

Física básica das radiografias convencionais

Dra. Claudia da Costa Leite, Dr. Edson Amaro Júnior, Dra. Maria Garcia Otaduy

Os princípios físicos dos raios-X foram descobertos por Wilhelm Conrad Roentgen em 1895, esta descoberta marcou o início de uma nova era de diagnóstico na Medicina. William Crookes havia desenhado o tubo que Roentgen utilizou para produzir os raios-X. Estes raios foram chamados de x pois não era conhecido este tipo de radiação, que atravessava madeira, papel, e até o corpo humano.



Figura 1: Wilhelm Conrad Roentgen (1845-1923)
Prêmio Nobel de Física

O que é o raio-X (Rx)?

O raio-X é uma onda eletromagnética, como a luz visível, as ondas de rádio, os raios infra-vermelhos, e os raios ultra-violetas. As ondas eletromagnéticas tem como características: a sua frequência e o seu comprimento de onda, sendo estas duas características inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior a frequência menor o comprimento de onda. A energia de uma onda é diretamente proporcional à sua frequência.

Como o raio-X é uma onda de alta energia, o seu comprimento de onda é muito curto da ordem de 10^{-12} m (um picômetro) e sua

freqüência é da ordem de 10^{16} Hz. O comprimento de onda do raio-X está próximo do raio- γ , que é radioativo. Com este comprimento de onda muito curto, estes raios tem a capacidade de penetrar na matéria, o que possibilita sua utilização no estudo dos tecidos do corpo humano.

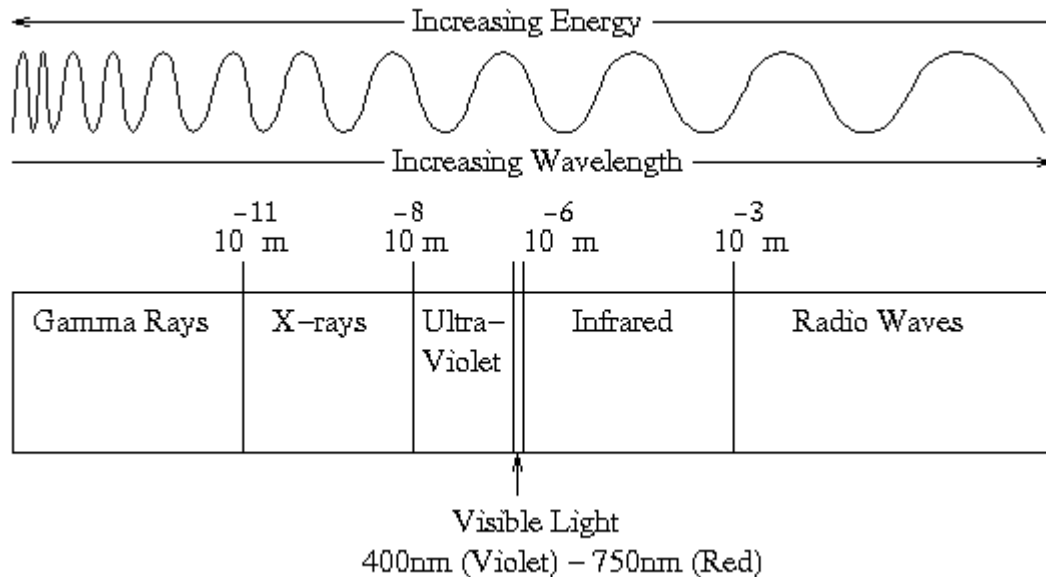


Figura 2: espectro energético das ondas eletromagnéticas

Como é feita a produção do raio-X?

Raios-X são produzidos ao se liberar energia no choque de elétrons de alta energia cinética contra uma placa de metal. Para tais efeitos utiliza-se um tubo de raio-X que consiste num tubo de vidro à vácuo com dois eletrodos de tungstênio (diodo), um ânodo (pólo positivo) e um cátodo (pólo negativo). O cátodo consiste num filamento de tungstênio muito fino que esquenta com a passagem de corrente elétrica de alta voltagem. Com isto os elétrons do tungstênio adquirem suficiente energia térmica para abandonar o cátodo (emissão termoiônica). Devido a alta voltagem cria-se também uma diferença de potencial entre os eletrodos o que faz que os elétrons emitidos pelo filamento de tungstênio sejam acelerados em direção ao ânodo (pólo positivo). A energia cinética dos elétrons depende da voltagem entre os eletrodos: quanto mais alta a voltagem maior a

energia cinética. O ânodo está revestido por tungstênio e funciona como alvo para os elétrons.

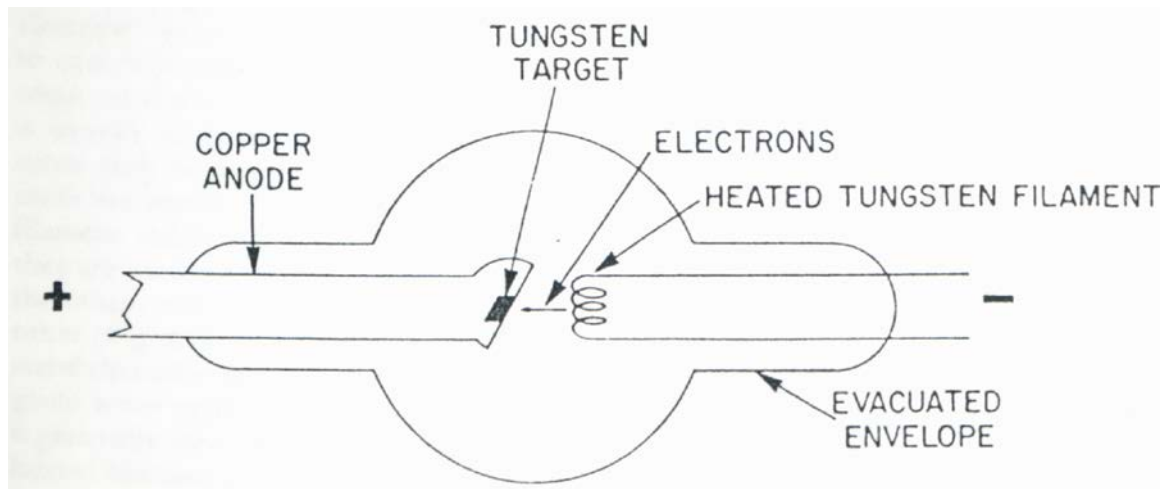


Figura 3: tubo de raios-X

No choque dos elétrons com o alvo de tungstênio a maioria da energia cinética destes é transformada infelizmente em calor, mas uma pequena parte produz raios-X através de três fenômenos: radiação característica, desaceleração (“*Bremsstrahlung*”) e choque nuclear.

A **radiação característica** ocorre quando o elétron em movimento choca-se com um elétron da camada interna do átomo do alvo de tungstênio e o desloca (caso a energia que ele adquiriu ao deslocar-se do cátodo para o ânodo seja maior que a energia de ligação da camada eletrônica), com isso a camada de energia que este elétron do átomo ocupava fica vaga. Este átomo agora ionizado precisa se estabilizar. Para isto um elétron de uma camada mais externa migra para a vaga na camada de energia interna, liberando neste processo uma determinada e bem precisa quantidade de energia (fóton) na forma de raios-X. Esta energia corresponde a diferença entre as energias de ligação das duas camadas (a externa,

que o elétron ocupava, e a mais interna que ele passou a ocupar). O fenômeno é chamado de radiação característica, já que essa energia das camadas é particular de cada elemento (poderíamos descobrir qual é o elemento do alvo a partir da análise das energias dos fótons de Rx produzidos pela radiação característica). No entanto a chance deste fenômeno (radiação característica) ocorrer não é muito grande.

Na desaceleração, ou efeito de **“Bremsstrahlung”**, o elétron em movimento tem sua trajetória desviada pela positividade do núcleo. Este desvio de trajetória é acompanhado por uma desaceleração o que faz que parte da energia cinética do elétron seja emitida como fóton de raio-X, que será de maior energia (maior frequência) quanto maior for o ângulo de desvio da trajetória e quanto mais próximo estiver este elétron do núcleo. A desaceleração tem pouca chance de ocorrer em regiões próximas ao núcleo, devido à densidade nuclear (na verdade, o átomo é bem diáfano, e se compararmos o tamanho do núcleo a uma laranja, o limite do átomo de um determinado elemento estaria, por exemplo, a 3 Km de distância). Assim, a maioria dos elétrons sofrem interações distantes do núcleo e produzem fótons de baixa energia, agora não mais numa faixa de energia característica, mas sim numa variação constante, dependendo do co-seno do ângulo do desvio. A probabilidade desse fenômeno ocorrer também é pequena, porém tende a ser a maior fonte dos fótons de raios-X em relação aos dois outros fenômenos.

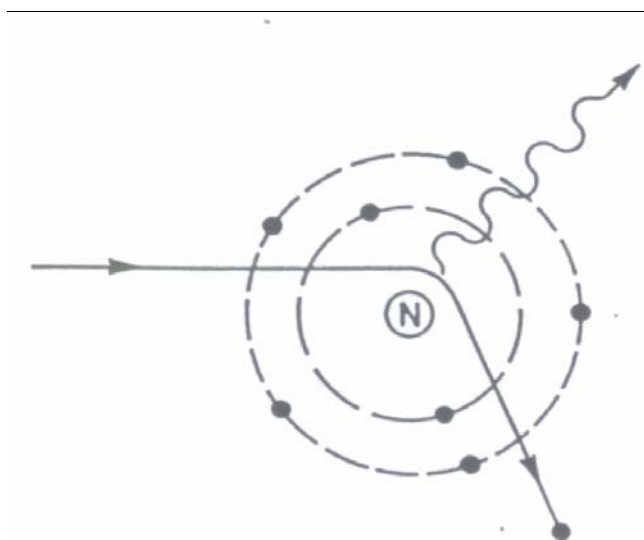


Figura 4: fenômeno de Bremsstrahlung (desaceleração)

No **choque nuclear**, o elétron choca-se com o núcleo e produz um fóton de alta energia. Nesse caso, 100% da energia que ele adquiriu acelerando do cátodo para o ânodo é transformada em um fóton de raio-x. Por exemplo, se a diferença de potencial entre o cátodo e o ânodo é de 100.000 Volts (e na verdade é dessa ordem), o elétron que se chocar diretamente com o núcleo vai produzir um fóton de raio-x com energia de 100.000 eV (eletron-Volt). Aqui também, e principalmente neste caso, a probabilidade deste fenômeno ocorrer é baixa.

Dessa forma, temos que apenas uma parte da energia dos elétrons é convertida em raios-X pelos três fenômenos acima, sendo a maioria transformada em calor.

O que é o tubo de raio-X?

Os tubos de raio-X são formados por um tubo de vidro revestido por uma camada de óleo e chumbo, no seu interior há um filamento de tungstênio, um alvo de tungstênio e vácuo.

O tungstênio é o material escolhido para este fim pois tem um número atômico e um ponto de fusão altos e não derrete com o calor (ponto de fusão acima de 3.000° C). É importante utilizar um material com estas características pois parte da energia produzida dentro do tubo de raio-X é na forma de calor. O alvo de tungstênio no qual os elétrons irão chocar-se está em movimento (na verdade, é um disco em rotação) para que a área que está recebendo o choque com o feixe de elétrons seja constantemente mudada o que distribui o efeito do bombardeio em torno da margem do alvo, possibilitando um certo resfriamento.

O tubo de vidro é revestido por chumbo, que por ser um material muito denso, tem grande absorção dos raios-X, e entre o vidro e o chumbo há uma camada de óleo para resfriá-lo. No tubo de raio-X há uma só abertura não revestida de chumbo e na qual são

emitidos os raios-X na forma de um feixe piramidal (em forma de cone) que consegue “escapar” do tubo. Como descrito, os fótons são produzidos em todas as direções, porém só existe um lugar para que “escapem” do tubo, e essa abertura é utilizada para direcionar o feixe.

A corrente do filamento de tungstênio utilizada no tubo de raio-X é medida em miliampéres (mA), e a diferença de potencial entre o pólo positivo e negativo é dada em kilovtagem (geralmente de 35 a 150 kV). As características de kV e mA é que darão o brilho e o contraste da imagem obtida.

Finalmente, o vácuo no tubo de raio-X é importante para evitar o choque dos elétrons com moléculas de gás, o que teria como efeito a desaceleração dos elétrons antes destes chegarem ao alvo (ânodo de tungstênio).

Como é a interação do raio-X com a matéria?

Na obtenção da imagem por raio-X dois tipos de interação entre o raio-X e a matéria são importantes: o **efeito fotoelétrico** e o **efeito Compton**. Aqui, diferente da produção de raio-X vista acima, é o fóton que vai interagir com o átomo do organismo que se quer estudar (ou melhor produzir uma imagem).

O **efeito fotoelétrico** ocorre quando um fóton de raio-X choca-se com um elétron de um átomo e desloca-o de sua camada orbitária no átomo. Com a perda do elétron, o átomo fica ionizado. Nesta situação toda a energia do fóton de raio-X é utilizada para deslocar o elétron. Este efeito é muito acentuado nos materiais muito densos como, por exemplo, no chumbo e depende do número atômico do elemento (na verdade, é proporcional ao cubo desse número).

O **efeito Compton**: neste caso o fóton aproxima-se do átomo, choca-se com um elétron orbitário pode ou não arrancá-lo da camada orbitária, dependendo da energia envolvida, mas o que é fundamental: não cede toda a sua energia e neste caso o fóton do raio-x é desviado de sua trajetória. Nesta nova trajetória ele pode interagir com outros átomos e sofrer de novo desvio de sua trajetória.

No final, a trajetória deste fóton não é retilínea. Como a obtenção das imagens de raio-X depende da diferença de densidade entre as diversas estruturas, e do arranjo linear entre a fonte e o local de detecção (como a sombra de uma lâmpada), uma trajetória não retilínea resulta em um prejuízo na interpretação das diferenças de densidade e borramento do contorno (imagine que mais que uma lâmpada ilumine um objeto, de forma a produzir mais que um limite da sua sombra).

Como é obtida a imagem de raio-X?

A imagem de radiografia convencional depende dos fótons resultantes da interação com o objeto que dependem por sua vez da espessura do objeto e da capacidade deste de absorver raios-X.

A detecção dos raios-X é feita através de um filme semelhante ao filme fotográfico. Este filme é composto de sais de prata (AgBr , AgI). Quando sensibilizado por um fóton de raio-X ou pela luz visível, o **cátion** de prata (**íon** positivo) acaba sendo neutralizado e vira metal (Ag^0), e escurece. Por outro lado, o sal de prata que não foi sensibilizado pelo raio-X ou pela luz fica transparente.

Os filmes normalmente são compostos de camadas de plástico (poliéster) protegidas da luz. O uso de camadas de prata recobrendo as duas superfícies do plástico aumenta a sensibilidade do filme aos raios-x.

Resumindo a obtenção de imagens radiográficas: o feixe de raios-X piramidal vai atravessar o objeto que no nosso caso é o paciente. De acordo com as densidades das diversas estruturas que foram atravessadas pelo raio-X, haverá maior ou menor absorção destes raios. A resultante após a interação dos raios-X com o paciente é que irá sensibilizar o filme radiográfico, que dará a imagem final. É importante saber que as diferenças de densidade determinam as características radiológicas dos diferentes materiais e estruturas. Assim materiais densos como os metais absorvem muito os raios-X, pois tem um número atômico muito alto. Por outro lado, o ar, com densidade atômica e número atômico baixos não absorve os raios-x. Assim, temos em ordem crescente 5 densidades radiológicas

básicas: ar, gordura, água, cálcio e metal.

Quais os efeitos biológicos do raio-X?

No início da descoberta dos raios-X não eram conhecidos os seus efeitos biológicos e não eram tomados os cuidados de proteção radiológica. Muitos foram os casos de dermatite actínica e mesmo outras doenças como leucemia e aplasia de medula.

O efeito biológico dos raios-X sobre as células vivas inclui um efeito letal sobre elas (entre várias formas de lesões menores, como mutação). Este efeito é que é utilizado na radioterapia para o controle de tumores e está relacionado especialmente a altas doses de radiação.

Há ainda efeitos comprovados de teratogênese devido a mutações, efeitos sobre os órgãos genitais, olhos, tiróide e medula óssea. O efeito da radiação é cumulativo e pequenas doses são acumuladas ao longo da vida, por isso, limites de exposição devem ser respeitados e a superexposição deve ser evitada.

Bibliografia:

Curry TS, Dowtey JI, Murry RC. Christensen`s Physics of Diagnostic radiology. 4ª edição. Filadélfia: Lea & Febiger 1990.

Friedman M, Friedland GW. As Dez Maiores Descobertas da Medicina. São Paulo: Companhia das Letras 2000: 170-194.

Paul LW, Juhl JH. Interpretação Radiológica 6ª edição. Rio de Janeiro: Editora Guanabara 1996.