

Tomografia Computadorizada



GRUPO DE
**DOSIMETRIA
DAS RADIAÇÕES**
e FÍSICA MÉDICA

IFUSP - Instituto de Física da USP

Jullianna Cristina de Oliveira Castro
Paulo Zago Leonel

São Paulo, 27 de setembro de 2022.



PARTE 1 - COMPONENTES



Computador do cérebro

O mais moderno aparelho de raios-X eletrônico já está em uso, no Morley Hospital, em Londres, para exame do cérebro. Fotografias nítidas e minuciosas dos tecidos do cérebro são fornecidas pelo aparelho, dispensando — o que até então era impossível — a anestesia. Chamado "EMI-Scanner", valeu ao seu inventor, Godfrey Hounsfield, o Prêmio MacRobert 1971, no valor de 25 mil libras (cerca de 375 mil cruzeiros). Trata-se, no terreno da tecnologia, do equivalente ao Prêmio Nobel, e foi entregue recentemente ao vencedor, numa solenidade em Londres, pelo Príncipe Philip. O aparelho, que é um computador, produz fotos do cérebro numa média de quatro pacientes por hora. É capaz de prestar uma ou duas mais informações sobre o estado de um paciente do que até aqui era possível.



1971

Computado do cérebro

O mais moderno aparelho de raios-X eletrônico já em uso, no Morley Hospital em Londres, para exames de cérebro. Fotografias nitidamente minuciosas dos tecidos do cérebro são fornecidas pelo aparelho, dispensando — o que até então era impossível — anestesia. Chamado "EMI Scanner", valeu ao seu inventor, Godfrey Hounsfield, o Prêmio MacRobert 1971, no valor de 25 mil libras (cerca de 375 mil cruzeiros). Toma-se, no terreno da tecnologia, do equivalente do Prêmio Nobel, e foi entregue recentemente ao vencedor, numa cerimônia em Londres, ao Príncipe Philip. O aparelho é um computador, profeta do cérebro numa medida de quatro pacientes por hora e capaz de prestar certas mais informações sobre o estado de um paciente do que até aqui era possível.

Na Santa Casa, computação em diagnóstico neurológico

Os diagnósticos neurológicos, até então feitos pelos mais tradicionais exames indiretos que em geral deixavam dúvidas quanto à origem de tumores e sua malignidade, agora podem ser realizados com grande precisão e sem os riscos anestésicos, graças ao EMI-Scanner, aparelho que faz tomografia computadorizada em 10 minutos. O Scanner foi doado à Santa Casa da Misericórdia pelo armador chinês Y. K. Pao, a pedido da filha do Presidente Getúlio, Amélia Lucy Getúlio.

O neurocirurgião Paulo Niemeyer Filho, responsável pelo Departamento de Tomografia Computadorizada da Santa Casa de Misericórdia, informa ontem que o novo aparelho é mais de cem vezes mais sensível que o EMI-X convencional e permite a visualização de áreas que antes foram vistas apenas em exames alguns. O Scanner está funcionando em caráter experimental.

Além de superar os tradicionais exames indiretos, como a arteriografia, pneumoencefalografia, ventriculografia, todos com auxílio de contraste, o Scanner libera o paciente da internação, já que o diagnóstico é feito em 10 minutos.

COMPROVAÇÃO

Paulo Niemeyer Filho explicou que, pelo método Scanner, o tecido cerebral pode ser visto pela primeira vez em seus mínimos detalhes. No caso de um enfarte cerebral, coarctação ou neurocirurgia, a área afetada pelo derrame pode ser localizada, possibilitando assim, também pela primeira vez no Rio, a certeza do diagnóstico e um tratamento adequado, o que não acontecia antes porque os diagnósticos eram apenas clínicos, sem a comprovação radiológica.

— O Scanner facilitará não apenas o trabalho do neurologista. O aparelho pode ser utilizado também pelos oftalmologistas, que poderão estudar o nervo óptico e a cavidade orbitária dentro dos mais modernos métodos da medicina tecnológica — disse Paulo Niemeyer Filho, que passou dois anos fazendo estágio sobre o método Scanner num dos hospitais de Londres.

O aparelho já é o responsável pela cirurgia a que se submetem ontem um paciente da Santa Casa da Misericórdia. Após fazer três exames pelo convencional X-rama, o diagnóstico ainda estava duvidoso. Essas dúvidas foram afastadas dentro de 10 minutos pelo Scanner, que mostrou nitidamente, em seu primeiro teste, que se tratava de um



O EMI-Scanner, aparelho doado à Santa Casa pelo armador chinês Y. K. Pao

neur benigno do nervo óptico. O Scanner foi comprado à Inglaterra, em janeiro deste ano, por 600 mil dólares (aproximadamente Cr\$9 milhões).

O método Scanner é formado por um complexo de sete peças que só podem funcionar a uma temperatura de no máximo 23 graus centígrados; uma mesa giratória de Raios X dois pacientes de controle com televisão; um computador; dois sistemas de gravidade de exames (um por disco, outro por fita); e um console que reproduz a imagem em números.

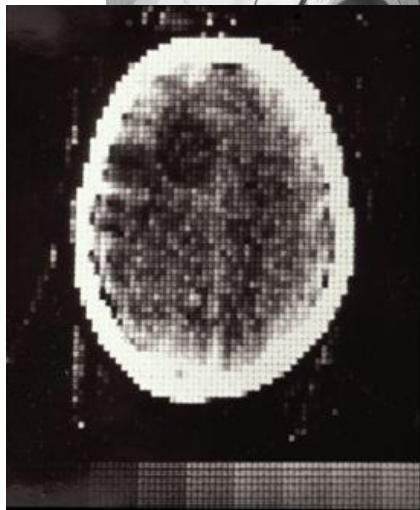
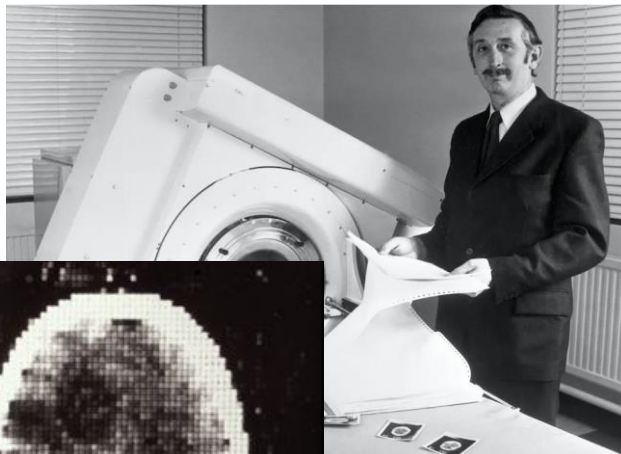
O exame consiste em cortes tomográficos horizontais do crânio, que se superõem desde sua base até a parte mais alta da cabeça, permitindo uma imagem em três dimensões. A televisão do Scanner exibe o resultado do exame, variando de cores, densidade e foco. Ainda segundo Paulo Niemeyer Filho, o Scanner é o único aparelho em condições de prestar se um tumor é de origem benigna ou cancerígena:

— Os outros métodos mostram apenas a presença de uma massa sem maiores detalhes — explicou.

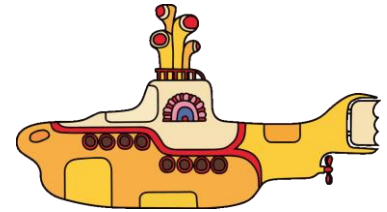
O paciente só poderá fazer o exame pelo método Scanner com recomendação médica. "Para evitar uma possível reação à massa ao Scanner, e que prejudicaria os realmente necessitados", esclareceu Paulo Niemeyer Filho. As instalações do Scanner na Santa Casa da Misericórdia foram consideradas "excepcionais" pelos técnicos ingleses da EMI — Electronic Medical Instrument — que elaboraram o projeto dos arquitetos Thales Memória e Artur Marcel.

— Além da doação do Y. K. Pao, o apoio da Provvedoria da Santa Casa da Misericórdia foi fundamental para o Scanner funcionar no Rio pela primeira vez. Além do Rio, apenas São Paulo tem o método Scanner, na Beneficência Portuguesa.

O aparelho foi elaborado, em 1972, pelo inglês Gregory Hounsfield.



971

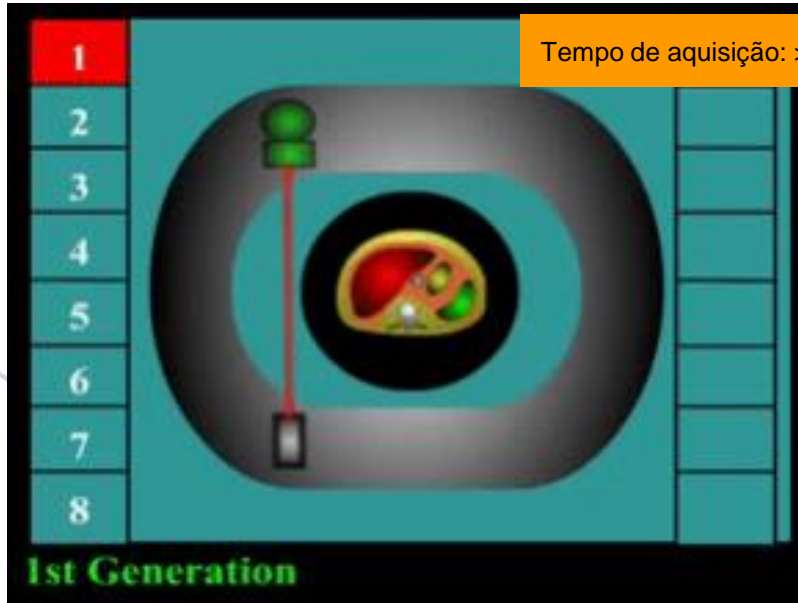


1979

Movimento do conjunto fonte-detector:

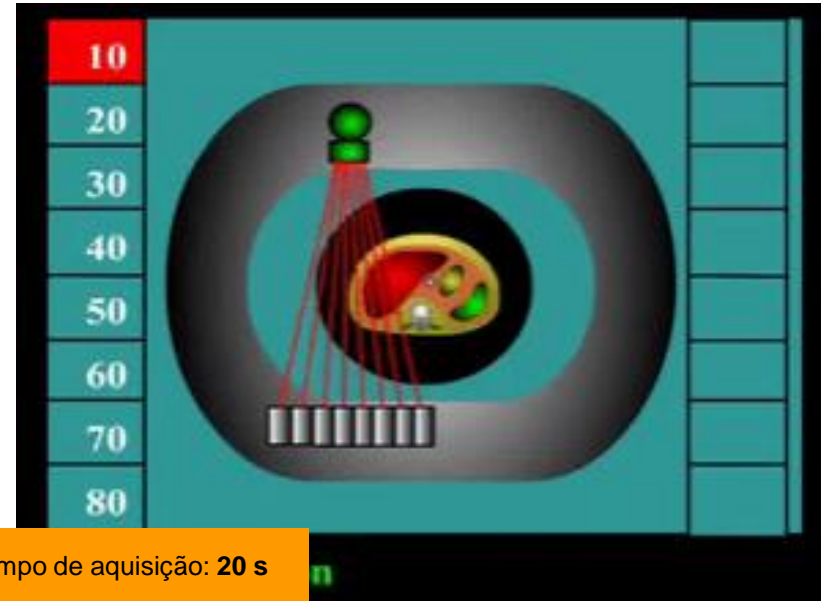
Translação e rotação (1° por vez até 180°)

Tempo de aquisição: > 4 min



Translação e rotação (6° por vez até 180°)

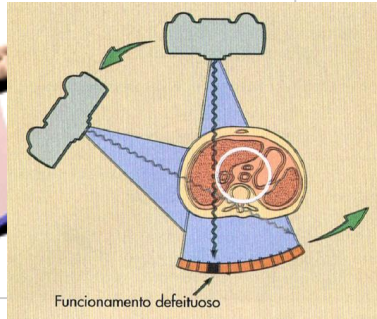
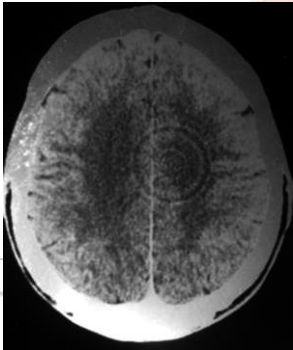
Tempo de aquisição: 20 s



Movimento do conjunto fonte-detector:

Rotação-rotação (arco de 30 a 60°)

Tempo de aquisição: < 1s



Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=aBHMsm4_ois ; Bushong, 2013.

Fonte: <https://radiopaedia.org>

Rotação (arco 360° com 4000 detec.)



Tempo de aquisição: < 1s

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=AoPGvAO2Pil>

Movimento do conjunto fonte-detector:

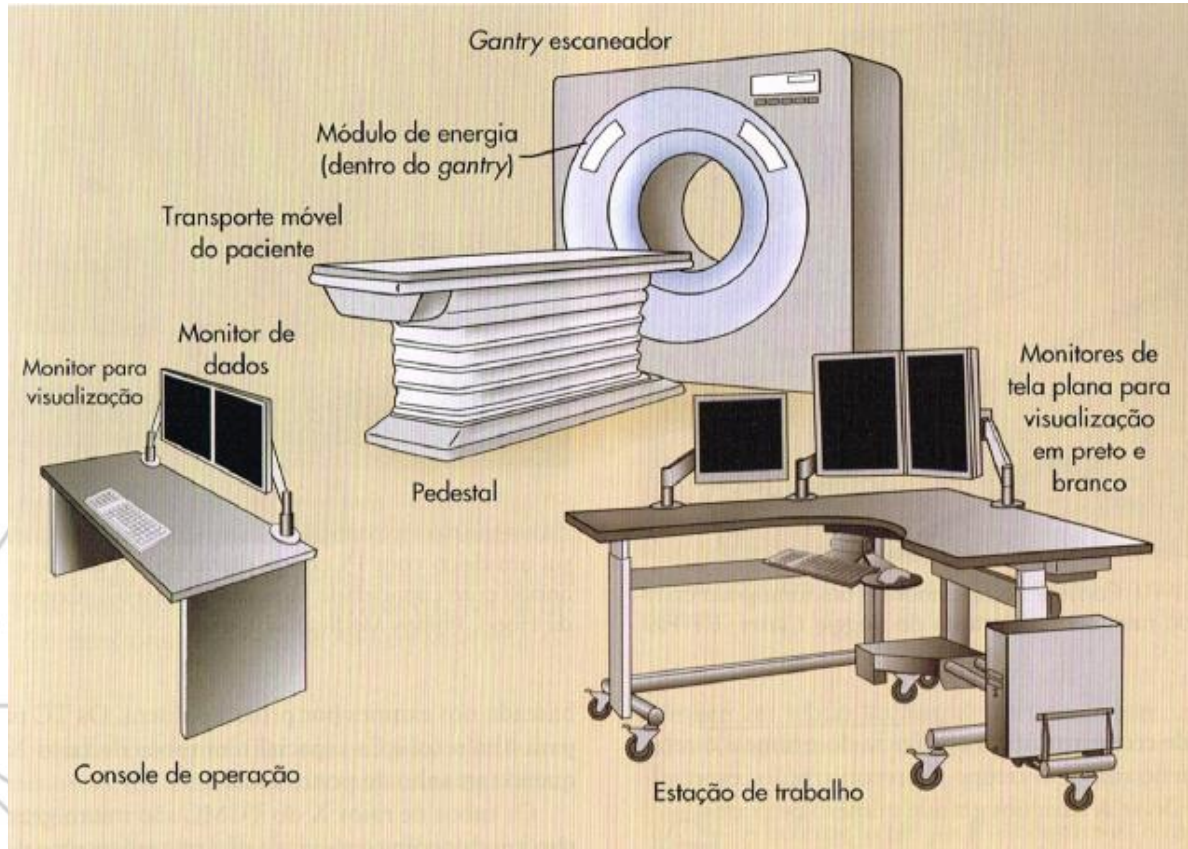
Rotação-rotação (arco de 30 a 60°)

Tempo de aquisição: < 1s



Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=aBHMsm4_oi8

Principais componentes



Tubo de raios X

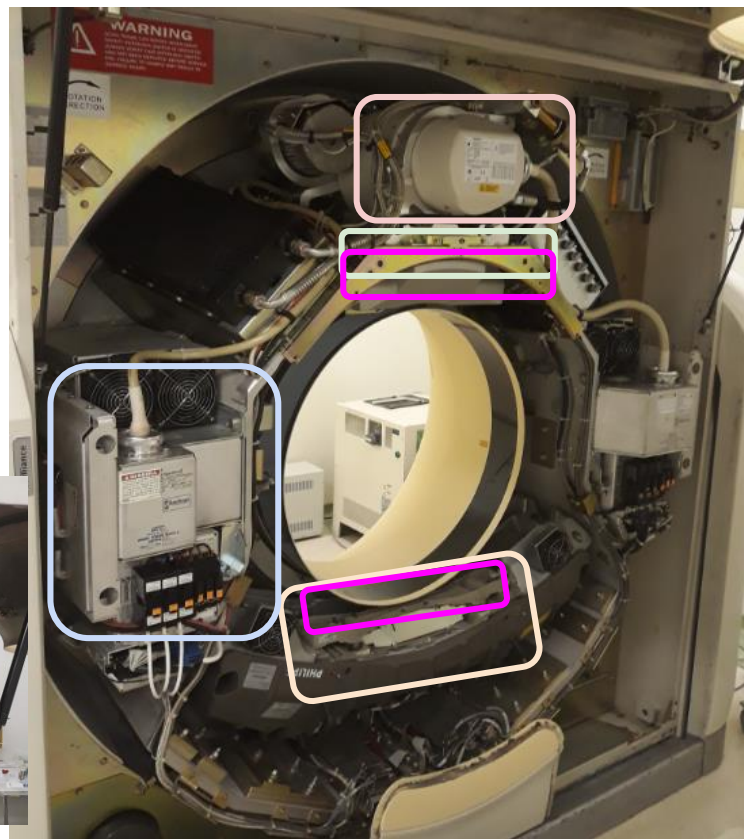
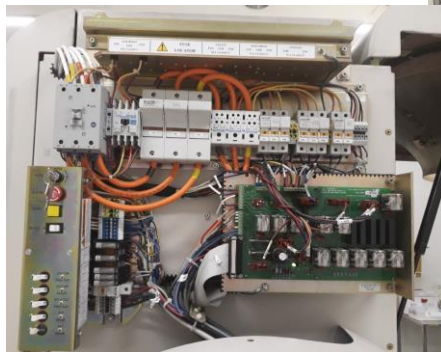
Detectores

Filtros

Gerador

Colimadores

Eletrônica

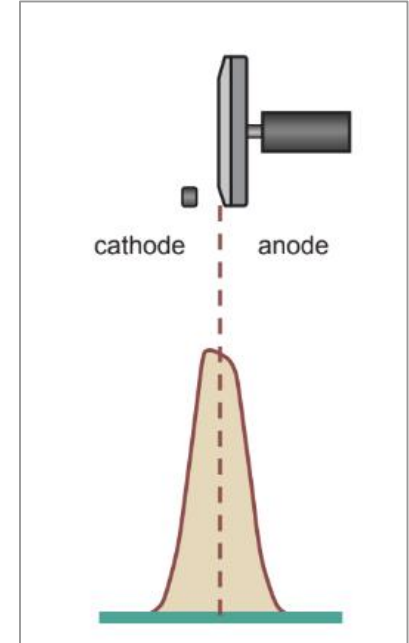
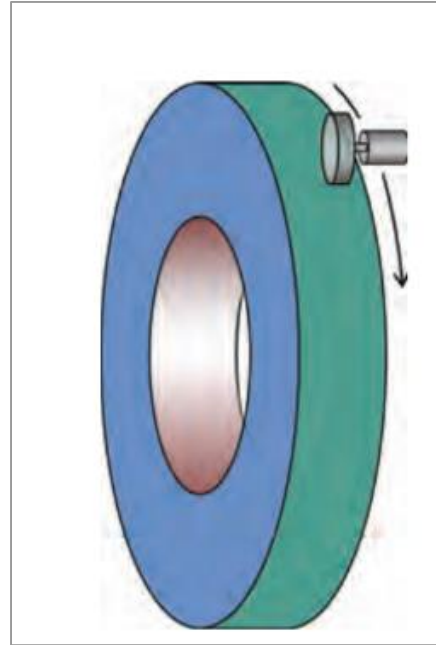


Tubo de raios X

Tubo paralelo ao eixo z.

Rotação do anodo paralela ao plano de rotação do Gantry, diminui efeitos giroscópicos.

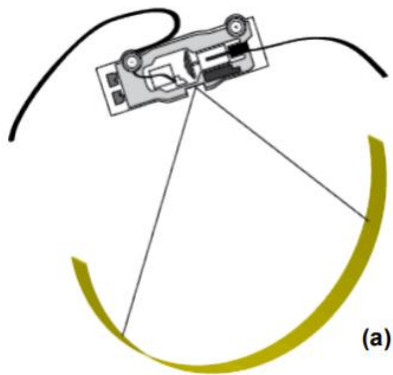
Diminuir a influência do efeito anódico (Paralelo ao eixo Z).



Fonte: Adaptado de BUSHBERG, 2012.

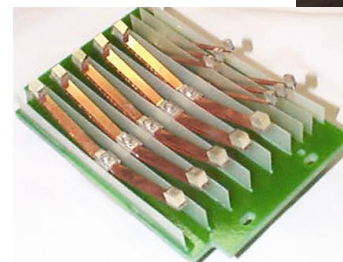
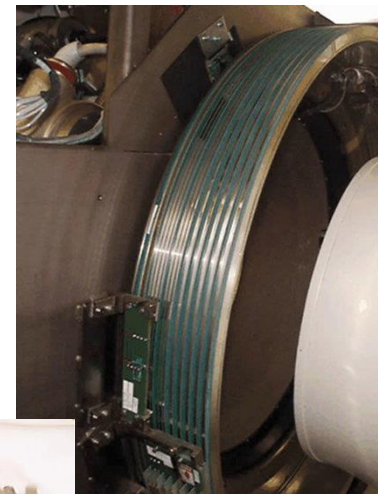
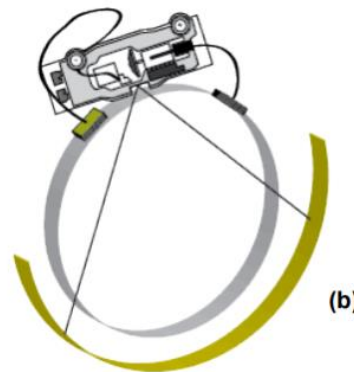
Slip ring

Cabos



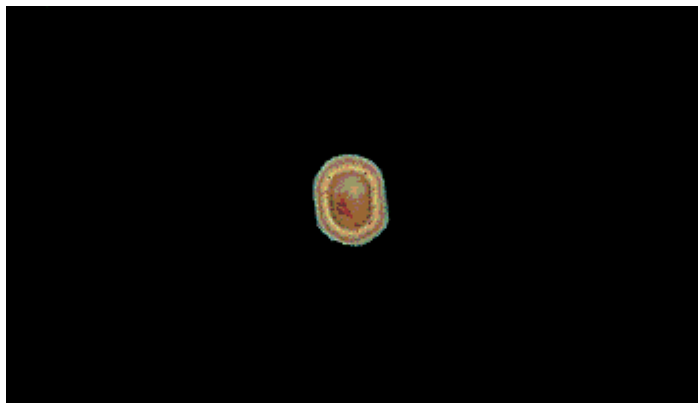
Fonte: Hiperídia

Slip ring

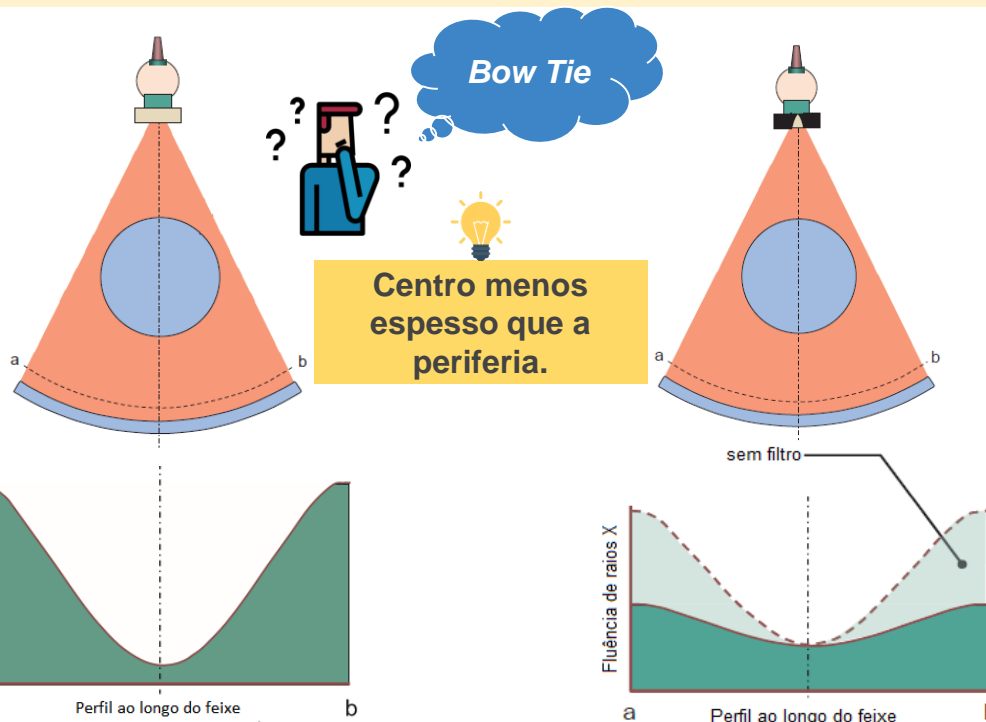


Fonte: <http://www.wikiradiography.net/page/Slip+Rings>

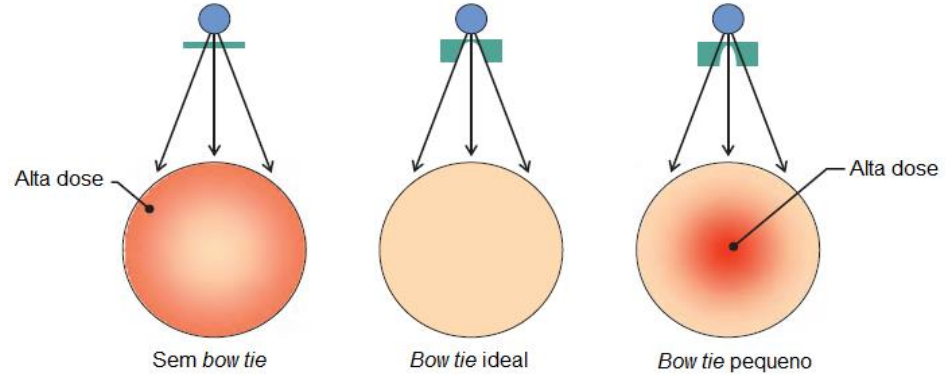
Função: Uniformizar o feixe de radiação.



Corpo humano → seção transversal aproximadamente elíptica.



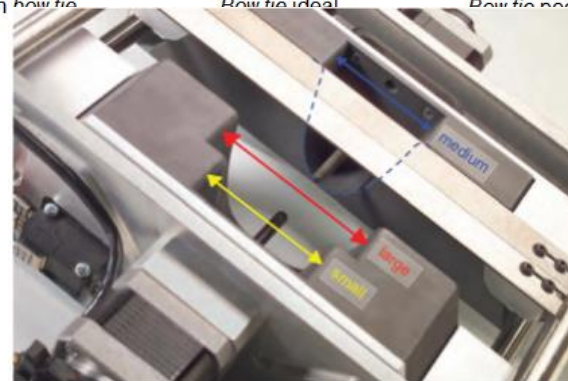
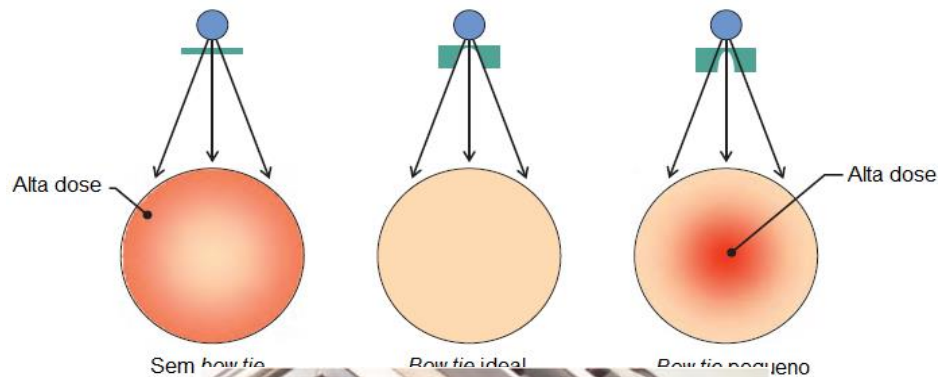
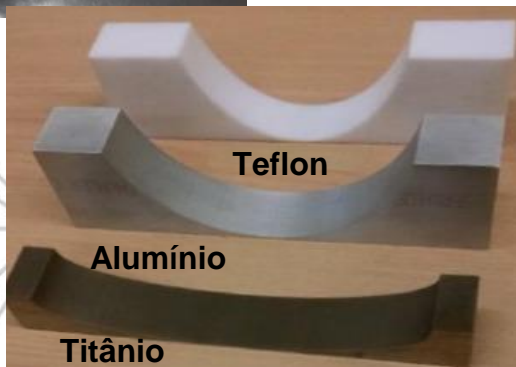
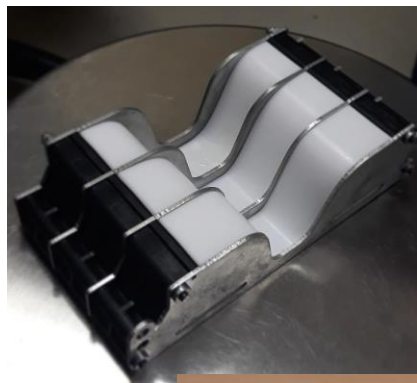
Função: Uniformizar o feixe de radiação.



Fonte: Adaptado de BUSHBERG, 2012.

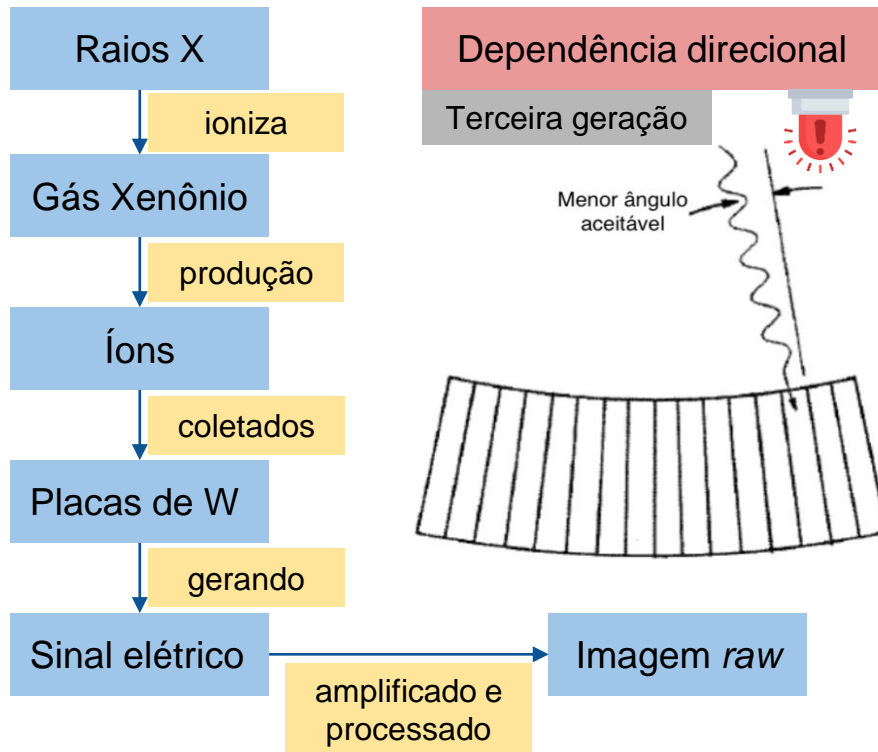
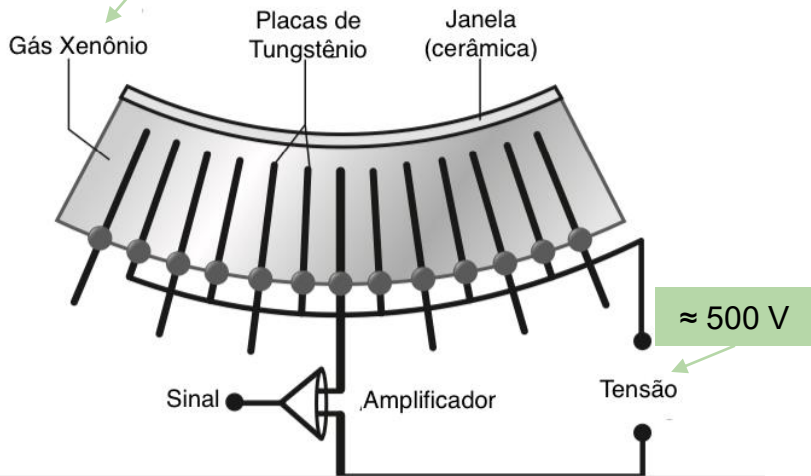


Função: Uniformizar o feixe de radiação.

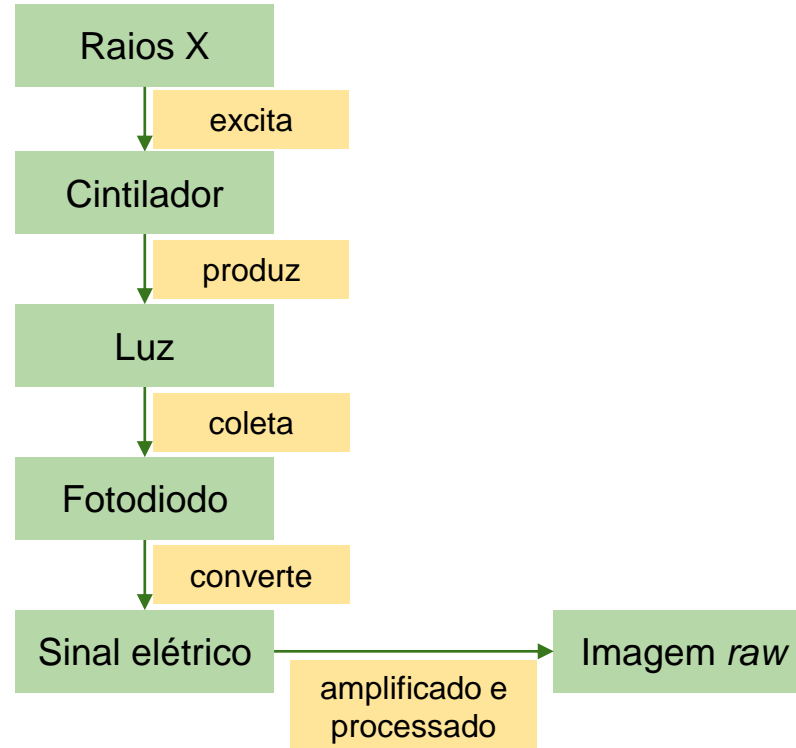
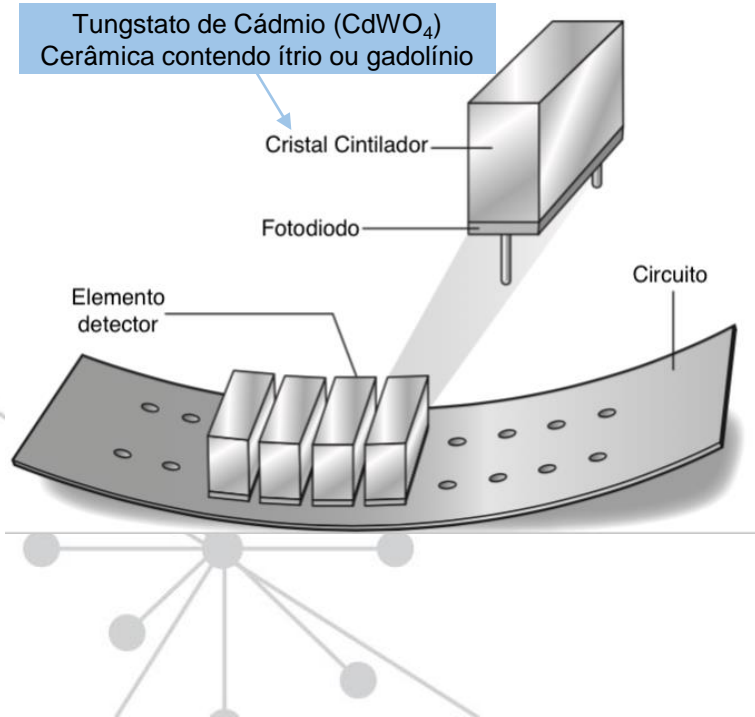


DETECTORES À GÁS

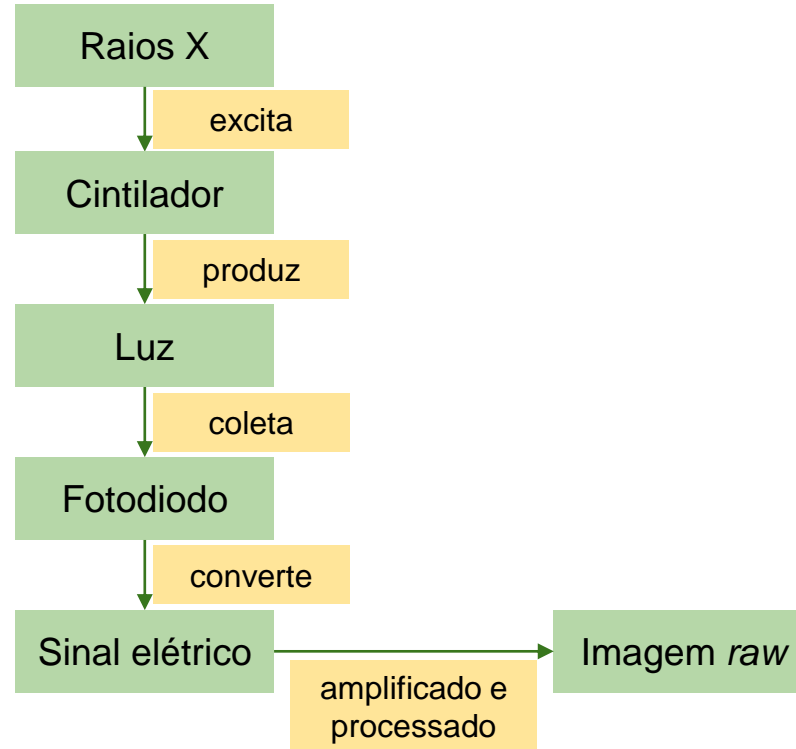
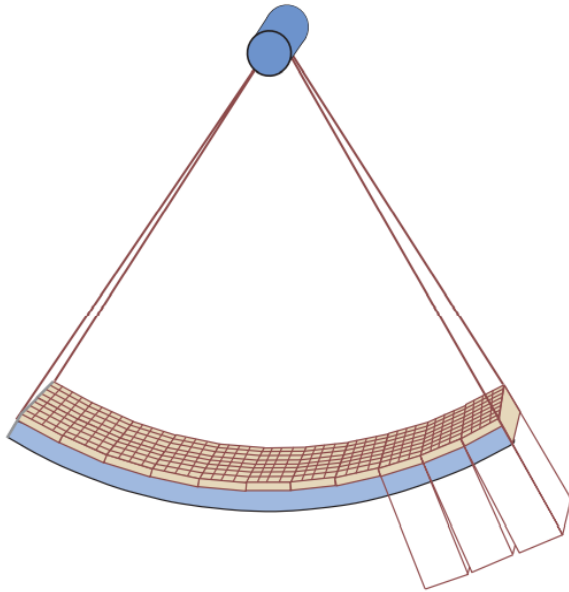
Pressão ≈ 25 atm



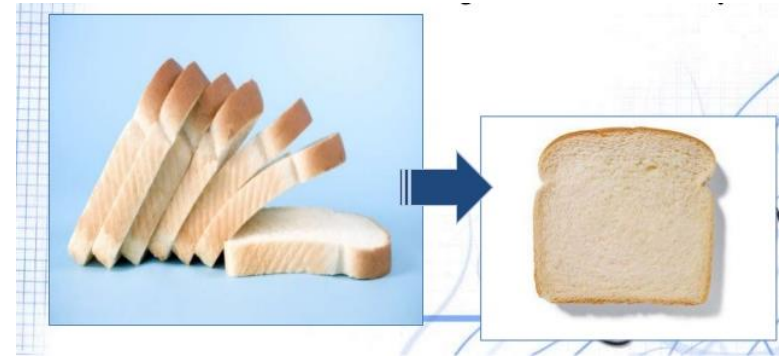
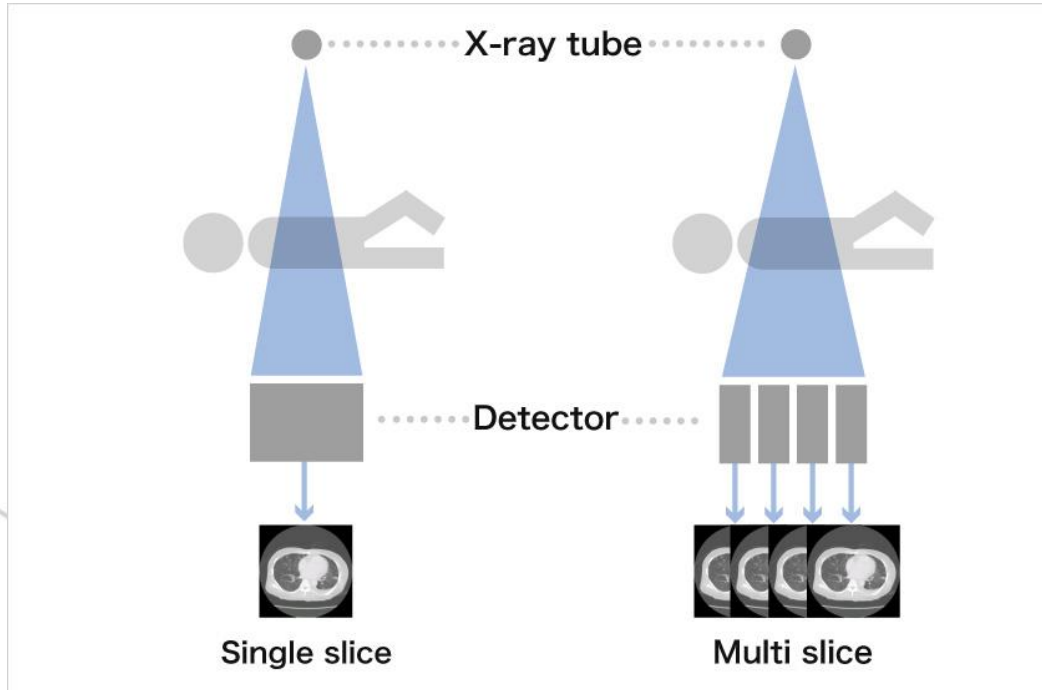
DETECTORES DE ESTADO SÓLIDO



DETECTORES DE ESTADO SÓLIDO



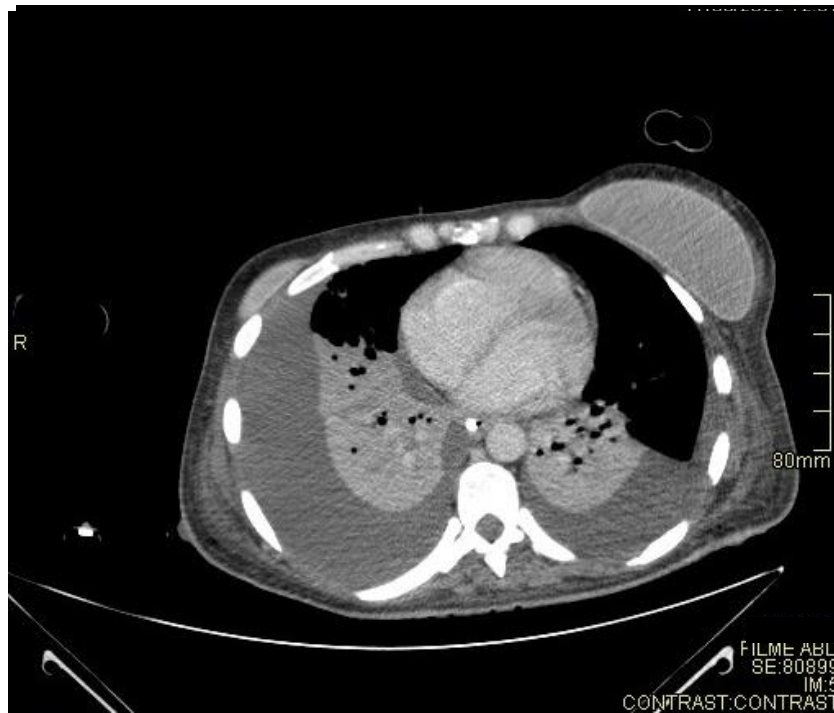
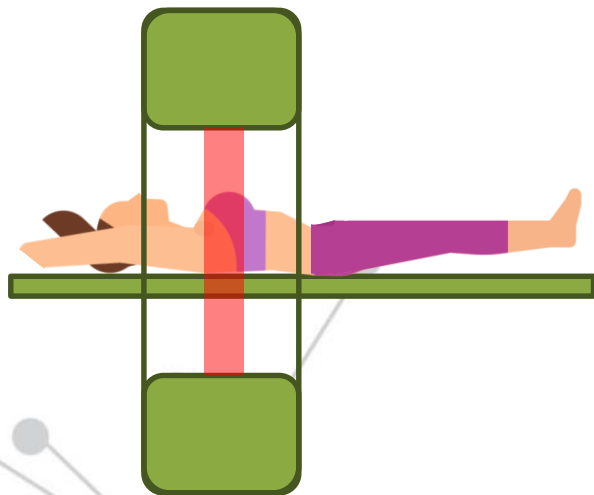
Detectores



<https://global.canon/en/technology/interview/ct/index.html>

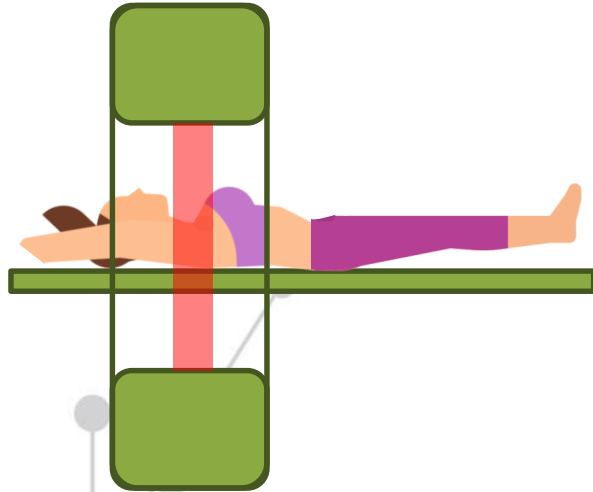
Modo de aquisição

Axial



Modo de aquisição

Helicoidal



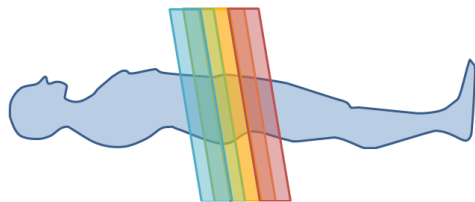
$$\text{pitch} = \frac{\text{deslocamento da mesa}}{nT}$$



Definição: Razão entre a distância percorrida pela mesa durante um giro de 360° e a largura do feixe de raios X.

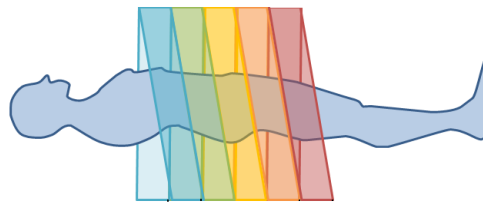
Faixa: 0,75 - 1,5 (depende do fabricante)

Cardíaco



$Pitch < 1$

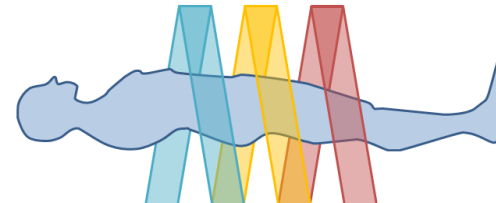
Sobreposição da mesma região.



$Pitch = 1$

Sequencial

Torácica e pediátrica

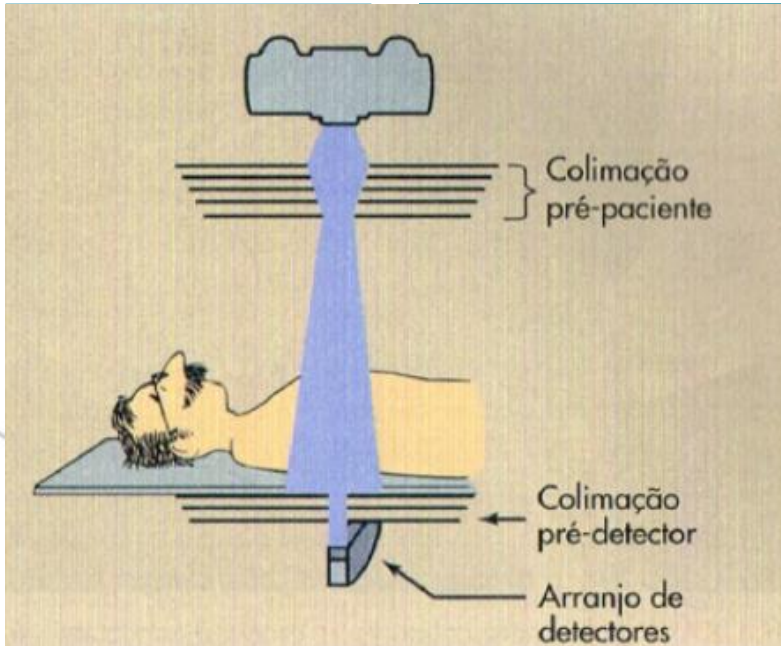


$Pitch > 1$

Região entre cortes não são irradiadas.

Pré paciente

Pós paciente



↓ Espessura de corte

↓ Artefatos de volume parcial

↓ Raios X incidindo no detector

↑ Ruído

Dois tecidos de densidades diferentes :

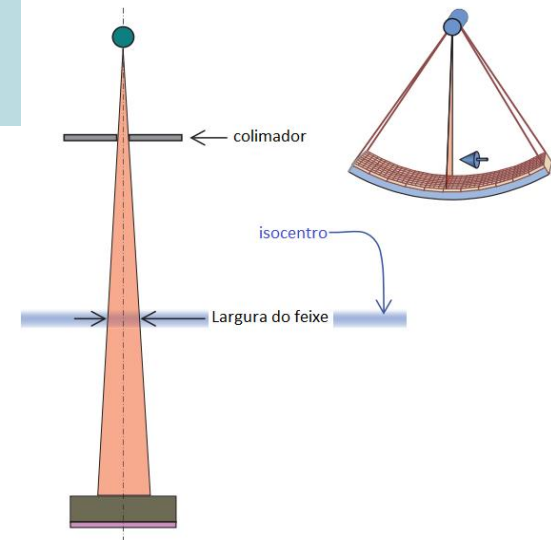
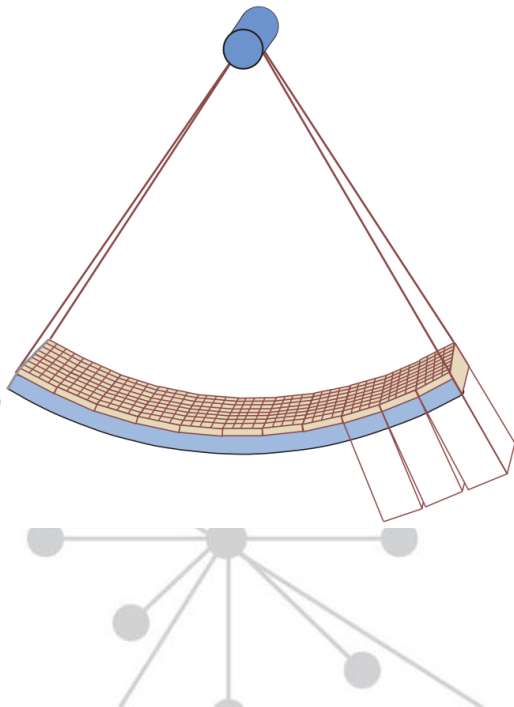
É visto com outra densidade



Arranjo de múltiplos detectores

Conjunto de vários módulos de matrizes lineares de detectores de estado sólido

Single-slice: colimador determina a espessura de corte



Arranjo de múltiplos detectores

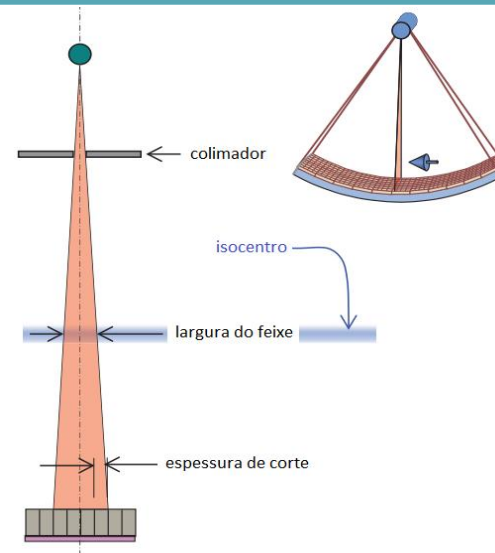
Conjunto de vários módulos de matrizes lineares de detectores de estado sólido

Single-slice: colimador determina a espessura de corte

Multi-slice: arranjo de detectores determina a espessura de corte e o número de cortes

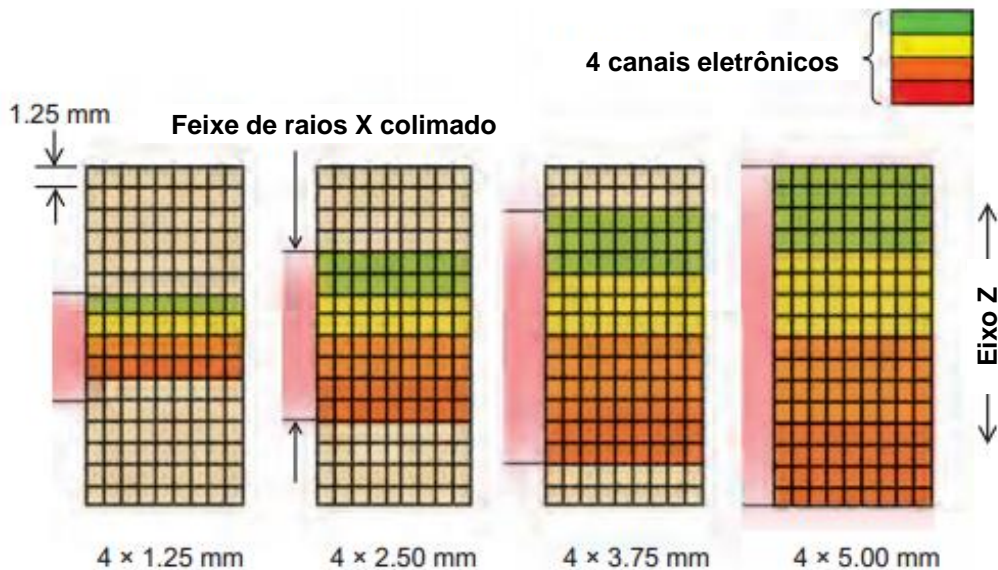
Largura do feixe → colimador

Largura do feixe = $n \times T$



Canais e Seleção da espessura de corte

Nº de canais



Configuração do detector

Fonte: Adaptado de Bushberg, 2012.

Combinação de detectores

Ambos são de 4 canais

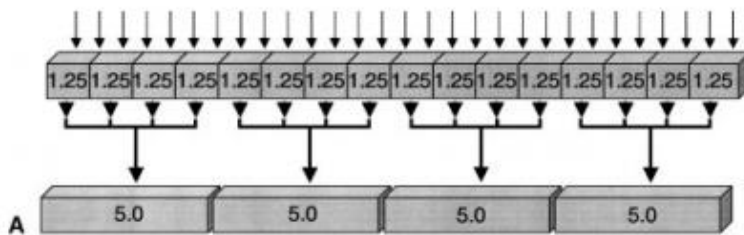
Fileiras híbridas



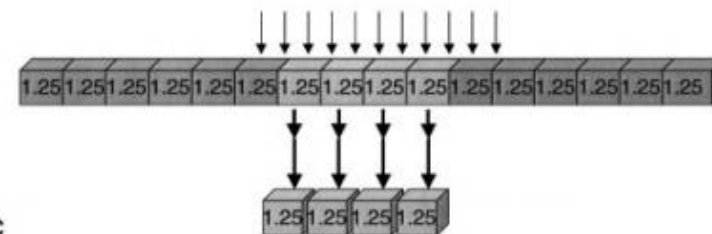
Fileiras homogêneas



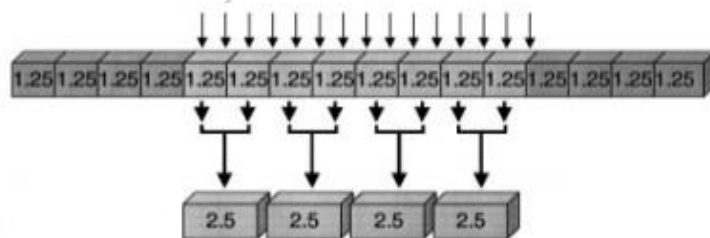
Combinação de detectores



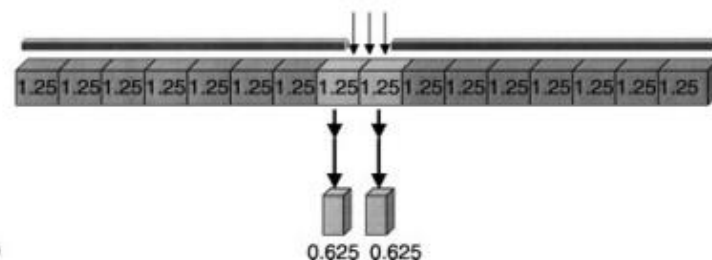
$$4 \times 5 \text{ mm} = 20 \text{ mm}$$



$$4 \times 1,25 \text{ mm} = 5 \text{ mm}$$

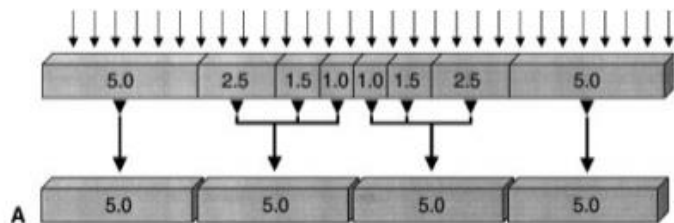


$$4 \times 2,5 \text{ mm} = 10 \text{ mm}$$

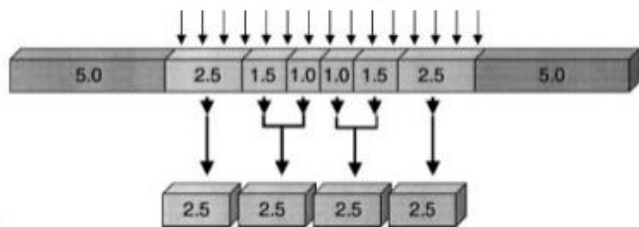


$$2 \times 0,625 \text{ mm} = 1,25 \text{ mm} \\ (\text{modo de 2 canais})$$

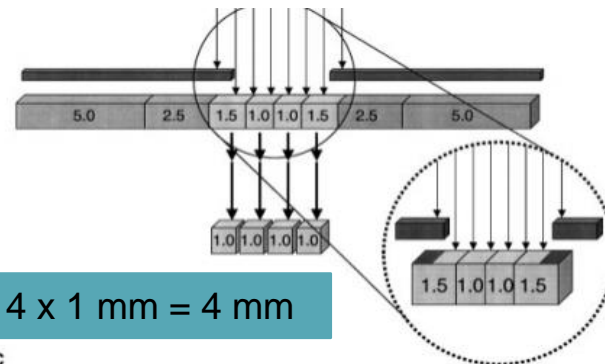
Combinação de detectores



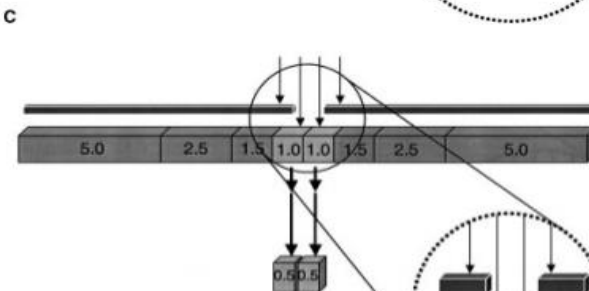
$4 \times 5 \text{ mm} = 20 \text{ mm}$



$4 \times 2,5 \text{ mm} = 10 \text{ mm}$



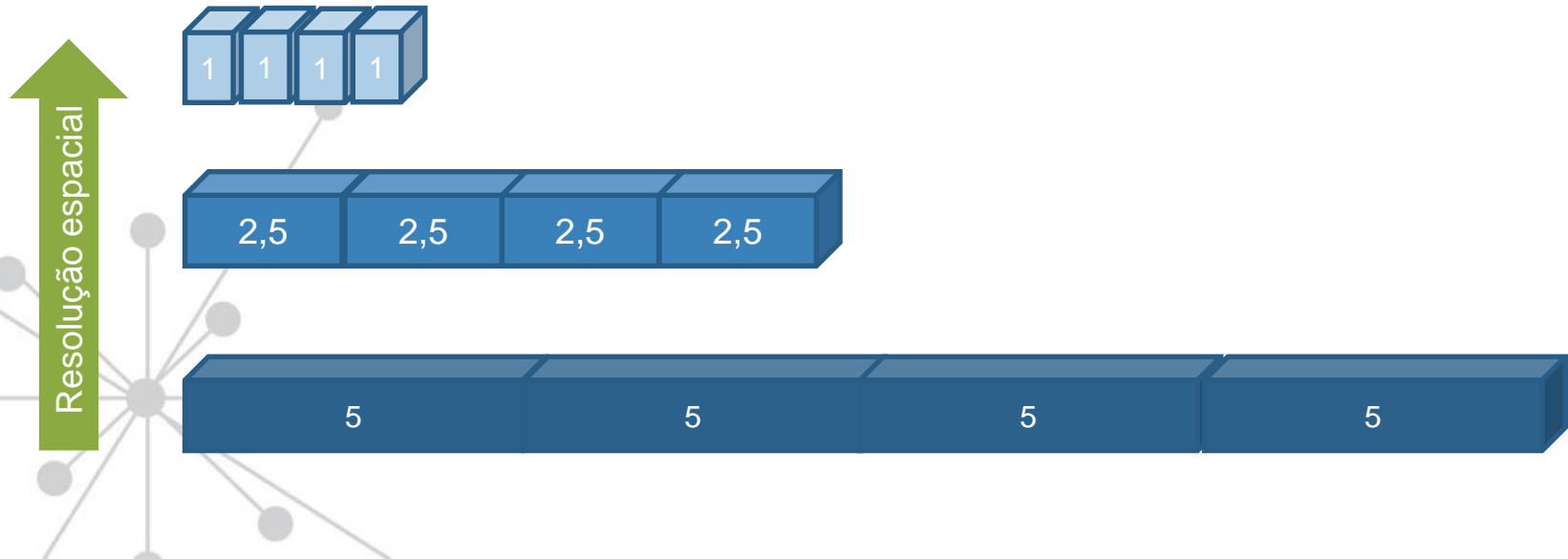
$4 \times 1 \text{ mm} = 4 \text{ mm}$



$2 \times 0,5 \text{ mm} = 1 \text{ mm}$
(modo de 2 canais)

Detectores

E a qualidade da imagem?



Seleção da espessura de corte

Espessura de corte
nominal

Largura física dos elementos detectores que criam a informação de corte no sistema de aquisição de dados

Espessura de corte
efetiva

Dependendo do algoritmo de reconstrução e do pitch usado, ocorre um alargamento da fatia (espessura de corte realmente adquirida)



Modulação de corrente

Exames de CT - AEC



Dose de radiação



Qualidade da imagem preservada

Sistema capaz de ajustar o valor da corrente (mA)

Tamanho do paciente

Densidade do tecido

Ângulo de irradiação

Modulação de corrente

abordagens do sistema AEC:

Qualidade da imagem
(padrão de ruído)

Corrente do tubo de
referência ou produto
corrente-tempo

Imagem de referência

❖ Os parâmetros também dependem dos fabricantes dos CTs.

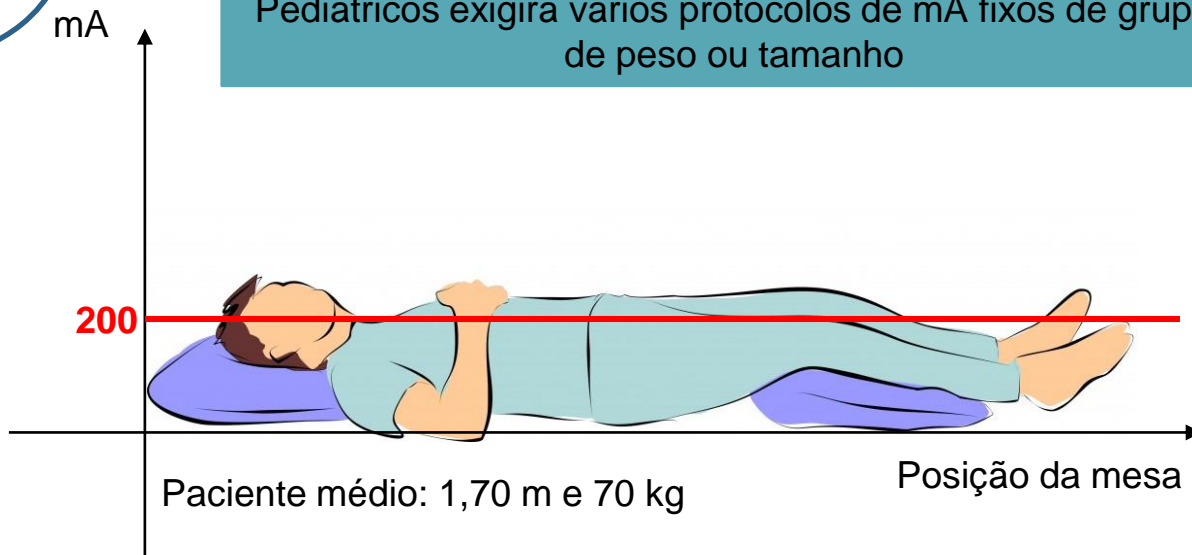
Modulação de corrente

Corrente fixa

Ajustar o mA fixo para diferentes indicações clínicas

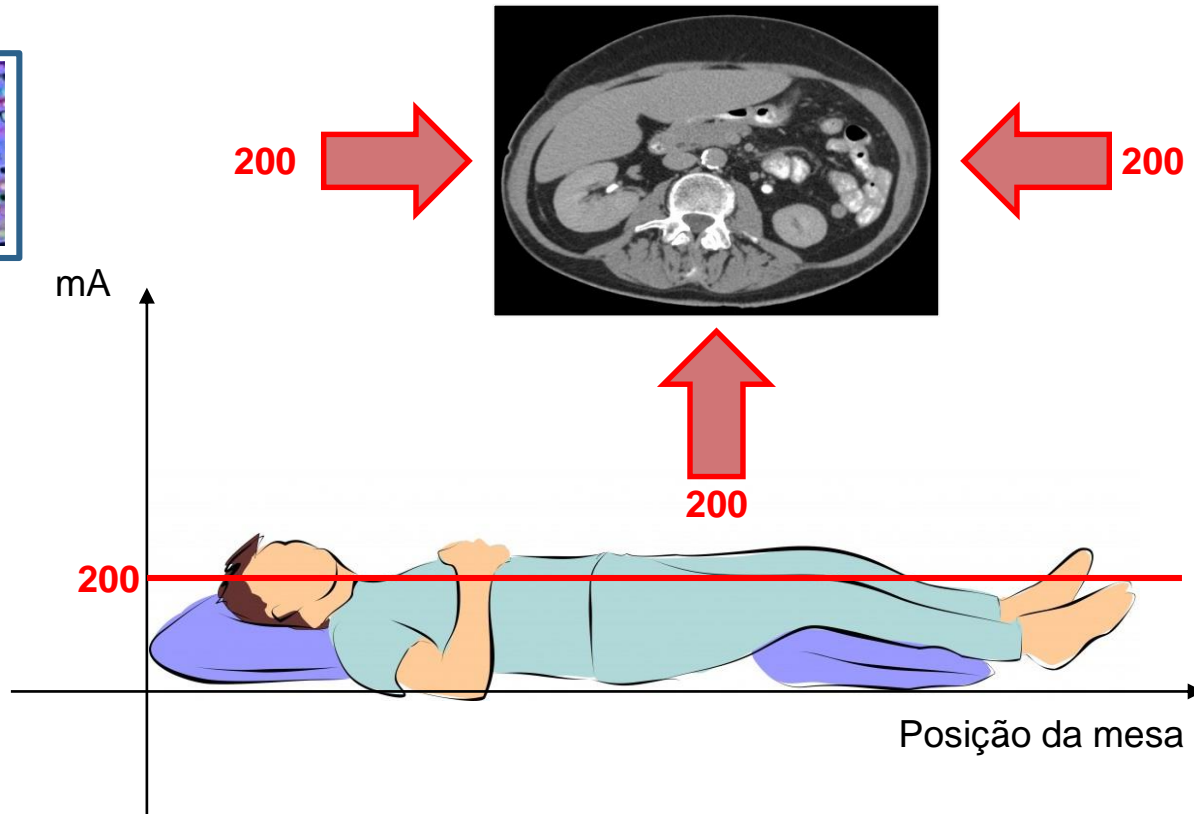
Configurações de mA fixas de tamanho específico para cada indicação

Pediátricos exigirá vários protocolos de mA fixos de grupo de peso ou tamanho



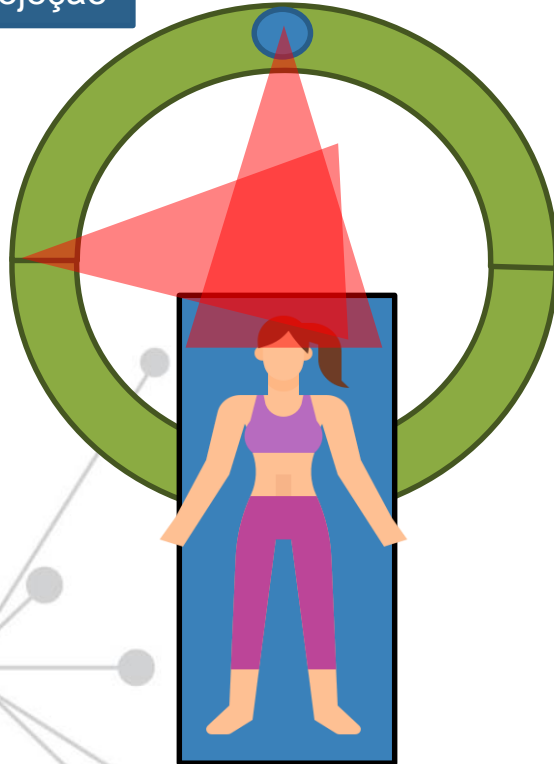
Modulação de corrente

Corrente fixa



Modulação de corrente

Radiografia de projeção



AEC modula a corrente do tubo ao longo da direção z (longitudinal) e / ou do plano x-y (angular)

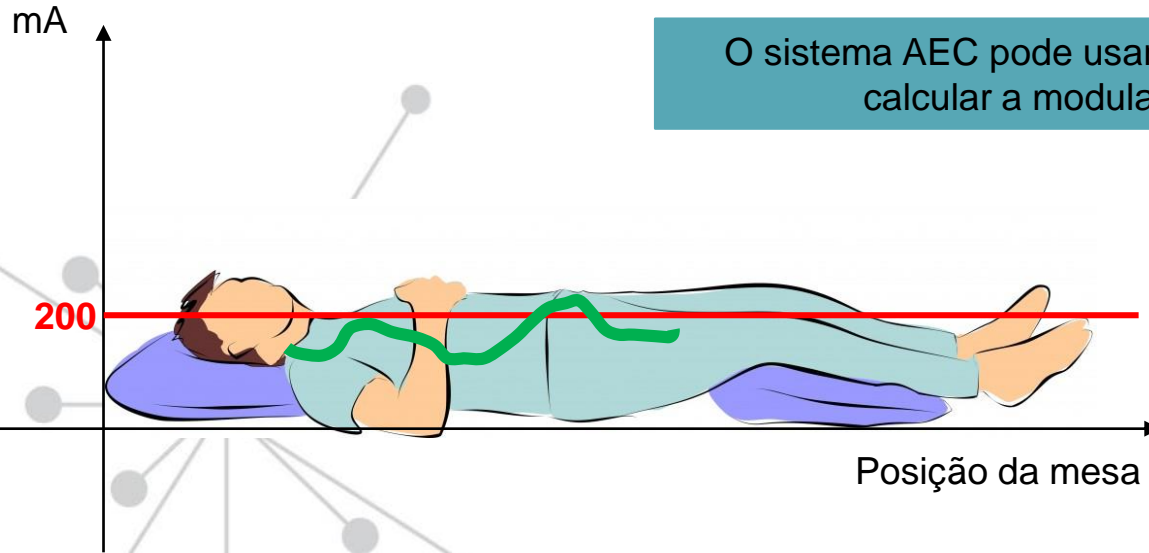
Modulação de corrente

Longitudinal

Baseada na variação da corrente do tubo ao longo do eixo z

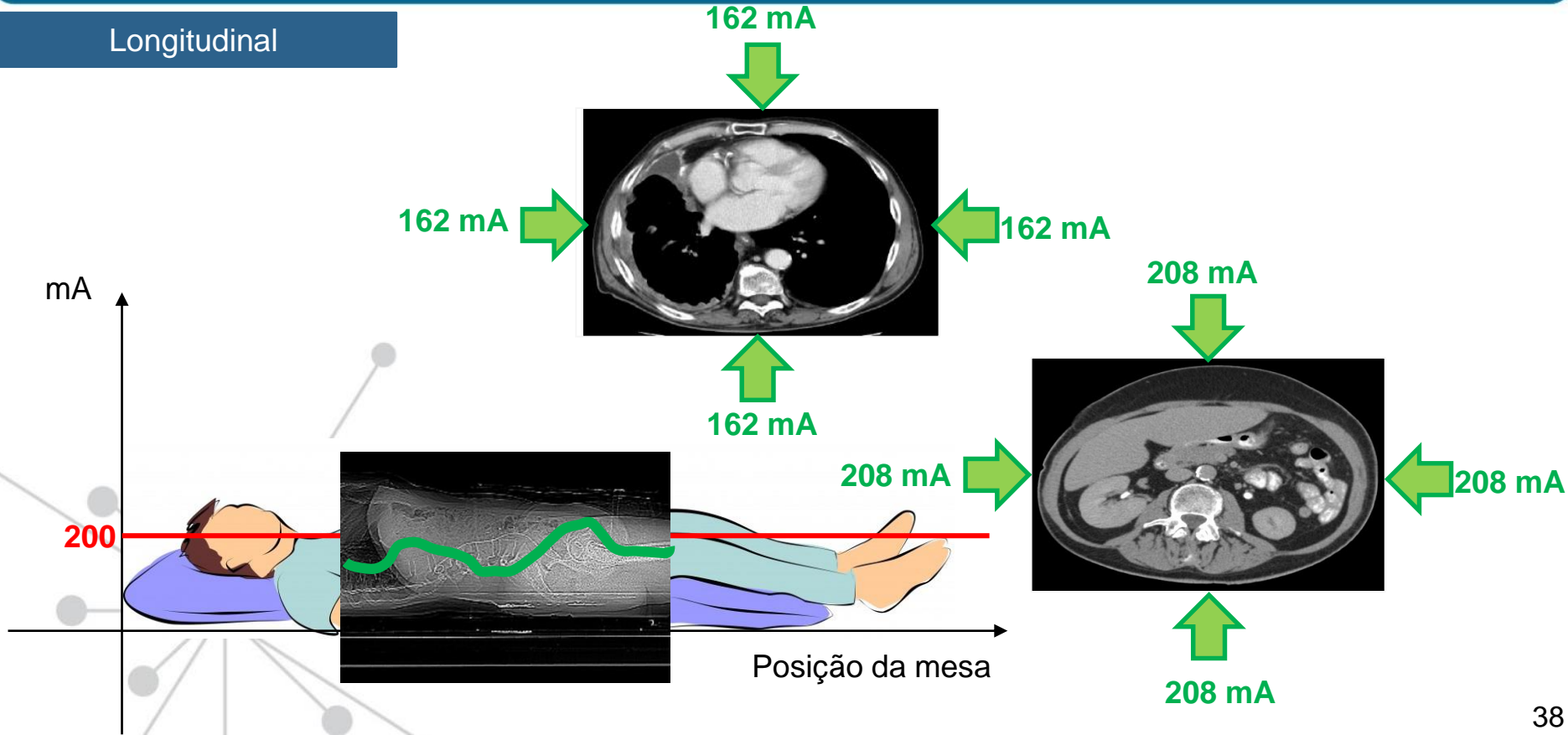
Radiografia de projeção como referência de densidade e espessura

O sistema AEC pode usar ou não ambas as imagens para calcular a modulação da corrente do tubo



Modulação de corrente

Longitudinal

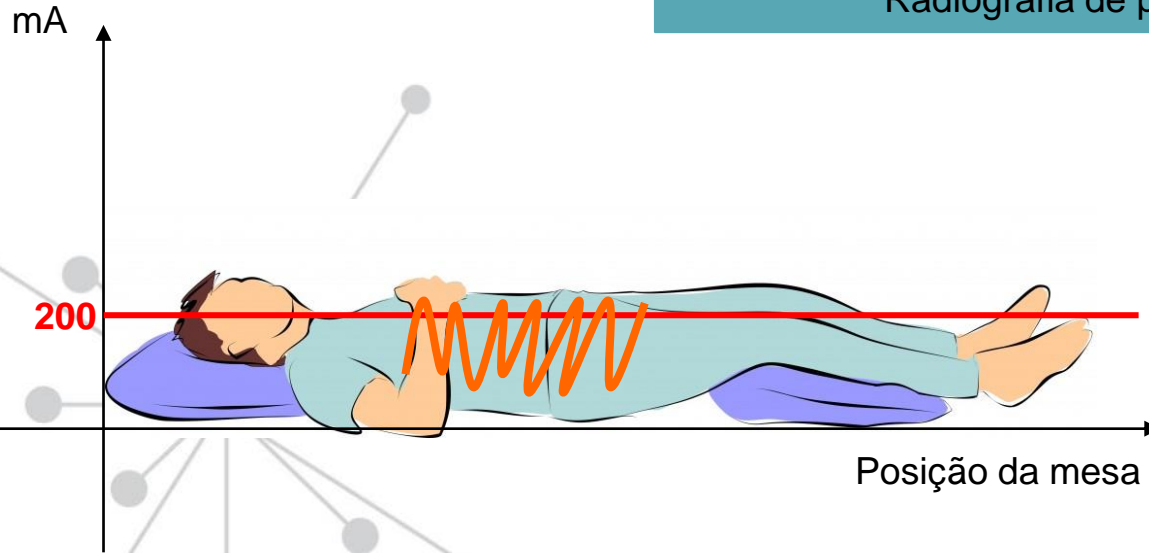


Modulação de corrente

Angular

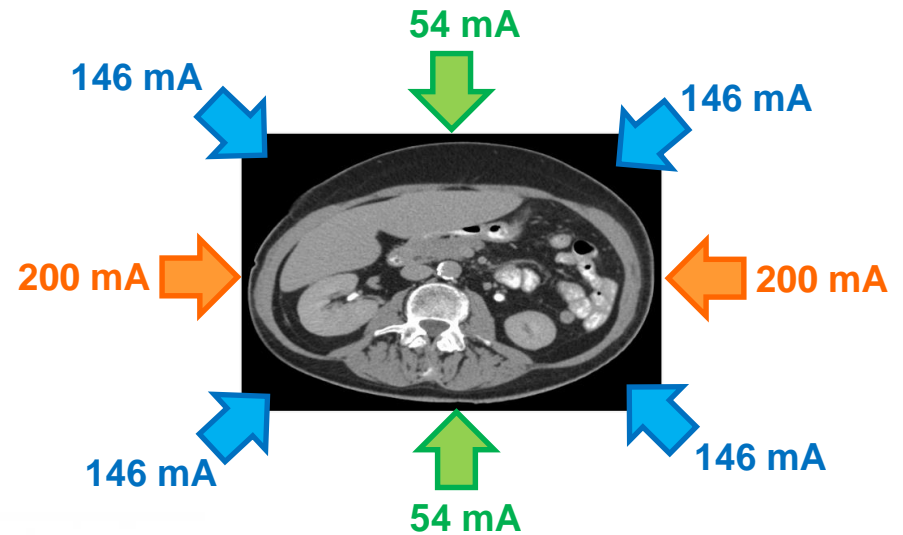
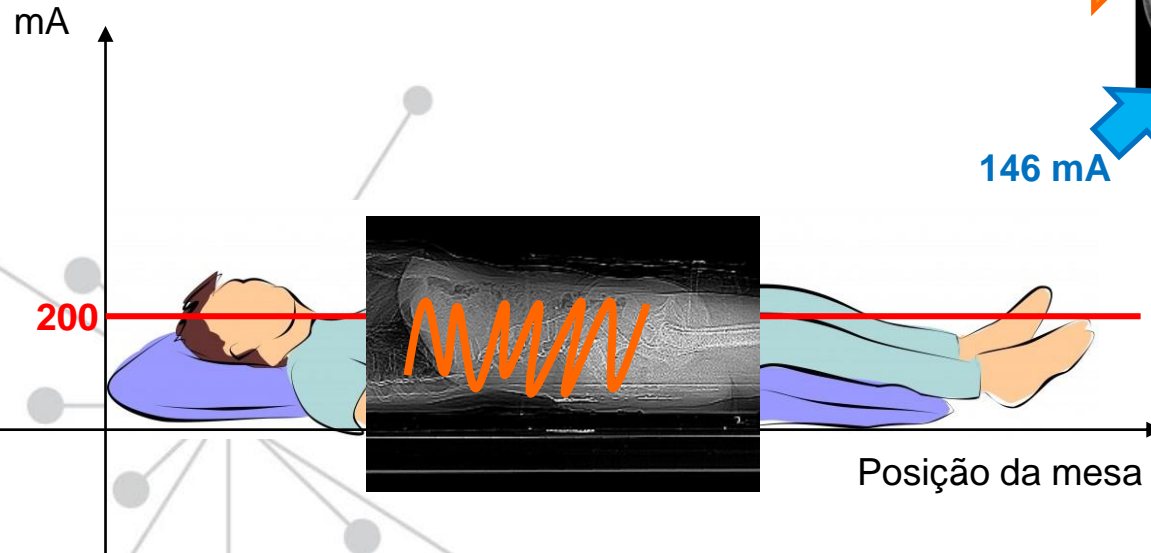
Mudança em mA em diferentes projeções angulares

Modula a corrente para cada fatia
Tempo real (Siemens; Philips)
Radiografia de projeção (GE; Toshiba)



Modulação de corrente

Angular



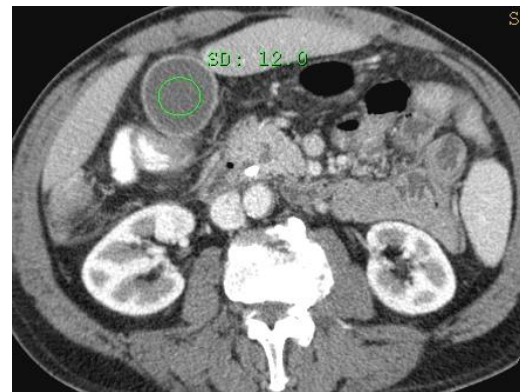
Modulação de corrente

Angular

Fixa = 200 mAs

Angular = 159 mAs

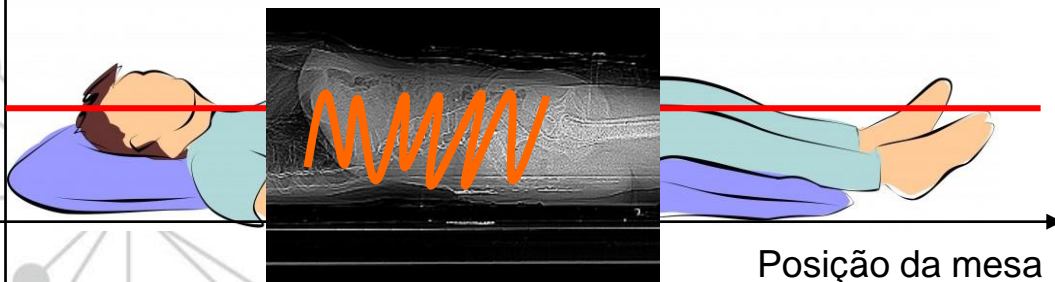
SD = 12,3



SD = 12,0

mA

200

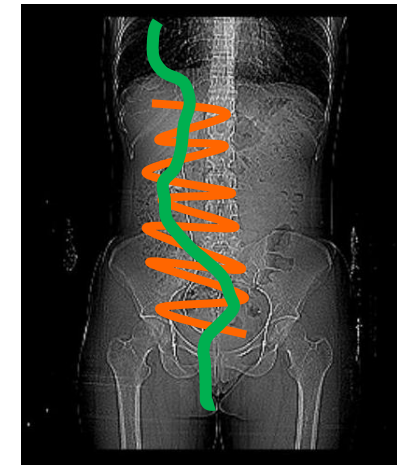
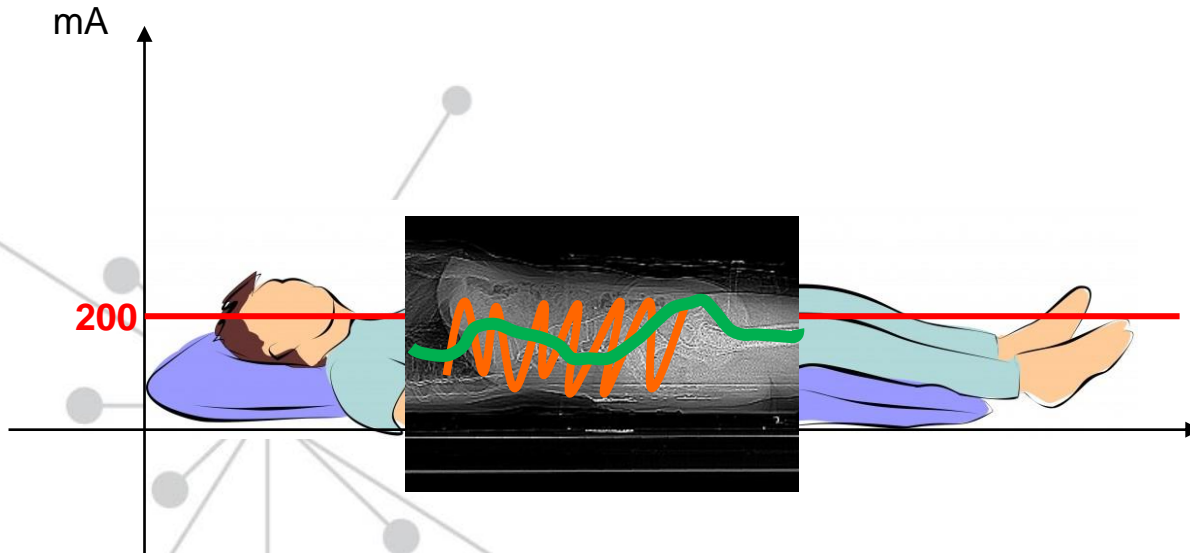


Modulação de corrente

Combinada

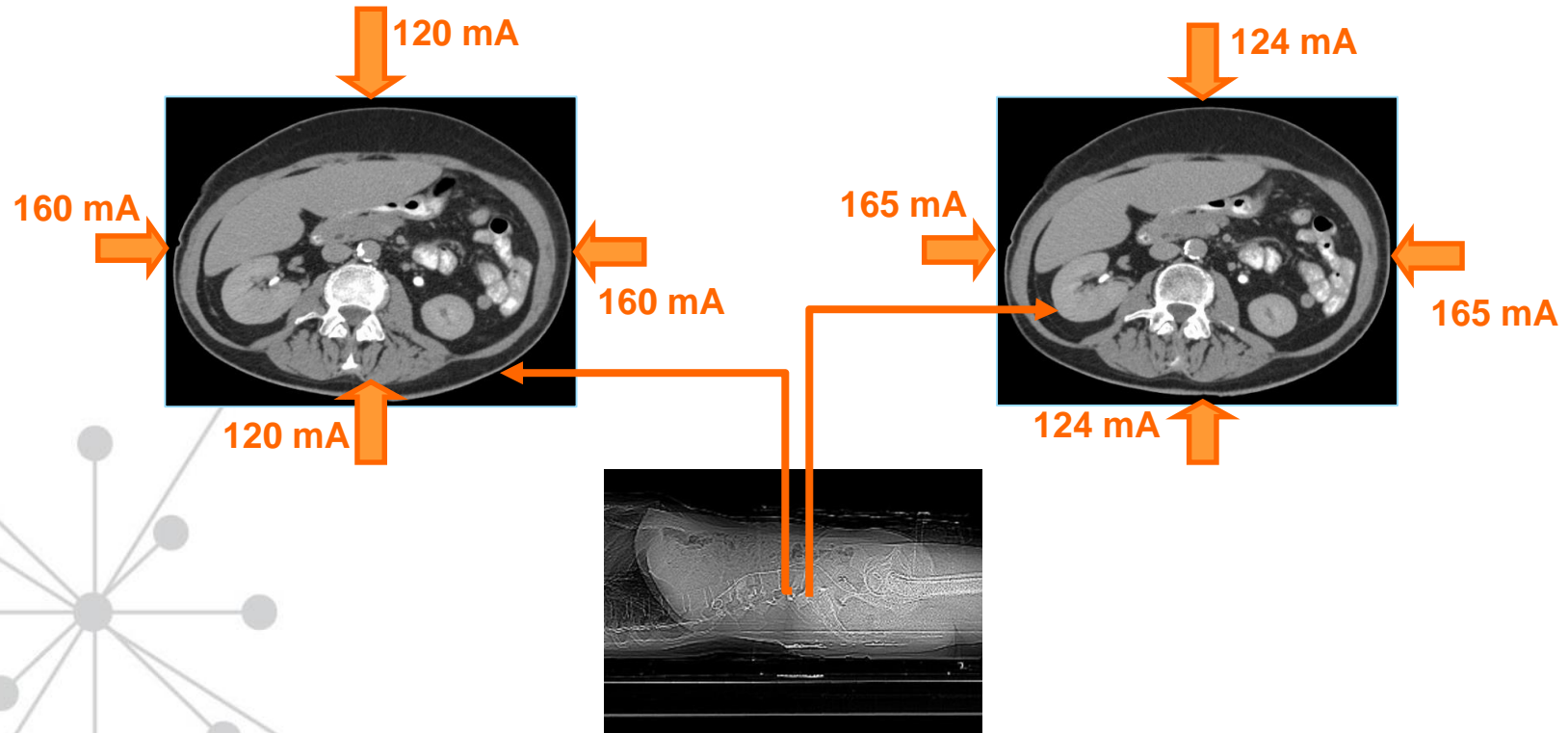
Combina técnicas de modulação angular e longitudinal

Pode fornecer redução adicional da dose de radiação em comparação ao uso separado de técnicas de modulação



Modulação de corrente

Combinada



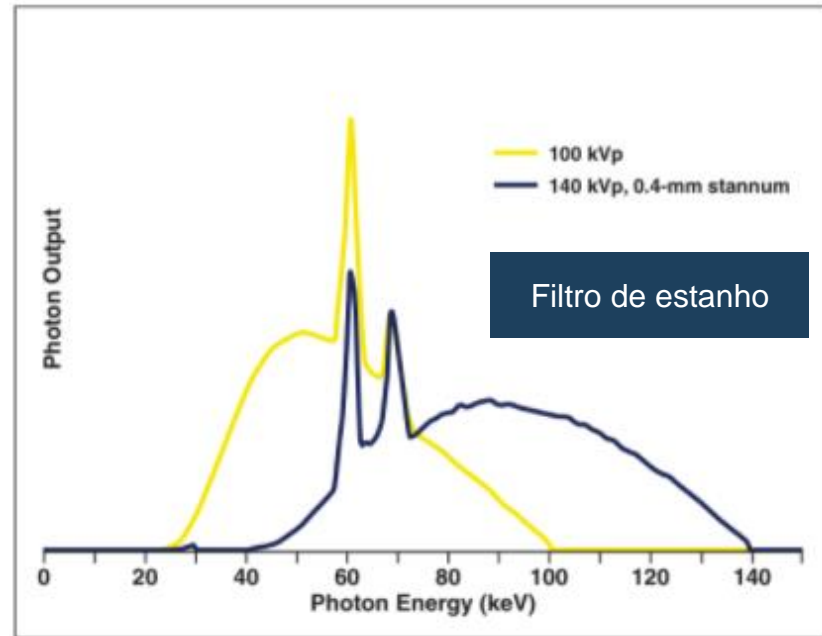
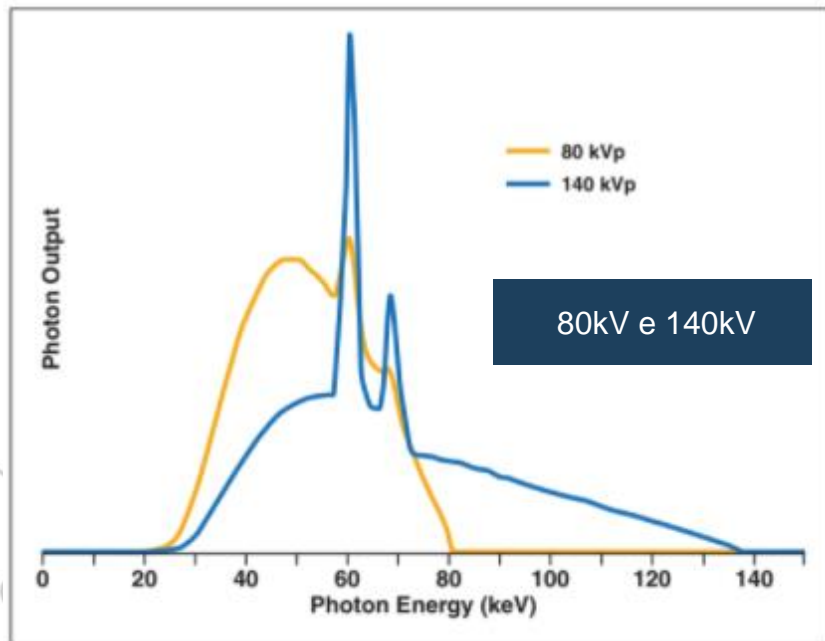
A importância da centralização adequada do paciente no *gantry* é fundamental para a operação ideal do AEC



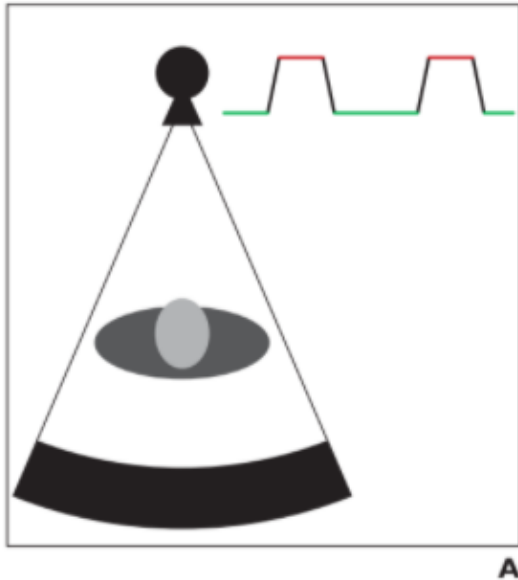
- ❖ Altura da mesa
- ❖ Evitar alturas muito baixas ou muito altas
- ❖ Centralização lado a lado
- ❖ Evitar colocar o paciente de lado da mesa
- ❖ A descentralização pode levar a artefatos e cálculo incorreto dos mAs necessários

Dupla energia

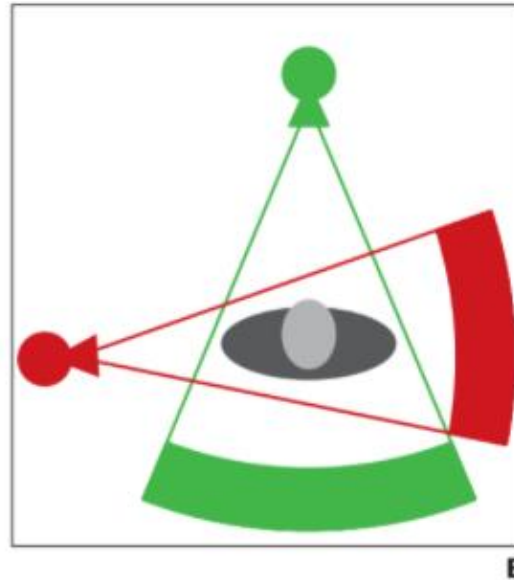
Espectros



Configurações



Troca rápida de tensão



Dois conjuntos



Duas camadas de detector

RAJIAH, Prabhakar; PARAKH, Anushri; KAY, Fernando; BARUAH, Dhiraj; KAMBADAKONE, Avinash R.; LENG, Shuai. Update on Multienergy CT: physics, principles, and applications. **Radiographics**, [S.L.], v. 40, n. 5, p. 1284-1308, set. 2020. Radiological Society of North America (RSNA). <http://dx.doi.org/10.1148/rg.2020200038>.

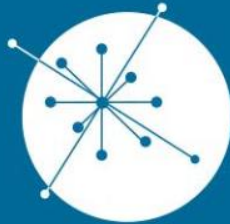
JOHNSON, Thorsten R. C.. Dual-Energy CT: general principles. **American Journal Of Roentgenology**, [S.L.], v. 199, n. 5, p. 3-8, nov. 2012. American Roentgen Ray Society. <http://dx.doi.org/10.2214/ajr.12.9116>.

RYDBERG, Jonas; LIANG, Yun; TEAGUE, Shawn D. Fundamentals of Multichannel CT. **Seminars In Musculoskeletal Radiology**, [S.L.], v. 8, n. 2, p. 137-146, maio 2004. Georg Thieme Verlag KG. <http://dx.doi.org/10.1055/s-2004-829485>.

BOONE, John M.; MCCOLLOUGH, Cynthia H.. Computed tomography turns 50. **Physics Today**, [S.L.], v. 74, n. 9, p. 34-40, 1 set. 2021. AIP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1063/pt.3.4834>.

Bushberg, J. T., Seibert, J. A., Leidholdt, E. M., & Boone, J. M. (2011). The essential physics of medical imaging (3rd ed.). Lippincott Williams and Wilkins.

Obrigado!



GRUPO DE
**DOSIMETRIA
DAS RADIAÇÕES**
e FÍSICA MÉDICA

IFUSP - Instituto de Física da USP