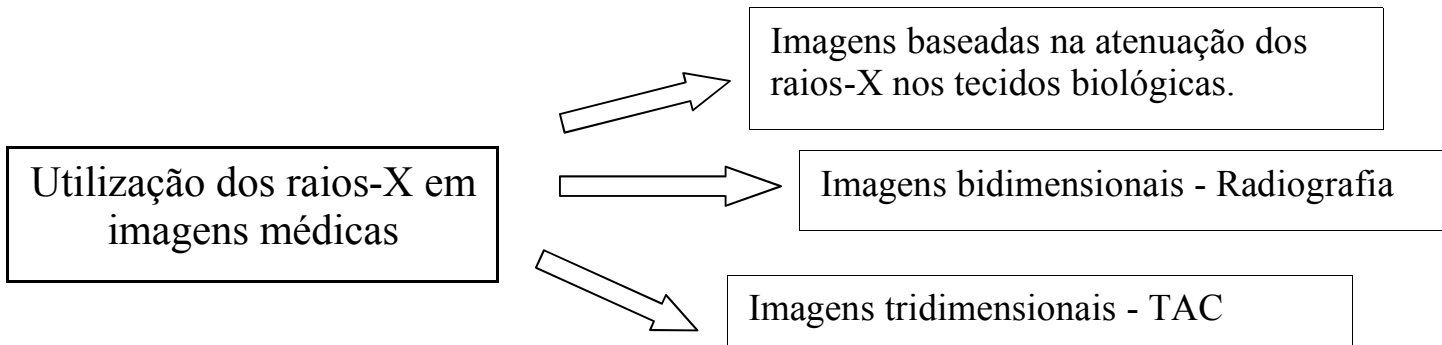
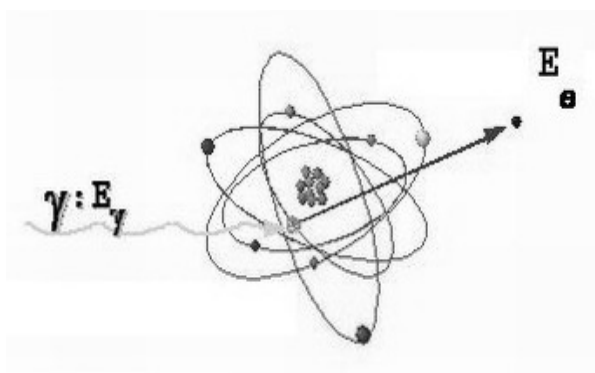


RADIOGRAFIA E TOMOGRAFIA AXIAL COMPUTORIZADA (TAC)



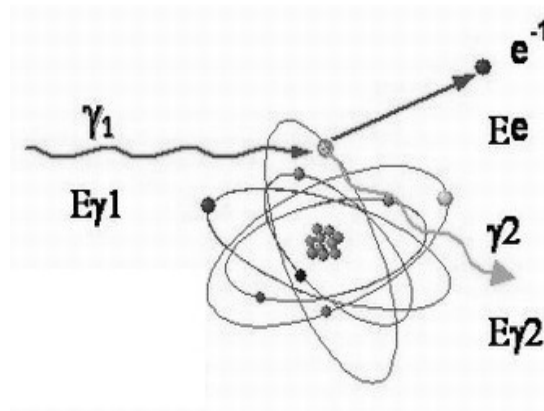
INTERACÇÃO DOS RAIOS-X COM A MATÉRIA

- Os raios-X interagem com a matéria, essencialmente, através de três mecanismos: efeito fotoeléctrico, efeito de Compton e criação de pares.
- Em imagens médicas as energias habitualmente utilizadas estão na gama entre os 20 keV e os 100 keV.
- No efeito fotoeléctrico a energia do fóton incidente é totalmente absorvida e é libertado um electrão. Este efeito é o que ocorre, principalmente a energias baixas (<35 keV).



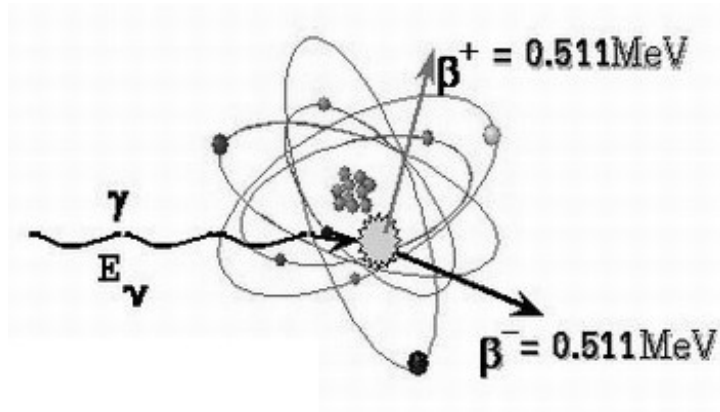
adapt. de: <http://www.iaea.org/physics/xrf/xrf02.html>

- O efeito de Compton torna-se mais relevante quando a energia aumenta e trata-se de uma interacção entre os fótons e os electrões, que pode ser visto como um choque elástico entre duas partículas, do qual resulta a diminuição da energia do fóton, com consequente diminuição da sua frequência.



adapt. de: <http://www.iaea.org/physics/xrf/xrf02.html>

- A criação de pares, devido à sua natureza, só ocorre a energias superiores a 1.022MeV e trata-se da criação de um par electrão/positrão a partir de fótons suficientemente energéticos. Em imagens de raios-X este efeito é negligível - não são habitualmente utilizáveis valores energéticos tão elevados.



adapt. de: <http://www.oaep.go.th/physics/xrf/xrf02.html>

- A probabilidade de ocorrência do efeito fotoeléctrico aumenta com n° atómico efectivo dos tecidos e diminui com a energia do fóton incidente (exceptuando os picos característicos do material). Seguindo essa dependência um comportamento próximo de:

$$\frac{\tau}{\rho} \propto \frac{Z^3}{E^3}, \text{ com } \tau \text{ o coeficiente de absorção relativo ao efeito fotoeléctrico}$$

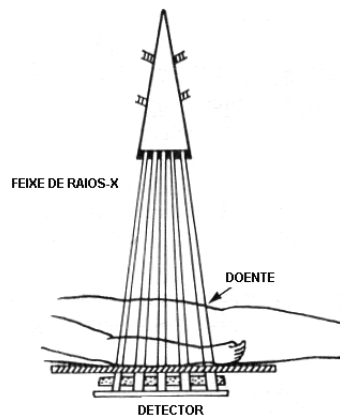
e ρ a densidade mássica do material

- É esta dependência do número atómico que está na origem do contraste das imagens de raios-X e que é explorada quando se aplicam agentes de contrastes nestas técnicas.
- A probabilidade de ocorrência do efeito de Compton é directamente proporcional ao n° de electrões por unidade de massa.
- Como o n° de electrões por unidade de massa decresce com o n° atómico de uma forma muito lenta, a razão entre o coeficiente de absorção devida ao efeito de Compton e a densidade mássica do material: $\frac{\sigma}{\rho}$ é semelhante em todos os materiais, à excepção do hidrogénio.
- Também os raios-X seguem uma lei de atenuação exponencial dependente da espessura do tecido:

$$I = I_0 e^{-\mu h},$$

I intensidade final, I_0 intensidade inicial do feixe e μ coeficiente de absorção

- Tendo em conta a forma como as imagens de raios-X são construídas:



o factor responsável pelo contraste é precisamente a atenuação dos tecidos, μ , que é a soma dos coeficientes de atenuação relativos ao efeito fotoeléctrico e ao efeito de Compton para as energias consideradas.

GRANDEZAS RELACIONADAS COM DOSE E EXPOSIÇÃO

- As grandezas relacionadas com dose e exposição têm um sentido um pouco diferente do habitual em Física, uma vez que, podem envolver os efeitos causados no corpo humano.
- Em termos das características dos feixes, surgem, entre outras, as seguintes grandezas:
 - A fluência de um feixe é definida por:

$\Phi = N / A$, onde N é o número de partículas e A a área perpendicular do feixe

- Se o feixe não for uniforme, opta-se por definir fluxo de fluência (taxa de alteração de fluência):

$$\phi = \Phi / t = N / A t, \text{ onde } t \text{ é a variável tempo.}$$

- Se o feixe for monocromático, a fluência energética é definida como:

$\Psi = \Phi E = N E / A$, sendo E a energia de cada uma das partículas

- Analogamente ao que se fez para a fluência do feixe, pode definir-se fluxo de fluência energética:

$$I = \psi / t = \Phi E / t = N E / A t$$

- Se o feixe contiver, partículas com diferentes energias a fluência energética será dada por:

$$I = \psi = \sum (f_i \Phi E_i), \text{ onde } f_i \text{ é a fracção de partículas com energia } E_i.$$

- Existem também diversas grandezas relacionadas com os efeitos da radiação no corpo humano. Na definição destas grandezas é assumido que praticamente toda a energia dos feixes é utilizada para ionizar o meio.
 - Seja Q for a carga total criada (primária ou secundariamente) quando um volume de ar de massa m é sujeito a radiação, a exposição é definida como:

$X = Q / m$, a unidade tradicional desta grandeza é o R (Roëntgen) e a sua conversão para unidades de SI é: $1R = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$

- Para radiação com energia superior a 3 MeV esta grandeza não é aplicável, pois não se consegue estimar o número de ionizações que ocorrem devido à acção do feixe.
- Sabendo que quando 1 kg de massa de ar é sujeito a uma exposição de 1 C / kg, absorve 33.85 J então a energia absorvida por unidade de massa de ar vem:

$$E = 33.8X$$

- Ou, uma outra forma de definir a energia absorvida:

$$E = \Psi (\mu_{\text{en}})_m, \text{ com } (\mu_{\text{en}})_m \text{ coeficiente de absorção de energia mássica}$$

- Tendo em conta que os efeitos da exposição nos tecidos dependem da energia absorvida nos tecidos e não no ar, define-se dose absorvida:

$$D = E_{\text{ef}} / m, \text{ onde } E_{\text{ef}} \text{ é a energia que efectivamente fica depositada no tecido}$$

Tradicionalmente a sua unidade é o rad e a do SI é o gray (Gy):

$$1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ J/Kg ou Gy}$$

- Para englobar os efeitos biológicos considera-se a grandeza eficiência biológica relativa, como a razão entre a dose de uma radiação de referência, necessária para produzir uma determinada resposta e a dose da radiação em questão para produzir a mesma resposta
- Já a dose equivalente é definida pelo produto da dose absorvida por um factor de qualidade, QF , que varia com a energia média perdida por unidade de comprimento e que reflecte o facto de diferentes radiações implicarem diferentes efeitos:

$$DE = D \times QF, \text{ a unidade de dose equivalente é o rem}$$

no sistema tradicional e o sievert (Sv) em SI, sendo a sua relação: $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$

ATENUAÇÃO DOS RAIOS-X NOS TECIDOS

- No que toca à atenuação dos raios-X, os tecidos biológicos são, em geral, classificados em: gordura; músculo (ou tecido mole do qual se exclui a gordura); osso e cavidades.
- No que respeita à discussão tida anteriormente será útil atender-se à seguinte tabela:

Material	Nº atómico efectivo	Densidade (g/cm ³)	Densidade electrónica (e ⁻ /kg)
Ar	7.6	1.29 x 10 ⁻³	3.01 x 10 ²⁶
Água	7.4	1.00	3.34 x 10 ²⁶
Tecido mole	7.4	1.00	3.36 x 10 ²⁶
Gordura	5.9-6.3	0.91	3.34-3.48 x 10 ²⁶
Osso	11.6-13.8	1.65-1.85	3.00-3.19 x 10 ²⁶

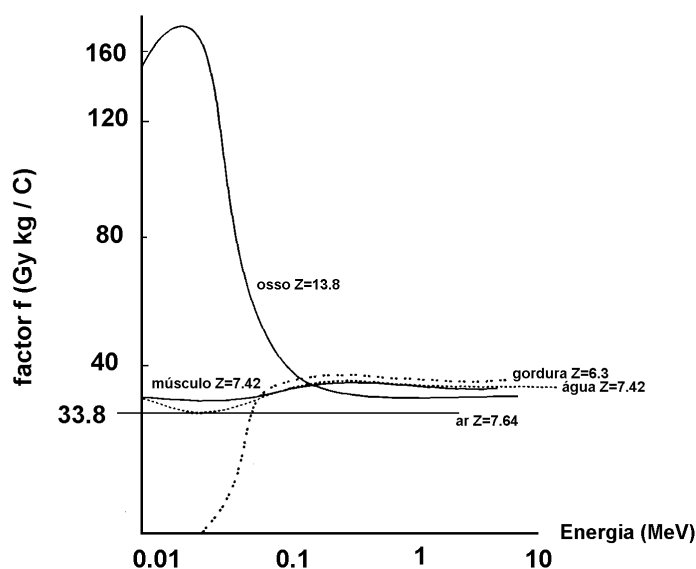
- Tendo em conta que, por um lado, a dose absorvida por um meio é função dos coeficientes energéticos do meio e do ar:

$$D_{\text{meio}} = D_{\text{ar}} [(\mu_{\text{en}})_m]_{\text{meio}} / [(\mu_{\text{en}})_m]_{\text{ar}}$$

- ... e que, por outro, é directamente proporcional à exposição X (válida para energias inferiores a 3 MeV):

$$D = fX$$

- f (conhecido por factor- f) é uma medida da atenuação dos raios-X nos tecidos.
- Observe-se, então o seguinte gráfico:



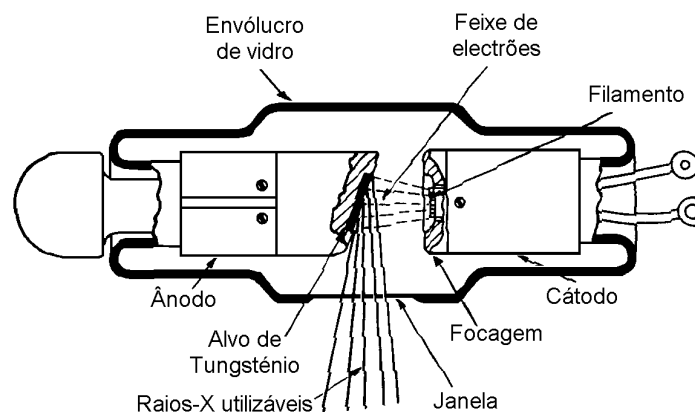
- A primeira questão prende-se com o facto de o maior contraste ocorrer para energias mais baixas... Pense-se que o efeito fotoeléctrico é o preponderante para estas energias e que este tem uma dependência entre a 3ª e 4ª potência de Z .
- Ora a gordura apresenta uma atenuação muito baixa, porque, sendo constituída, fundamentalmente, por átomos de hidrogénio e carbono, tem nº atómico efectivo reduzido.

- Já os ossos, possui elementos de nº atómico superior o que lhe confere um nº atómico efectivo elevado e, portanto, apresenta uma atenuação elevada.
- Na situação intermédia, encontram-se os músculos, uma vez que têm, na sua constituição, átomos de azoto e de oxigénio.
- Para energias superiores, quando o efeito de Compton se torna preponderante, é a gordura que, por ser constituída por um enorme nº de hidrogénios, apresenta uma elevada densidade mássica de electrões, responsável por uma maior atenuação.
- Tendo em conta o que foi discutido, quando se pretende construir imagens dos tecidos moles, aumenta-se a energia, para se evitar que o ossos ‘mascarem’ a contribuição dos tecidos moles.
- Exactamente pelas questões abordadas anteriormente, os agentes de contraste em raios-X são elementos com nº atómico elevado (bário ou iodo) que aumentam localmente o nº atómico efectivo.

EQUIPAMENTOS DE RAIOS-X

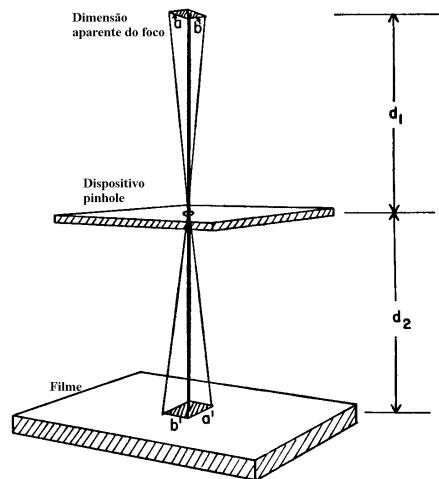
Sistemas de Radiografia

- Um sistema é constituído, essencialmente, por três elementos: o tubo (ou fonte) de raios-X; a grelha (ou colimador) e o receptor.
- Um tubo de raios-X para radiografia deve ter as seguintes características:
 - Produzir um nº suficiente de raios-X para construir a imagem.
 - Permitir a escolha da energia do feixe.
 - A produção deve ser reprodutível (não se deteriorar ao longo do tempo)
 - Cumprir todas as normas de segurança
- Um esquema simplificado de um tubo de raios-X é o que está representado na figura:



- A câmara encontra-se num recipiente cheio de óleo utilizado para dissipar calor.

- A qualidade da imagem é extremamente dependente do tamanho do feixe de raios-X. Para que este seja tão pontual quanto possível, os electrões são focalizados através de lentes electromagnéticas e o tamanho do feixe rigorosamente controlado:

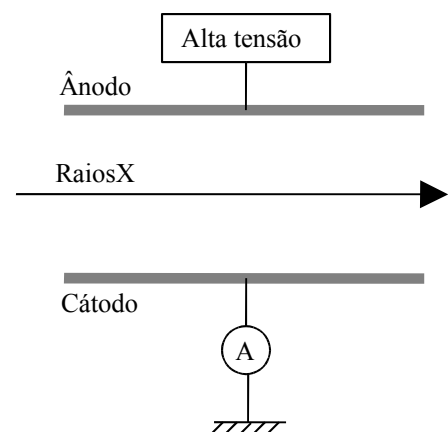


- Nas aplicações clínicas os alvos mais utilizados são os de molibdénio e de tungsténio. O primeiro com uma risca correspondente ao nível K de 20 keV e o segundo de 69 keV.
- Devemos ter em mente que energias muito baixas são demasiadamente atenuadas e não contam para a formação da imagem.

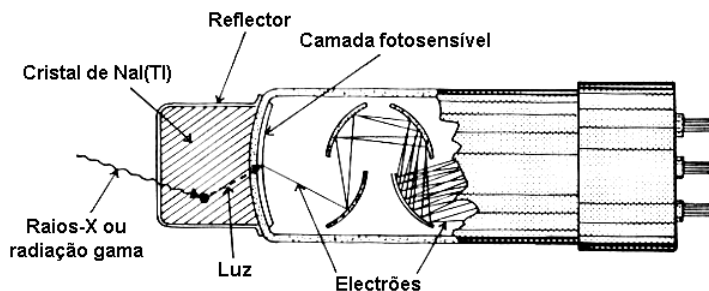
Detectores de raios-X

- Câmaras de Ionização
- Contadores proporcionais
- Tubos de Geiger-Müller
- Detectores de cintilação (gasosos ou líquidos)
- Detectores de semi-condutores

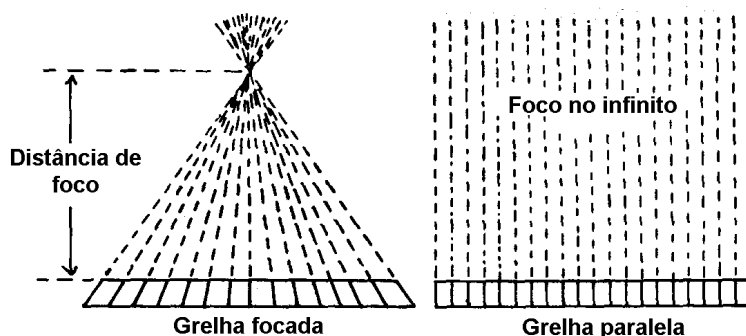
- Nas câmaras de ionização a radiação é medida recolhendo os iões que obtidos por ionização do gás na câmara.
- A tensão aplicada para recolher os iões determina se a câmara funciona como contador proporcional ou como contador Geiger-Müller.
- No caso dos contadores Geiger-Müller existe uma avalanche de ionização e o sinal medido é um impulso.



- Nos detectores de cintilação os raios-X excitam os electrões de um cristal, libertando luz ao regressar ao estado fundamental. A energia dessa luz liberta electrões através do efeito fotoeléctrico, sendo o sinal amplificado através de um fotomultiplicador.



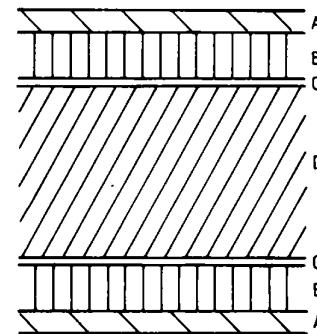
- O mecanismo utilizado nos detectores de semicondutores é semelhante ao da câmara de ionização, sendo a recolha de corrente feita devido à formação de pares electrão/lacuna.
- As grelhas ou colimadores são uma componente do equipamento extremamente importante, considerando que são eles que permitem seleccionar a direcção da radiação que irá construir a imagem.



- As grelhas podem ser paralelas, focadas ou cruzadas, dependendo da direcção das lâminas.
- A introdução de grelhas, ao reduzir o ruído, aumenta sempre o contraste. O aumento do contraste é atenuado quando a energia do feixe é muito elevada.
- As grelhas cruzadas melhoram mais o contraste do que as lineares.
- Definindo-se raio da grelha como a razão entre a distância entre duas lâminas consecutivas e a altura das mesmas, pode dizer-se que:
 - Quanto maior o raio, maior o contraste obtido.
 - Quanto maior o raio, maior a exposição a que o doente fica sujeito.
- Para evitar regiões de sombra na imagem, torna-se o conjunto fonte/grelha móvel.
- Os filmes de exposição directa são os menos utilizados em radiografia, devido à sua baixa eficiência, porém esse é muitas vezes o substrato de gravação.

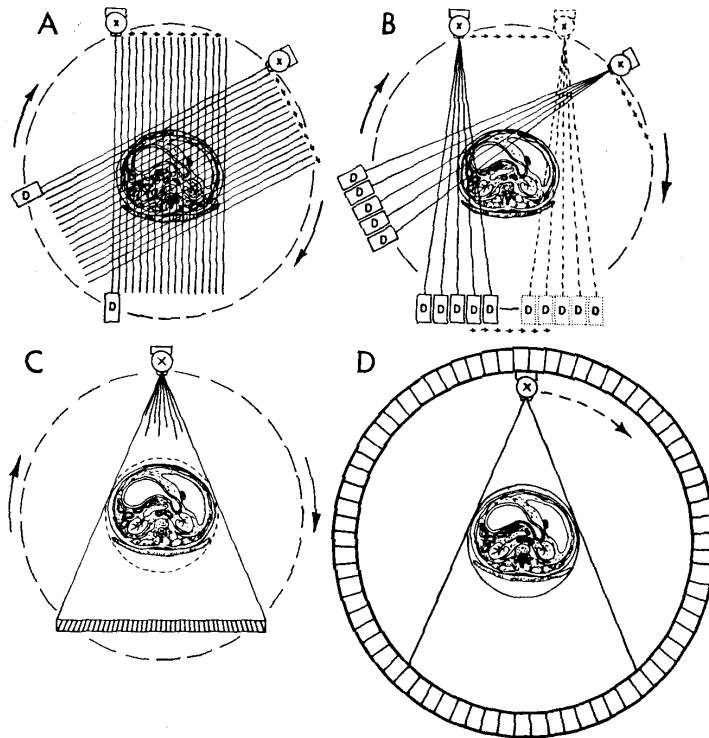
- Um filme é composto por uma lâmina de poliéster ou acetato transparente onde, de cada um dos lados, é depositada uma emulsão sobre a qual se deposita ainda uma superfície protectora igualmente transparente.

- A – película protectora, B – emulsão, C – sub-camada que faz a aderência entre a emulsão e o acetato, D – acetato

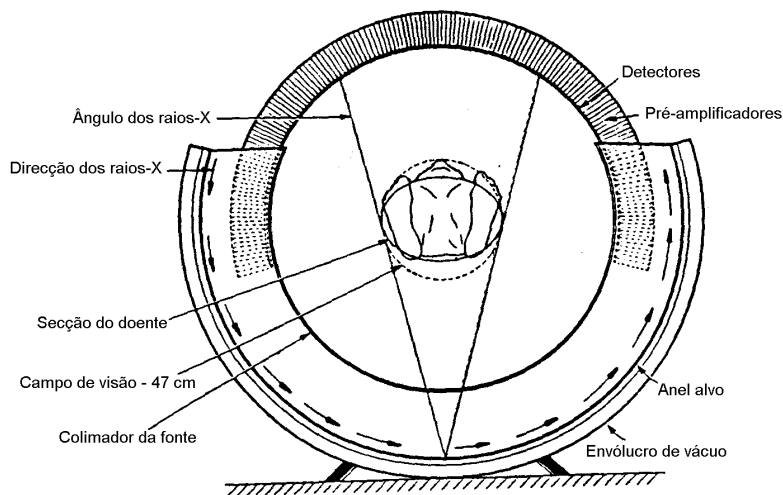
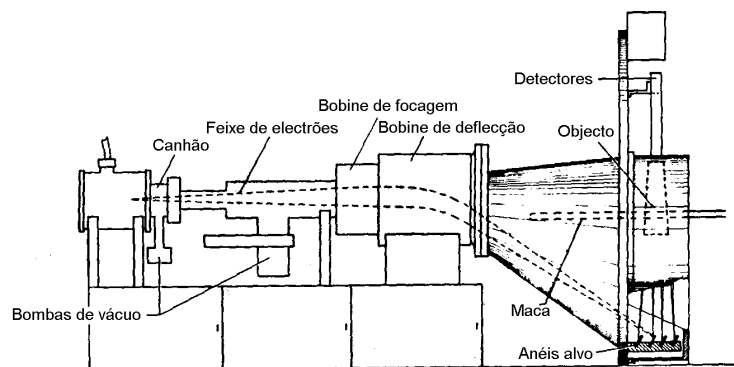


- Os filmes apresentam uma resolução muito boa, dependente, fundamentalmente, da espessura da emulsão.
- Por este motivo, são utilizados directamente como receptor quando se pretende uma resolução muito boa e a exposição não é especialmente perigosa, como sejam o caso das mãos ou dos dentes.
- O receptor mais utilizado é uma combinação monitor fluorescente/filme. Os monitores fluorescente transformam os raios-X em luz e esta é utilizada para imprimir o filme.
- A resolução destes dispositivos é determinada pelos seguintes factores:
 - Eficiência de absorção do monitor.
 - Eficiência de conversão dos raios-X em luz.
 - Probabilidade da luz alcançar a emulsão.
 - Sensibilidade da emulsão
 - Dimensões do filme
- Nos modernos equipamentos de radiografia digital, os receptores estão ligados a um computador. De forma que a imagem é construída em píxeis o que permite a sua manipulação posterior.
- O sistema pode receber a imagem de uma só vez ou existir um processo de varrimento.
- As Tomografias Axiais Computorizadas (TAC) são imagens tridimensionais reconstruídas a partir de projecções bidimensionais de imagens de raios-X.
- Cronologicamente existem 5 tipos de dispositivos de movimento aplicados a estes sistemas:
 - 1ª geração: feixe muito fino com movimentos de translação e rotação.
 - 2ª geração: utilização de feixes divergentes - diminuem o movimento de translação.
 - 3ª geração: eliminação do movimento de translação; o movimento de rotação é feito pela fonte e pelos detectores solidariamente.
 - 4ª geração: apenas a fonte roda - os detectores são colocados em torno do doente.

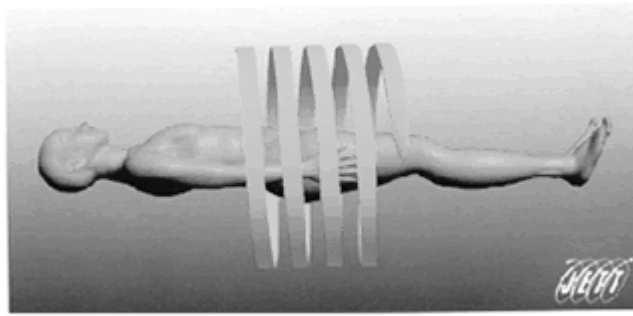
- 5ª geração: nenhuma peça é móvel - o feixe é rodado electronicamente.
- 6ª geração: a recolha das imagens é feita, enquanto o doente é transportado longitudinalmente.



1ª à 4ª geração



5ª geração



6ª geração

http://egems.gehealthcare.com/geCommunity/ct/FlexTrial/flextrial_pages/smart_helical.jsp?modality=CTI

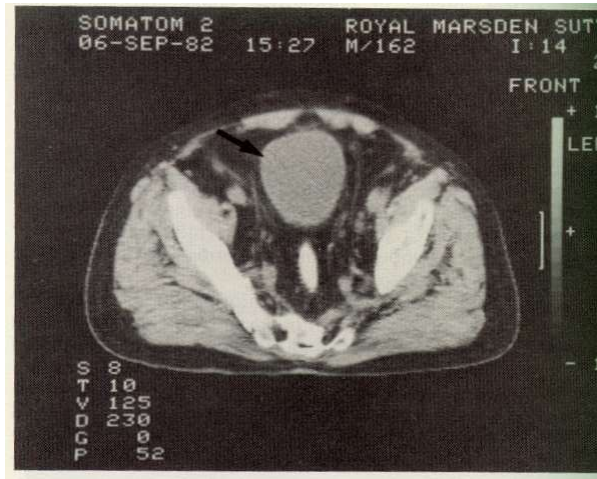


<http://www.stmaryhealthcare.org/body.cfm?id=162>

- As aplicações clínicas das imagens de raios-X são muito diversificadas, destacando-se, é claro, as radiografias ao esqueleto.
- É, porém possível, utilizar esta tecnologia à detecção de infecções; tumores; más formações (cardíacas, por exemplo); posições anormais dos órgãos, etc... nos mais diversos sistemas de órgãos: respiratório; circulatório; aparelho digestivo; sistema urinário e sistema nervoso.



Radiografia de uma mão.



TAC pélvica