

## **Radiação: má ou boa**

*Francisco Caramelo*  
*Ana Margarida Abrantes*  
*Ana Salomé Pires*  
*Maria Filomena Botelho*

Instituto de Biofísica da Faculdade de Medicina, Universidade de Coimbra (FMUC). Centro de investigação em Meio Ambiente, Genética e Oncobiologia (CIMAGO), Portugal

A palavra “radiação” suscita no público em geral um sentimento de apreensão e preocupação porque surge demasiadas vezes associada a efeitos nefastos. São exemplos gritantes desta associação acontecimentos recentes como o de Fukushima, ou outros mais longínquos, como Chernobyl ou mesmo Hiroshima e Nagasaki. É certo que em todos estes acontecimentos a palavra “nuclear” também é referida podendo suscitar verdadeiro pânico. Existem ainda outras relações frequentemente abordadas como os efeitos deletérios na saúde por parte da radiação electromagnética dos telemóveis, das antenas, dos fornos de micro-ondas e de muita da parafernália electrónica que nos rodeia. Também é certo que todos os cuidados com a exposição solar são poucos pois a radiação ultravioleta aumenta o risco da pele, em especial o melanoma. Este é um dos aspectos da radiação, mas não é o único e o seu conhecimento aprofundado permite a sua utilização com propósitos positivos diminuindo riscos e maximizando benefícios. É isso que tem sido feito na área da saúde, desde há muitos anos, sendo a radiação amplamente usada na prática clínica tanto na área do diagnóstico como da terapêutica. Actualmente, existe um conhecimento alargado dos efeitos biológicos da radiação ionizante e da radiação não ionizante, mas ainda existem pontos menos claros que têm movido diversos grupos de investigação no sentido de melhorar a nossa compreensão global sobre o fenómeno.

No texto seguinte procura-se esclarecer determinados aspectos da radiação abordando-se as suas utilizações mais frequentes na medicina. Não é possível descrever a imensidão de aplicações que a radiação tem no mundo da medicina nem mesmo explorar as mais importantes com igual profundidade. Por esta razão, apresentam-se apenas algumas das técnicas mais conhecidas analisando-se com maior profun-

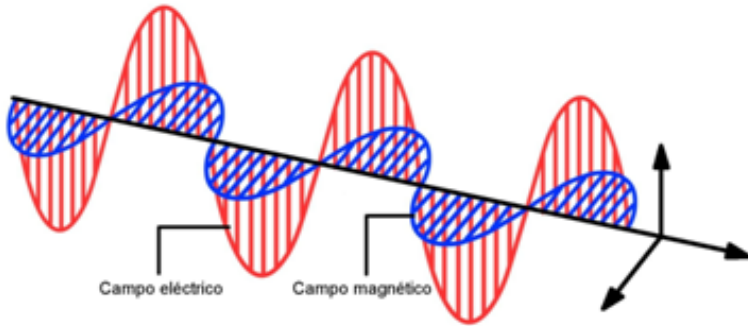
didade aquelas que maior impacto têm tido e as de, eventualmente, maior risco.

O fenómeno luminoso sempre intrigou a humanidade, desde logo pela capacidade de perceber o mundo que nos rodeia pela visão. Ao longo da história, diversas teorias foram sendo avançadas para explicar a luz e as suas manifestações destacando-se duas abordagens distintas: a teoria corpuscular proposta por Newton (1643-1727) e a teoria ondulatória proposta por Huygens (1629-1695). Segundo a teoria de Newton a luz seria composta por pequenas partículas o que permitia explicar alguns fenómenos como a reflexão e a refração da luz, no entanto, lidava mal com a interferência da luz que seria melhor explicada pela teoria ondulatória. O conceito de onda associado à luz foi estendido para a radiação infravermelha quando em 1800 Herschel (1738-1822) ao estudar a temperatura das diversas cores, dispersas por um prisma, notou que a temperatura era máxima numa zona além do vermelho. Herschel teorizou que a temperatura era alterada por efeito de raios *caloríficos* que não eram visíveis. Mais tarde, Ritter (1776-1810) verificou efeitos sobre reacções químicas no outro extremo do espectro visível. Notou que determinadas reacções químicas eram influenciadas por luz violeta e também por uma zona do espectro que ficava para lá do violeta denominada mais tarde por ultravioleta.

Em 1845, Maxwell (1831-1879) resumiu numa única teoria, com um conjunto de 4 equações, o conhecimento experimental no campo da electricidade e do magnetismo adquirido por cientistas como Volta (1745-1827), Ampère (1775-1836), Oersted (1777-1851), Ohm (1789-1854) e Faraday (1791-1867), entre outros. Uma das consequências destas equações é a relação entre o campo magnético e o campo eléctrico e outra é o aparecimento da forma clássica de uma onda descrita por uma equação diferencial de segunda ordem. Por outro lado, a velocidade de propagação desta onda, determinada teoricamente a partir de constantes do espaço, como a permissividade eléctrica e a permeabilidade magnética, tem um valor muito próximo da velocidade da luz medida experimentalmente. Esta constatação levou Maxwell a afirmar que existia uma forte razão para acreditar que a luz e outras manifestações radiantes deveriam também ser uma perturbação electromagnética governada pelas mesmas equações. É desta forma que actualmente se entende a luz, em particular, e a radiação em geral. Ou seja, a radiação é tida como uma onda composta por um campo eléctrico e um campo magnético variáveis e perpendiculares entre si, denominando-se simplesmente por onda electromagnética (Fig. 1).

Note-se que as equações de Maxwell não limitam o comprimento de onda ou a frequência das ondas electromagnéticas admitindo, portanto, a existência de diferentes tipos de onda variando entre si segundo estas características. Por

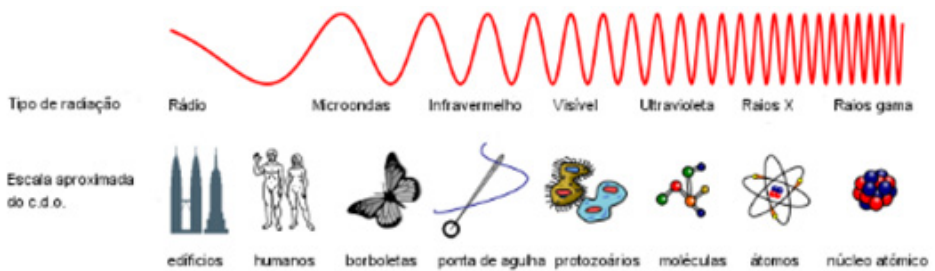
consequente, é usual apresentar a radiação electromagnética num gráfico segundo a frequência, o comprimento de onda ou a energia da radiação. Este gráfico é conhecido por espectro electromagnético e apresenta zonas com denominações



próprias (Fig 2).

Fig. 1 – Esquema de uma onda electromagnética

Fig. 2 – Espectro de radiação electromagnética. (Modificado a partir de [https://pt.wikipedia.org/wiki/Espectro\\_eletromagn%C3%A9tico](https://pt.wikipedia.org/wiki/Espectro_eletromagn%C3%A9tico))



As bandas têm fronteiras difusas e a sua origem está associada à interação com a matéria. As bandas geralmente descritas são as ondas de rádio, microondas, infravermelho, visível, ultravioleta, radiação X e radiação gama. É importante referir que a nomenclatura fotões X significa que os mesmos têm origem em processos energéticos da nuvem electrónica enquanto que fotões gama é referente a processos ocorridos no núcleo. Geralmente a energia dos fotões X é menor do que a dos fotões gama, mas pode haver casos em que não seja assim. A divisão no espectro electromagnético tem por base o caso mais geral, sendo importante enfatizar que as fronteiras entre as bandas são difusas.

A banda correspondente às ondas de rádio compreende comprimentos de onda desde as centenas de metros até aproximadamente um metro. Este tipo de radiação é usada predominantemente para comunicação: televisão, rádio, telemóvel e redes sem-fio. No campo médico a radiofrequência é usada na ressonância magnética e em dispositivos de ablação térmica. A ressonância magnética (Fig. 4)

é uma técnica de imagem utilizada na medicina para obter imagens em vários planos de diferentes partes do corpo. Utilizando ondas de radiofrequência num forte campo magnético, apresenta-se como uma metodologia de imagem com efeitos biológicos mínimos.

Fig. 3 – Bandas do espectro de radiação electromagnética.

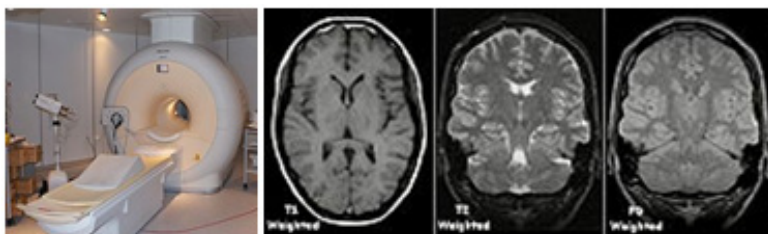
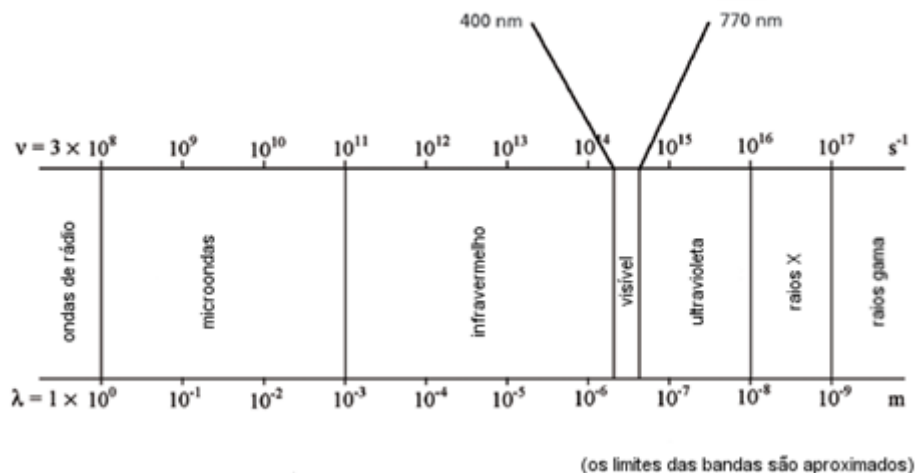


Fig. 4 – a) scanner de ressonância magnética. b) exemplo de imagens obtidas por ressonância magnética.

a)

b)

A ressonância magnética é uma técnica imagiológica muito versátil permitindo a obtenção de imagens tridimensionais que podem ser estruturais ou funcionais. Uma vez que a ressonância magnética permite o uso de diferentes protocolos é possível obter diferentes tipos de imagens estruturais com informação clínica diferente. Além disso, possibilita a aquisição de imagens funcionais com ou sem agentes de contraste.

Na sua maioria os efeitos biológicos reportados dizem respeito ao movimento de alguns objetos constituídos por elementos ferromagnéticos e que são constituintes de implantes. Para além disso o aumento da temperatura é um dos efeitos

a considerar tendo em conta a indução de correntes elétricas.

O comprimento de onda das microondas varia aproximadamente entre o metro e o milímetro. As suas aplicações mais conhecidas são o radar e os fornos de microondas para aquecimento de alimentos. Na medicina, as microondas são usadas nalguns instrumentos de ablação de tecido que operam em comprimentos de onda entre as ondas de rádio e as microondas. O aquecimento dos tecidos provocado por estes instrumentos levam à necrose dos mesmos pelo que são usados nalgumas terapias anti-cancro. Os efeitos biológicos desta radiação são essencialmente de aquecimento originado pela vibração de moléculas polares.

A banda infravermelho engloba comprimentos de onda desde o milímetro até aos 400 nm onde se inicia a banda da radiação visível. À temperatura ambiente os corpos irradiam maioritariamente na banda do infravermelho daí que as aplicações com infravermelhos incluam naturalmente detectores de calor. Na medicina a termografia, isto é a obtenção de imagens na banda do infravermelho, é uma técnica usada para determinar regiões mais quentes do corpo que podem ser indicação de uma lesão maligna. Outra aplicação simples é a identificação entre a multidão de pessoas com estados febris que podem resultar de uma doença potencialmente contagiosa e que, por isso, importa colocar de quarentena. Em muito aeroportos esta é uma medida de segurança implementada em casos de pandemia como o que aconteceu com a gripe H1N1.

A zona respeitante à radiação visível corresponde a uma estreita banda de comprimentos de onda entre 770 nm e 400 nm. Esta é a região da radiação emitida pelo Sol que chega à superfície da Terra com maior intensidade e, por razões de evolução biológica percebemos o mundo nesta gama de comprimentos de onda ou de cores como é mais comum dizer-se.

A banda dos ultravioletas corresponde aproximadamente aos comprimentos de onda compreendidos entre os 770 nm e 10 nm. Cerca de 10% da radiação emitida pelo Sol é ultravioleta mas uma elevada percentagem é filtrada pela atmosfera por interação com o nitrogénio e com o oxigénio. A radiação ultravioleta mais energética (menor comprimento de onda) é capaz de ionizar átomos e a radiação ultravioleta de energia média tem a capacidade de quebrar ligações químicas o que em tecidos vivos pode levar a efeitos biológicos (e.g. queimadura solar) e também a possíveis danos irreversíveis no DNA. Deste ponto de vista, a atmosfera terrestre é essencial para a existência de vida pois atenua grandemente a radiação ultravioleta deixando passar apenas cerca de 3% da radiação ultravioleta menos energética onde se encontra a radiação ultravioleta A e B.

A radiação UV é conhecida também pelos seus efeitos deletérios sobre bactérias e vírus sendo por isso usada nos hospitais como agente germicida para a

esterilização de instrumentos e da atmosfera de blocos cirúrgicos.

Mais energética do que a radiação ultravioleta é a radiação X cujo comprimento de onda se encontra aproximadamente no intervalo 10 nm a 1 nm. Como o comprimento de onda é mais curto do que a ultravioleta, a capacidade de ionização também é maior e a probabilidade de interação por efeito de Compton também é significativamente maior. Por outro lado, a radiação X tem a possibilidade de atravessar algumas substâncias experimentando menor atenuação e, por isso, é largamente utilizada para ver através dos objectos. As aplicações em medicina são por isso inúmeras.

As aplicações da radiação X no âmbito médico dividem-se em duas grandes categorias: o diagnóstico e a terapêutica. No diagnóstico faz-se proveito da capacidade dos raios X poderem atravessar diversas substâncias e por isso são usados para a formação de imagens do interior do corpo humano. Já na terapêutica utiliza-se a capacidade de ionização deste tipo de radiação para proceder a tratamentos de cancro procurando-se danificar estruturas de células cancerígenas levando-as à sua morte. É sobejamente conhecida a primeira aplicação dos raios X para produzir uma imagem do corpo humano. Esta foi realizada, em 1895, por Roentgen (1845-1923) que obteve uma imagem da mão da sua mulher, Anna Bertha. Este singela experiência abriu uma das mais importantes áreas de diagnóstico em medicina. Os raios X são aplicados a todas as áreas do corpo humano com o objectivo de obter imagens, denominadas genericamente por radiografias, com valor de diagnóstico. Inicialmente a tecnologia apenas permitia distinguir tecido mole dos ossos e de outros materiais com elevada atenuação, como estilhaços, pelo que a sua aplicação durante a 1ª Guerra Mundial teve grande impacto. Mais tarde, percebeu-se que se podiam utilizar substâncias de contraste (por exemplo, em angiografia) o que permitiu o alargamento das aplicações dos raios X. O desenvolvimento da tecnologia possibilitou a utilização dos raios X para a distinção entre vários tipos de tecidos moles. A Fig. 5 mostra a comparação entre a primeira radiografia e uma radiografia actual de uma mão onde é visível a evolução verificada.

A radiografia é uma projecção bidimensional dos coeficientes de atenuação dos tecidos. A atenuação depende da energia dos fotões X e da densidade electrónica das substâncias que compõem os tecidos. Assim, para elementos de maior número atómico a atenuação é maior aparecendo nas imagens actuais como zonas mais claras enquanto que tecidos essencialmente compostos por elementos de menor número atómico aparecem nas imagens como zonas mais escuras. Este tipo de técnica imagiológica é designada de transmissão uma vez que o elemento produtor de raios X encontra-se num dos lados do objecto enquanto que o detector ou filme radiológico é colocado no outro lado recolhendo os raios X que

atravessam o objecto (Fig. 6).

Fig. 5 – a) Radiografia de Anna Bertha, mulher de Roentgen. b) Radiografia actual de uma mão.

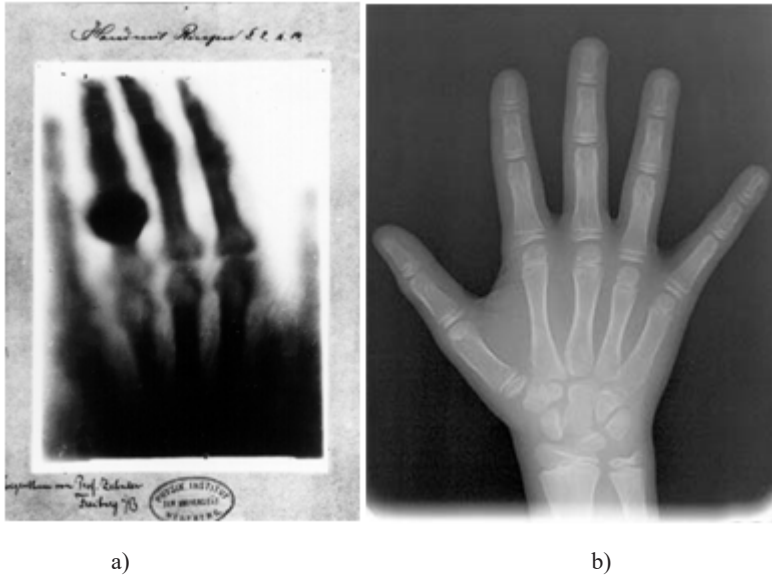
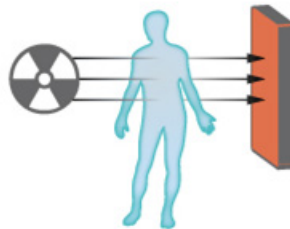


Fig. 6 – Esquema de obtenção de uma imagem radiográfica.



As imagens radiográficas são iminentemente anatómicas, revelando informação sobre a estrutura do corpo e tendo grande aplicação em ortopedia. Outras áreas de aplicação são a oncologia (e.g. mamografia), pneumologia, estomatologia e medicina dentária.

A produção de raios X é realizada numa âmpola em que electrões, por efeito termoinónico, são arrancados de um filamento quente e acelerados por um campo eléctrico de encontro a um material denso, geralmente tungsténio. A interação destes electrões acelerados com o tungsténio produz fotões X num espectro contínuo, devido ao efeito de travagem (radiação de *Bremsstrahlung*) e também picos característicos devido à remoção de electrões orbitais dos átomos de tungsténio. A energia máxima dos fotões X encontra-se directamente relacionada com a diferença de tensão aplicada para criar o campo eléctrico de aceleração. Por outro

lado, a intensidade de fotões, i.e., o número de fotões por unidade de tempo, é regulada pela intensidade de corrente usada na produção de electrões. Desta forma, é possível regular duas características importantes da produção de raios X que tem impacto directo na imagem obtida. Por exemplo, raios X com menor energia podem sofrer maior atenuação sendo por isso mais adequados à imagiologia de tecidos moles. Já a intensidade de corrente permite regular a quantidade de luz (fotões X) na imagem e desta forma adequar o contraste e o ruído estatístico. Um aspecto importante no uso de radiação ionizante, como a radiação X, prende-se com o facto desta ter efeito biológico pelo que se deve sempre minimizar a dose no doente. Como a energia dos fotões X e a quantidade dos mesmos aumenta a dose, a regulação quer da tensão quer da intensidade de corrente da ampola de raios X deve ser de forma a garantir o melhor compromisso entre a qualidade da imagem e a menor dose no doente. Diga-se, a este propósito, que a evolução da tecnologia tem permitido reduzir as doses e melhorar a qualidade das imagens. Actualmente, a dose típica de uma radiografia é uma pequena fracção (< 1%) da dose anual média devido à radiação natural.

Para além da radiografia, existem outras aplicações médicas dos raios X cujo princípio de funcionamento são muito semelhantes às máquinas de raios X convencionais. Destas destacam-se a fluoroscopia e a absorciometria.

Na fluoroscopia, a emissão de raios X é contínua pelo que a imagem obtida é em tempo real, podendo ser observados movimentos das estruturas internas. As imagens produzidas têm uma grande resolução temporal apresentando tipicamente 30 imagens por segundo. Esta técnica é particularmente útil em determinadas intervenções cirúrgicas como o cateterismo, ajudando os médicos a guiar um catéter e também a obter informação funcional pelo uso de agentes de contraste. O reverso desta técnica é a elevada dose induzida não só no doente, mas também no profissional de saúde que, geralmente, se encontra próximo do doente para poder efectuar o procedimento cirúrgico.

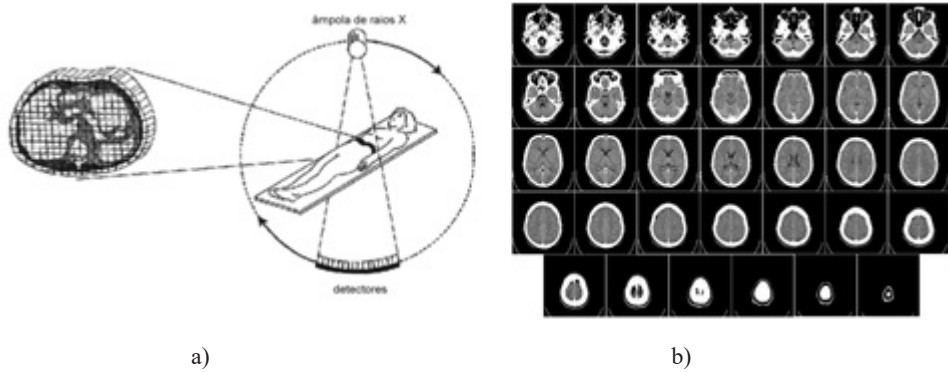
A absorciometria, mais conhecida por DEXA (do inglês, Dual Energy X-Ray Absorptiometry), tem por objectivo determinar a densidade mineral dos ossos e para isso faz uso de raios X com dois níveis de energias distintos. Esta é a técnica padrão para estimar a densidade óssea e é de grande importância para aferir o risco de osteoporose.

Para além da radiografia, a grande aplicação dos raios X é a tomografia computadorizada (TC) que produz imagens tomográficas tridimensionais. A palavra tomografia deriva do grego “tomos” (τομος) que significa fatia (corte) e grafos (γραφος) que significa gravar. Assim, tomografia significa imagens em fatias. A tomografia é obtida por rotação, em torno do corpo do doente, da ampola de raios



X e do detector obtendo várias projecções que são combinadas posteriormente por um processo matemático designado por reconstrução de imagem.

Fig. 7 – a) esquema representativo da aquisição de imagens no TC.  
b) cortes cerebrais típicos de um TC



A TC colmata uma das maiores desvantagens da imagem de raios X convencional que é a sobreposição de órgãos e estruturas em imagens bidimensionais e possibilita um aumento de contraste nas imagens que permite a melhor distinção entre estruturas. Esta foi a primeira tecnologia que permitiu a obtenção, de forma não-invasiva, de imagens transversais de alta qualidade do organismo humano *in vivo*, revolucionando as imagens médicas. O primeiro sistema TC para fins clínicos foi desenvolvido em 1971 por Hounsfield (1919-2004). Uma vez que a tomografia necessita de diversas projecções em torno do doente, a dose que o mesmo recebe é relativamente elevada. No entanto, actualmente diversas melhorias permitiram que as recentes máquinas de TC consigam doses bastante inferiores à dose anual média de radiação natural. Estas melhorias também incrementaram a velocidade de aquisição, o que possibilita a realização de imagens em órgãos em movimento (por exemplo, o coração) sem que haja distorção e, por consequência, otimizando a qualidade da imagem.

Finalmente, a radiação (geralmente) mais energética é a gama e apresenta comprimento de onda tipicamente inferior a 1 nm. A capacidade de penetração da radiação gama é tipicamente ainda mais elevada do que a radiação X.

Uma das aplicações para este tipo de radiação é a esterilização de substâncias activas ou até mesmo de sistemas de entrega de fármacos. A vantagem de utilização deste tipo de método de esterilização reside na protecção da estrutura do sistema desenhado para transportar assim como do princípio activo após irradiação. Actualmente, devido ao forte desejo de reduzir a utilização de produtos químicos na conservação de frutas e vegetais, a característica não radiação ionizante de não

deixar resíduos constitui uma enorme vantagem. O potencial de aplicação da radiação ionizante no processamento de alimentos baseia-se principalmente no facto de que as radiações ionizantes danificam o DNA o que faz com que as células vivas sejam inactivadas. Esta acção significa que os microorganismos, gâmetas de insetos assim como os meristemas de plantas sejam impedidos de se reproduzir, resultando no efeito conservante. Adicionalmente, também demonstrou ser eficaz na redução de perdas pós-colheita e no controlo de microorganismos. Para além disto é necessário ter em consideração que as alterações químicas induzidas pela radiação nos alimentos são consideradas mínimas. Alguns exemplos da aplicação da irradiação são a restrição a nível do crescimento dos brotos da batata, a eliminação de pragas no grão, a esterilização de vegetais e de frutas desidratados, de temperos e de alimentos para animais.

Na medicina a utilização da radiação gama prende-se com a especialidade médica da Medicina Nuclear. Através da administração de radiofármacos, um princípio activo marcado com um radionuclídeo, é possível realizar exames de diagnóstico assim como tratamento, utilizando vias metabólicas específicas. Uma outra aplicação em medicina no âmbito da terapêutica de tumores é a técnica “*Gamma Knife*” utilizada para um tipo de cirurgia específico, radiocirurgia estereotáxica. Esta técnica foi desenvolvida para atingir e destruir tecidos anormais no cérebro, usando radiação gama com precisão inigualável, poupando os tecidos saudáveis localizados perto das lesões.

A utilização de radiação com partículas, tendo em conta as suas características físicas, é uma realidade na medicina a nível terapêutico. A utilização de radionuclídeos emissores  $\beta$ , como é exemplo o iodo-131 permite a administração por via oral de um radiofármaco que tendo em conta as suas características físicas e bioquímicas permite uma modalidade de tratamento chamada de radioterapia metabólica. A utilização de radiação  $\alpha$ , também permite a realização de radioterapia, mas chamada de braquiterapia. Tendo em conta as características físicas deste tipo de radiação, a braquiterapia é realizada através de uma colocação local, de implantes temporários ou definitivos. Esta abordagem terapêutica permite uma maior irradiação numa área mais pequena.

Podemos assim concluir que a radiação tanto pode ser boa como má. Conhecendo os seus efeitos, é possível uma escolha criteriosa, de modo a se ter uma arma eficaz de diagnóstico e de terapia.

## Referências

Abuhanoğlu, G., AY Özer. 2014. Radiation sterilization of new drug delivery systems. *Interventional Medicine & Applied Science*. 6 (2):51-60. doi:10.1556/IMAS.6.2014.2.1.

- Arvanitoyannis, I. S., A. C. Stratakos, & P. Tsarouhas. 2009. Irradiation Applications in Vegetables and Fruits: A Review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 49, 427-462.
- Bueche, F. J., D. A. Jerde. Principles of Physics, McGraw-Hill
- Prince, J. L., J. M. Links. 2006. Medical Imaging Signals and Systems. Pearson Prentice-Hall Bioengineering.
- Hartwig, V, G Giovannetti, N Vanello, M Lombardi, L Landini, S Simi. 2009. Biological Effects and Safety in Magnetic Resonance Imaging: A Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 6 (6):1778-1798.
- Ganz, Jeremy. The History of the Gamma Knife, Volume 215, Elsevier.
- Pedroso de Lima, J.J. Biofísica Médica, Coimbra-Imprensa da Universidade
- Pedroso de Lima, J.J. Física dos Métodos de Imagem com Raios X, Edições Asa
- Tomoyuki, Koga; Shin Masahiro, & N. Saito. 2010. Role of Gamma Knife Radiosurgery in Neurosurgery: Past and Future Perspectives. *Neurologia medico-chirurgica*. 50, 737-748.
- Webb, S. 1988. The Physics of Medical Imaging. Medical Science Series, New York, 66-79.
- Wernick, M.N. e J.N. Aarsvold. 2004. eds.. Emission Tomography: The Fundamentals of SPECT and PET, CA: Elsevier, San Diego.