contra radiações ionizantes, o seu uso inapropriado pode ser responsável por desenvolver mutações genéticas e somáticas.

Palavras-chave: Raio X, radiografia, radiação, radiosensibilidade, mutações genéticas, efeitos somáticos.

Abstract

¹ Centro Universitário Redentor, Itaperuna-RJ, alicepontara@gmail.com

² Centro Universitário Redentor, Itaperuna-RJ, jpdeldgado2016@gmail.com

³ Centro Universitário Redentor, Itaperuna-RJ, ramon_avelar@hotmail.com

⁴ Centro Universitário Redentor, Itaperuna-RJ, ludmillarangel@hotmail.com

The X-ray represents a type of electromagnetic radiation that crosses the human body with high frequencies to those obtained from the ultra violet radiation, reaching values higher than 10^{18} Hz. It's main function is the production of x-rays for analysis of bone parts of the human body. It is obtained through an apparatus known as the Coolidge Tube, producing electromagnetic wave beams capable of passing through low-density materials such as skin, muscles and viscera, attenuating contact with higher density materials such as bones, the latter appear in white and visible coloration in radiography, while softer parts of the body demonstrate opaque coloration. It is known that the biological effects produced from the contact between the x-ray with the human body arise from the interaction between the radiation with the cells which, depending on it's type, may have a higher or lower radiosensitivity. Although the X-ray represents an advance in the field of medicine, this practice must be carried out in a prudent and adequate way, because although the human body has cellular defense mechanisms against radiation, it's inappropriate use may be responsible for developing genetic and somatic mutations.

Keywords: X-ray, radiography, radiation, radiosensitivity, genetic mutations, somatic effects.

INTRODUÇÃO

Em 1895, através de um tubo de Crookes – ou tubo de raios catódicos – contendo dois eletrodos, Wilhelm Conrad Röntgen ficou conhecido como o responsável pela descoberta dos raios-X. Ele observou que esses raios eram capazes de atravessar grande parte dos objetos, inclusive a própria mão. O professor pediu, então, que sua esposa, Anna Bertha Roentgen, inserisse a mão no feixe desses raios, para que houvesse a impressão da imagem dos ossos dela em um filme fotográfico. Essa foi a primeira radiografia realizada no mundo e garantiu ao físico, em 1901, o Prêmio Nobel de Física (OKUNO, 2018, p. 23).



Figura 1- Fotografia de Wilhelm Conrad Röntgen

Fonte: IFSC (2012)



Figura 2- Primeira radiografia realizada no mundo da mão de Anna Bertha Ludwig, esposa de Wilhelm Conrad Röntgen

Fonte: À pala de walsh (2015)

Desde então, a técnica dos raios x aprimoram e desenvolvem, cada vez mais, diagnósticos por imagem de partes do corpo, principalmente dos ossos. Entretanto, estudos antigos já demonstraram que existem efeitos biológicos promovidos por esses raios, como especificado no seguinte trecho de GARCIA (1998, p. 323):

Emil H. Grubbé, em 1896, cerca de dois meses após Röntgen ter descoberto os raios X, apresentou-se ao Habnemann College, em Chicago, com manifestações de eritema, dor, edema, depilação e ulceração na mão esquerda. Grubbé fabricava e testava tubos de Crookes usados para produção dos raios X. Logo, os médicos relacionaram os seus males a uma exposição excessiva a esses raios. A síndrome apresentada por Grubbé ficou, a partir de então, conhecida como radiodermite.

Fica claro, portanto, a importância de uma avaliação precisa sobre os riscos desencadeados no procedimento da radiografia, em vista dos casos já relatados a respeito dos efeitos promovidos no corpo humano.

Na contemporaneidade, devido à difusão mais acentuada de informações, propiciada principalmente pela mídia e internet, sabe-se muito acerca dos possíveis efeitos biológicos no corpo humano desencadeados pelos raios-X. Porém, por conta do avanço tecnológico e consequente melhoria dos aparelhos e formação profissional dos operários, acredita-se que os perigos de uma possível disfunção corporal ser propiciada pelo contato a essas radiações eletromagnéticas tornaram-se quase inexistentes, pensamento este extremamente relativo do ponto de vista científico. Os riscos realmente diminuíram com o passar do tempo, pois a tecnologia corroborou para a melhoria das técnicas envolvidas no procedimento de raio-X. Entretanto a utilização desse fato como justificativa para a realização frequente e indiscriminada desse recurso seria um erro grave, pois ainda não se sabe ao certo a respeito das possíveis mutações genéticas e somáticas envolvidas no processo (ALMEIDA, 2007, p. 6).

Desse modo, este artigo tem como objetivo a análise quanto aos efeitos biológicos desencadeados pelos raios-X, a fim de quebrar o senso comum envolvido no processo e auxiliar o leitor a um pensamento mais objetivo, crítico e claro em relação ao assunto. Para isso, o trabalho acadêmico conta com a caracterização da radiosensibilidade, dos mecanismos celulares de defesa, como também dos efeitos genéticos e somáticos envolvidos nas radiações X.

METODOLOGIA

Trata-se de uma pesquisa bibliográfica com suporte teórico de textos presentes em diversos artigos de outros autores, presentes em plataformas digitais e em alguns livros de referência. Além disso, palavras-chave como: radiações X, efeitos somáticos e efeitos genéticos serviram como fonte de busca nas plataformas de pesquisa.

REFERENCIAL TEÓRICO

O raio-X, descoberto em 1895 por Roentgen (LIMA *et al.* 2009; OKUNO, 2018), é, atualmente, um dos meios mais utilizados nos âmbitos hospitalares para a identificação de certas patologias, contudo, muito se discute a respeito dos efeitos biológicos que a utilização dessa ferramenta pode causar na vida dos seres humanos. Estipula-se que há uma relação direta de proporcionalidade entre tempo de exposição e os efeitos nocivos no organismo humano (GARMAN E WEIK, 2013; OKUNO, 2013; MULVIHILL *ET AL.* 2017). Logo, quanto maior é o tempo de exposição, maiores serão as chances de o organismo sofrer algum tipo de efeito da radiação.

Assim como definido por Garcia (1998, p.325), “os efeitos biológicos provocados pelas radiações ionizantes podem ser somáticos, quando se manifestam no próprio indivíduo irradiado, ou genéticos, quando se manifestam nos seus descendentes”. Nota-se, então, que há uma variedade de consequências fisiológicas desencadeadas a partir do contato humano com esse tipo de radiação.

A alteração estimulada pelo contato com a radiação pode ocorrer por dois tipos de mecanismos: o mecanismo direto e o indireto. O mecanismo direto é responsável pela mutação ou necrose celular, além de ser responsável pela mutação das células de DNA. O mecanismo indireto atua sobre a água, composto este encontrado em abundância no organismo humano, o que propicia a liberação de radicais livres os quais podem inativar mecanismos celulares e, também, promover alterações no material genético. (OKUNO, 2013; GONÇALO E BOTELHO, 2007)

De acordo com Veludo (2011, p.24) e Garman e Weik (2013, p.24), a exposição à radiação emitida pelo raio-X pode ocasionar uma quebra ou mutação da célula do ácido

desoxirribonucleico (DNA). Em casos de alterações das células do DNA, a preocupação se dá pela possibilidade de tal mutação ser transmitida aos descendentes. (GONÇALO E BOTELHO, 2012; OKUNO 2013)

Verificou-se, também, que doses altas de exposição ao raio-X, acima do limiar específico de cada tecido celular, são capazes de ocasionar morte ou substituição celular (OKUNO, 2013; GONÇALO E BOTELHO, 2012). As alterações biológicas sofridas por um indivíduo que obteve contato com o raio-X, advém de mudanças de natureza química singular em cada célula afetada (AZZI, 2013). A relação entre a utilização do raio-X e o desenvolvimento de câncer é muito estudada e houve indícios de crianças diagnosticadas com leucemia que, teriam, possivelmente, sido submetidas a maiores exames de raio-X. (MUVHILL ET AL. 2017)

INDICAÇÕES

Os Raios-X são indicados para o diagnóstico de partes internas do corpo, como ossos e músculos. Apesar de desenvolverem alguns efeitos biológicos no organismo humano, tem se mostrado uma ótima ferramenta médica no diagnóstico preciso de alterações fisiológicas. Desse modo, pelos riscos de desencadear alterações biológicas, devem ser indicados em situações e casos que realmente necessitem da utilização do aparelho, caso contrário deve-se evitar (RODRIGUES et al., 2010).

SEÇÕES

1. A RADIOSENSIBILIDADE E OS MECANISMOS CELULARES DE DEFESA

O conceito de radiosensibilidade pode ser definido como um fator individual inerente a cada tipo celular, nos quais são associados diferentes níveis de alterações decorrentes de radiações ionizantes projetadas sobre o corpo humano. (DE SOUZA E SILVA, 2014).

Como se sabe, a radiação ionizante ocorre a partir de um processo de modificação estrutural da água conhecida como “radiólise da água”, processo no qual a radiação recebida interage com as moléculas de H₂O, levando-as a um estado excitatório ou mesmo possibilitando a formação de radicais livres, moléculas muito reativas e ausentes de carga elétrica. A radiólise também é capaz de formar radicais peróxidos livres, radicais orgânicos e radicais hidroperóxidos capazes de causar morte celular. (GARCIA, 2002)

Segundo a compreensão conhecida como “Lei de Bergonié e Trinbodeau”, a radiosensibilidade das células varia, sendo observados os seguintes aspectos:

- a) Quanto mais diferenciada a célula, menor a radiosensibilidade
- b) Quanto mais novo o tecido ou órgão, maior a radiosensibilidade
- c) Quanto maior a atividade metabólica, maior a radiosensibilidade

d) Quanto maior a taxa proliferação celular, maior a radiosensibilidade

Tomando por base tais entendimentos no que tange à radiosensibilidade das células, oriunda dos efeitos ionizantes do raio-X, é notório que as que apresentam maiores alterações quando em contato com radiação, por possuírem alta sensibilidade, são as células mitóticas e células de menor especificidade, na mesma medida em que células musculares ou nervosas possuem baixíssima sensibilidade (GONÇALO & BOTELHO, 2007).

Dessa forma, células originadas pelo sistema reprodutor ou mesmo células sanguíneas advindas do tecido hematopoiético por exemplo, representam tipos de células que recebem maiores efeitos pela radiação. Logo, células que por alguma alteração, obtiveram seu código genético modificado durante os consecutivos processos mitóticos, originadoras muitas vezes de tumores cancerosos, são suscetíveis a tratamento por meio de radiações ionizantes. (GARCIA, 2002)

Apesar das afirmativas acima possuírem coerência, no campo prático não podem ser consideradas absolutas visto existirem exceções.

Uma exceção a essa regra são os linfócitos que, apesar de terem baixa taxa de divisão, são extremamente sensíveis à radiação. Também fogem à regra determinados tumores malignos como os melanomas, os sarcomas osteogênicos, vários adenocarcinomas e lipossarcoma indiferenciado, que apesar de apresentarem alta taxa de divisão celular, são radioresistentes. Os linfomas e linfosarcomas têm reduzida atividade mitótica, mas, a despeito disso, são radiosensíveis. (GARCIA, 2002)

Ainda assim, sabe-se que os níveis de radiosensibilidade também podem variar de indivíduo para indivíduo, independentemente de os componentes celulares testados serem semelhantes, condição conhecida como radiosensibilidade individual.

Ao levar em consideração que tais níveis variam de pessoa para pessoa, é importante que seja realizada a averiguação específica a cada paciente. Como o objetivo de tornar mais efetivos os tratamentos utilizados com raios ionizantes, levando em consideração que grande parte dos efeitos negativos obtidos de tal prática decorrem de danos às células saudáveis próximas aos locais tratados, resultado de uma intensidade muitas vezes maior do que as células suportam. (DE FREITAS E SILVA, 2011).

Apesar dos nocivos efeitos provenientes da radiação, o organismo humano possui diversos mecanismos de defesa contra os mesmos. Entre eles, a proteção pode ser realizada através de enzimas denominadas catalase, superóxido desmutase e peroxidase, capazes de combater tanto os radicais peróxidos quanto os superóxidos produzidos pela radiólise da água. Além disto, o corpo humano ainda poderá contar com a ação dos antioxidantes naturais (vitaminas C e E), capazes de inutilizar a ação dos radicais livres. (GARCIA, 2002)

2. EFEITOS GENÉTICOS DAS RADIAÇÕES

Os efeitos biológicos desencadeados por radiações ionizantes, como os raios X, são do tipo genéticos quando se manifestam nos descendentes do indivíduo irradiado (GARCIA, 1998). Ou seja, “São aqueles que podem surgir quando os órgãos genitais (reprodutores) são expostos às radiações ionizantes, afetando as futuras gerações do indivíduo irradiado” (AMORIM & JUNIOR, 2016 p.1).

Consoante à ALMEIDA (2007 p. 6), sabe-se que o ácido desoxirribonucleico (DNA) contém toda a informação genética de um indivíduo, a qual é transferida para a geração seguinte. Portanto, manter o equilíbrio entre os genes – sequência de DNA responsável por codificar um polipeptídeo – é essencial para manter todas as células vivas e no pleno funcionamento. Entretanto, o núcleo celular é o componente citoplasmático mais afetado pelas chamadas radiações ionizantes, como os raios-X, por exemplo. Assim, a realização desses exames-diagnóstico por determinado indivíduo pode causar danos no DNA, o que possivelmente promove a perda de informação genética, comprometendo, assim, a expressão correta dos genes. Com isso, as instruções exatas e precisas para a divisão celular e para a síntese efetiva dos componentes estruturais das células acabariam sendo envolvidas e tais mutações seriam, muito possivelmente, transmitidas aos descendentes de tal indivíduo.

Tal fato não inviabiliza o uso dos raios-X, pois apesar de representarem um risco biológico, são muito efetivos na análise de fraturas e afins. Além disso, assim como foi esclarecido por NOUAILHETAS et al., 2005

Em decorrência do processo de diferenciação celular, apenas uma parcela das moléculas de DNA codifica genes ativos em um tipo particular de célula. Assim sendo, no caso de exposição às radiações, a probabilidade de que genes funcionais tenham sua estrutura alterada é relativamente pequena. Segundo este raciocínio, mutações podem ser acumuladas sem que as células manifestem qualquer efeito.

Desse modo, a chance dessas radiações causarem efeitos totalmente imediatos ao corpo humano é mínima, pois o organismo possui um mecanismo responsável por evitar as possíveis mutações genéticas. Porém quanto maior for o contato com esses raios-X, maior a probabilidade de alteração dos genes, o que pode ou não gerar disfunções na formação do bebê.

RESUMO: CONSEQÜÊNCIAS DA IRRADIAÇÃO DA MOLÉCULA DE DNA

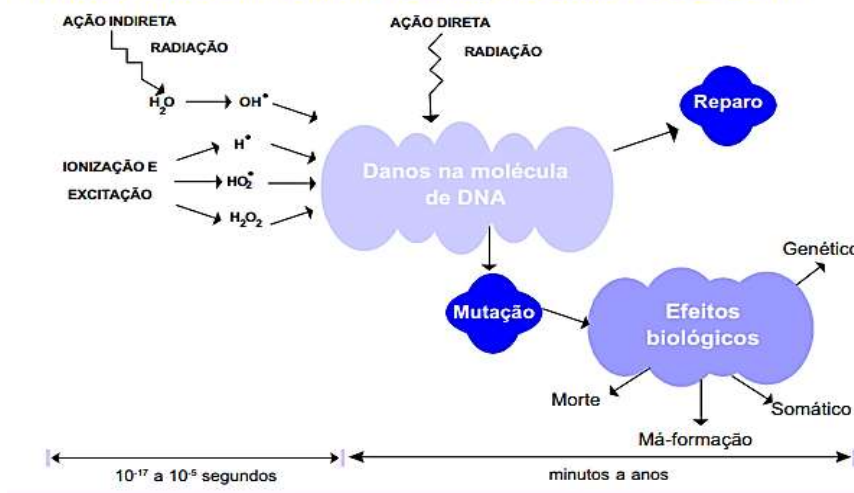


Imagem 3: Consequências da irradiação da molécula de DNA

Fonte: CNEN, 2005

3. EFEITOS SOMÁTICOS DA RADIAÇÃO

Importante salientar que quando a radiação ultrapassa o limiar, tornam-se evidentes as consequências da exposição prolongada. A gravidade desses episódios depende diretamente do tempo de exposição e da quantidade de células e de tecidos que foram afetados pelas doses de radiação recebidas (GONÇALO & BOTELHO, 2007; OKUNO, 2013; MULVIHILL, 2017).

Um dos efeitos causados pela ultrapassagem desse limiar é, por exemplo, a morte celular (OKUNO, 2013; AZZI, 2013). O mecanismo biofísico envolvido nesse processo se refere à lesão celular irreversível por necrose, em que, por alguma mutação desencadeada pela exposição à radiação no núcleo da célula, estímulos são enviados, através das junções GAP, desencadeando em uma série de outras mortes celulares, as quais geram danos recorrentes nos tecidos e, a longo prazo, nos órgãos. Configura-se, portanto como um efeito somático, ou seja, manifestado no próprio indivíduo irradiado (NOUAILHETAS et al., 2005). Entretanto, é necessária uma perda de células altamente significativa para que os órgãos e tecidos, de fato, apresentem efeitos patologicamente expressivos (VELUDO, 2011).

Ademais, notou-se que quanto maior a exposição aos raios-X, maiores as chances de os indivíduos desenvolverem câncer (OKUNO, 2013; MULVIHILL, 2017; AZZI, 2013), proliferação anormal de células, deficiências no tecido hematopoiético (AZZI, 2013) ou a formação de um tumor (MULVIHILL, 2017). Notório enfatizar, portanto, na necessidade de se compreender o fato de os efeitos serem sinalizados pelo organismo de maneira imediata, quando aparece nos dois primeiros meses após o contato com a radiação, ou de maneira tardia, quando os efeitos são manifestados após dois meses (GARCIA, 1998).

Outrossim, a característica de alta penetração dos raios x nas células viabiliza que exposições agudas a essa radiação, demasiadamente acima dos limiares normais e recomendados, causem efeitos a curto e a longo prazo (GONÇALO & BOTELHO, 2007; GARCIA, 1998). Uma exposição aguda de corpo inteiro só começa a surtir os efeitos somáticos, de maneira imediata, a partir da dose absorvida de, aproximadamente, 4Gy (400 rad) (GONÇALO & BOTELHO, 2007), como observado na tabela 1.

Tabela 01 – Efeitos físicos da radiação para exposições agudas de corpo inteiro

| EFEITOS FÍSICOS DA RADIAÇÃO PARA EXPOSIÇÕES AGUDAS DE CORPO INTEIRO | |
|---|--|
| DOSE Gy (RAD) | RESULTADO |
| < 0,25 (< 25) | Não há efeitos clínicos detectáveis |
| 0,5 (50) | Ligeiras alterações sanguíneas |
| 1 (100) | Alterações hematológicas |
| 2 (200) | Alterações hematológicas, náusea ligeira, vômitos e fadiga |
| 4 (400) | Alterações hematológicas, náusea, vômitos, fadiga, anorexia, diarreia, algumas mortes em duas a seis semanas |
| 7 (700) | Morte em dois meses para exposições de corpo inteiro |

Fonte: Fundamentos e aplicações em fisiopatologia (2007)

O aumento da absorção das doses recebidas pelos raios-X, desencadeia em um progressivo agravamento no quadro de saúde do indivíduo. Em casos de sobrevivência a essa alta exposição de radioatividade, os efeitos tardios como cânceres, cataratas, eritemas e tumores malignos podem ser observados depois de algum tempo, uma vez que as células somáticas também reagem de maneira tardia à excitação causada por essas radiações (GONÇALO & BOTELHO, 2007).

Segundo Mulvihill *et al.* (2017, p.1456-1457), estudos feitos a respeito do desenvolvimento de leucemia em crianças demonstraram que as crianças acometidas por essa patologia têm uma maior probabilidade de terem utilizado o raio-X para diagnóstico de patologias anteriores. A exposição influenciou de tal maneira que houve alterações nas células do tecido hematopoiético e assim, o desenvolvimento do câncer foi observado. Contudo, vale ressaltar que a maior faixa de risco para o desenvolvimento de leucemia foi visualizada dentre as crianças que tiveram mais de uma parte do corpo exposta aos raios-X.

Desse modo, os efeitos biológicos da exposição ao raio-X não são apenas negativos. Pesquisas recentes mostram que, devido ao rápido progresso nos estudos das nanotecnologias e dos raios-X, o alto poder de penetração dos raios-X nos organismos e tecidos vivos, permite que sejam ativados nanossistemas para o tratamento de câncer (CHEN *ET AL.* 2019).

CONCLUSÃO

Diante de todos os dados e conteúdos expostos neste artigo, foi possível obter a compreensão a respeito dos efeitos biológicos, genéticos e somáticos envolvidos nas radiações X, bem como discorrer a respeito da radiosensibilidade das células a este tipo de radiação e seus mecanismos de defesa contra a mesma.

Depreendeu-se que os efeitos biológicos do raio-X têm a capacidade de manifestar-se de duas formas diferentes: reagindo diretamente com a água, formando radicais livres e outros compostos reativos ou pela ocorrência de mutação/necrose celular. Inferiu-se também que altas concentrações de raio-X são capazes de promover alterações químicas nas células afetadas, ensejando muitas vezes em morte ou substituição celular.

Quanto aos efeitos ocasionados nas células somáticas, constatou-se que a radiação X causa maior sensibilidade às células que possuem alta taxa de divisão ou mesmo células indiferenciadas, excitando ou ionizando seus átomos e proporcionando alterações biológicas. Restou demonstrado que a radiação possui um certo limite de tempo de contato com as células, de forma que quanto maior o tempo de exposição do indivíduo sobre o raio-X, maiores são as chances deste desenvolver um quadro negativo, podendo apresentar patologias diversas como cataratas e tumores.

Discutiu-se ainda a respeito da radiosensibilidade individual proveniente de cada tipo celular constatando que, de forma geral, células mais novas, com maior taxa metabólica ou nível de divisão mais elevado tendem a sofrer muito mais com os efeitos da radiação do que outros tipos, por exemplo. Também foram mencionados alguns dos mecanismos de defesas provenientes do próprio corpo humano, utilizados para combater os efeitos nocivos da radiação, sendo comentadas algumas enzimas específicas e vitaminas antioxidantes, ambas atuando contra as reações advindas de radicais livres.

Concluiu-se então, que apesar dos efeitos ionizantes do raio-X trazerem benefícios ao campo médico em diversas situações, sendo de grande utilidade na maioria dos casos, o uso deste deve ser feito com cautela e sob supervisão adequada, evitando que possíveis concentrações desnecessárias tragam efeitos adversos ao material celular que precisa ser tratado, bem como suas adjacências.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Pedro Silva de. DOSIMETRIA BIOLÓGICA: avaliação da exposição às radiações ionizantes através de efeitos biológicos induzidos. 2007.

AMORIM, Camilla Morais Almeida; JUNIOR, Paulo Pinhal. OS EFEITOS BIOLÓGICOS E OS RISCOS ASSOCIADOS AOS RAIOS X. **UNILUS Ensino e Pesquisa**, v. 13, n. 30, p. 242, 2016.

AZZI, Gabriel Luis. **Radioproteção para Laboratórios de Pesquisa: Instruções e Procedimentos**. Novas Técnicas. Rio de Janeiro. v.3, n.3, p.17-23, 2013.

CHEN, Xiaofeng; SONG, Jibin; CHEN, Xiaoyuan; YANG, Huanghao. **X-ray-activated nanosystems for theranostic applications**. Chemical Society Reviews. 2019.

DE FREITAS E SILVA, Rafael. **Análise de parâmetros apoptóticos em Linfócitos humanos e seu potencial para estimar a radiosensibilidade individual**. 2011. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

DE SOUZA SILVA, Elaine Cristina; CAVALCANTI, Mariana Brayner; CARNEIRO, Paula Frassinetti Pereira. Radioterapia versus Radiosensibilidade Individual. **Caderno de Graduação-Ciências Biológicas e da Saúde-FACIPE**, v. 1, n. 3, p. 111-117, 2014.

GARCIA, EDUARDO AC. Biofísica—São Paulo. 1998.

GARMAN, Elspeth F.; WEIK, Martin. **X-ray radiation damage to biological macromolecules: further insights**. Journal of Synchrotron Radiation, International Union of Crystallography, 2009.

GONÇALO, Margarida; BOTELHO, Filomena. **Radiações e eletricidade**. Fisiopatologia. Lisboa. p.79-102, 2007.

GONÇALO, Margarida; BOTELHO, Maria Filomena. Radiações e electricidade. 2007.

LIMA, Rodrigo da Silva *et al.* **Raios-x: fascinação, medo e ciência**. Química nova. São Paulo, v.32, n.1, p.263-270, 2009.

MULVIHILL, David J. **Diagnostic Medical Imaging in Pediatric Patients and Subsequent Cancer Risk**. Academic Radiology. v.24, n.11, p.1456-1462, 2017.

NOUAILHETAS, YANNICK et al. Radiações Ionizantes e a vida. **Rio de Janeiro: CNEN**, 2005.

OKUNO, Emico. **Efeitos biológicos das radiações ionizantes. Acidente radiológico de Goiânia**. Estudos avançados. São Paulo. v.27, n.77, 2013.

OKUNO, Emico. **Radiação: efeitos, riscos e benefícios**. Oficina de Textos, 2018.

RODRIGUES, Marcus Gustavo Silva et al. Tomografia computadorizada por feixe cônico: formação da imagem, indicações e critérios para prescrição. **Odontologia Clínica-Científica (Online)**, v. 9, n. 2, p. 115-118, 2010.

VELUDO, Patrícia Carvalho. **Efeitos da radiação X e níveis de exposição em exames imagiológicos: inquéritos a clínicos gerais**. 2011

Sobre os Autores

Alice Pontara Pazini Rodrigues: Aluna do curso de Medicina do Centro Universitário Redentor. E-mail: alicepontara@gmail.com

João Pedro Delgado Furtado: Aluno do curso de Medicina do Centro Universitário Redentor. E-mail: jpdelgado2016@gmail.com

Ludmilla Carvalho Rangel Resgala: Docente do curso de Medicina do Centro Universitário Redentor. E-mail: ludmillarangel@hotmail.com

Ramon Machado Avelar: Aluno do curso de Medicina do Centro Universitário Redentor. E-mail: ramon_avelar@hotmail.com

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus por toda força espiritual concedida a nós durante nossa graduação em Medicina. Agradecemos também à professora Ludmilla por todos os ensinamentos, dicas e conselhos incríveis para alcançarmos o resultado final deste artigo: a construção de um trabalho repleto de conhecimento acerca dos efeitos biológicos da radiação. O sentimento de gratidão é enorme por vermos que todo o planejamento e esforço resultaram neste trabalho repleto de informações úteis.