



MEDICINA

USP

MDR0639

Física do Diagnóstico por imagens I

Marcelo Tatit

Aula 9

Tomografia Convencional e Computadorizada

- Histórico e princípios de imagens tomográficas
- Tomógrafos de diferentes geometrias (gerações)
- Algoritmos de reconstrução
- Contrastes em tomografia

Extra classe

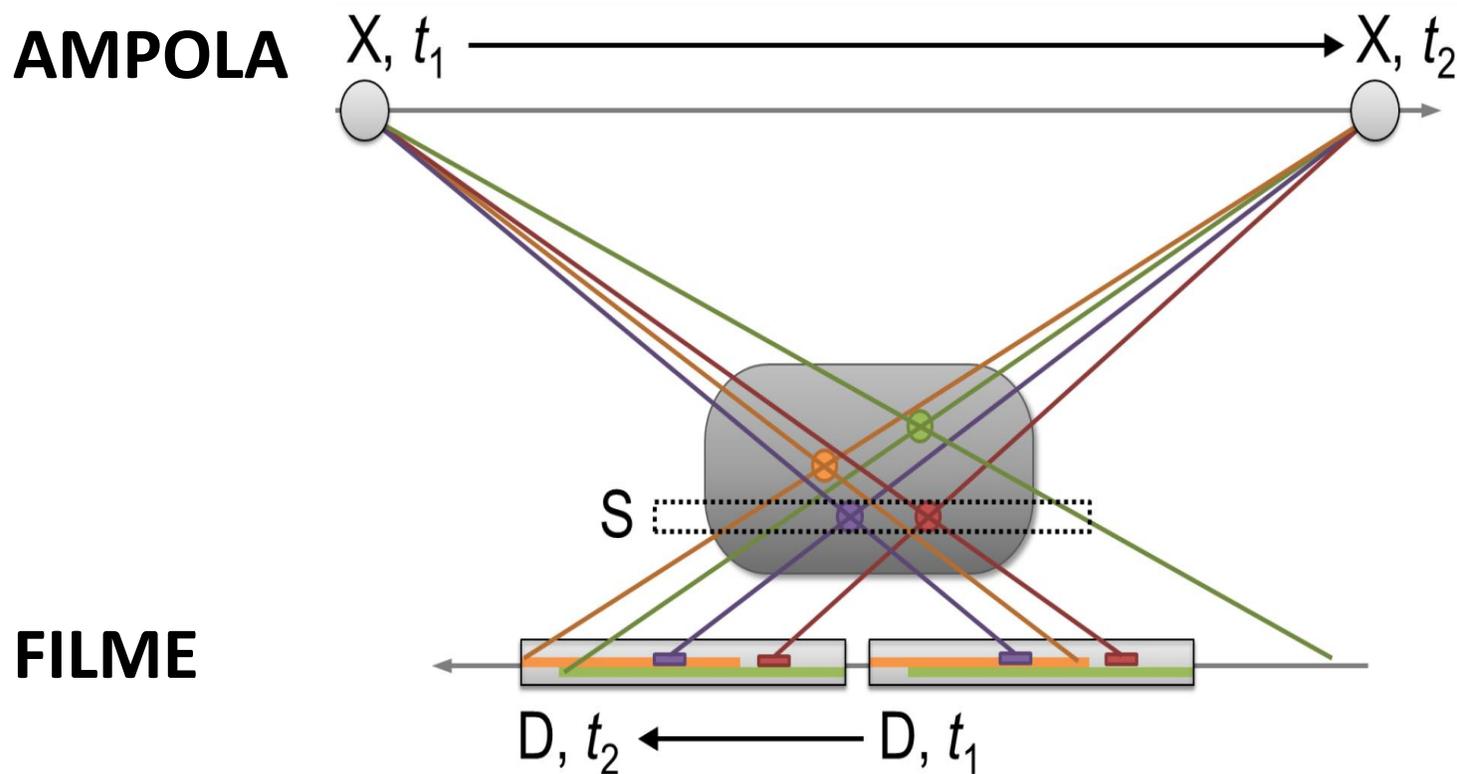
- Acessar / Assistir / ler material *on-line*
- ENVIAR
 - 1 comentário sobre o material de apoio (10 a 15 linhas);
 - 1 *link* para novo material relacionado ao tema da aula;
 - 1 questão + resposta de 10 a 15 linhas sobre a aula anterior.

Modelos de aula

- **Aula expositiva (convidado):** 45 min + 15 min discussão
- **Aula participativa**
- **Seminários:** 10-15 min exposição e 5 min discussão
- **Aprendizagem baseada em equipe (*Team Based Learning/TBL*):**
Prova teste Individual + Prova em grupo + Discussão
- **Situação-problema:** análise de problema e propostas em grupo

Tomografia convencional

(Tomografia Linear ou Planigrafia)



ATM (coluna, mediastino...)

Tomografia (axial) Computadorizada

Godfrey Hounsfield (Eng.-UK)

- 1967-70: simulador (9 d aquisição!) → cadáver, cérebro vaca, GH!!
- 1971: 1º paciente (4 min aquisição)

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x}$$

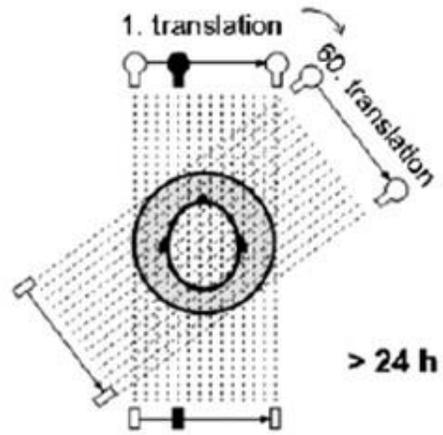


Nobel de medicina + Allan Cormack (Físico-AfricaSul) em 1979

(pergunta aberta)

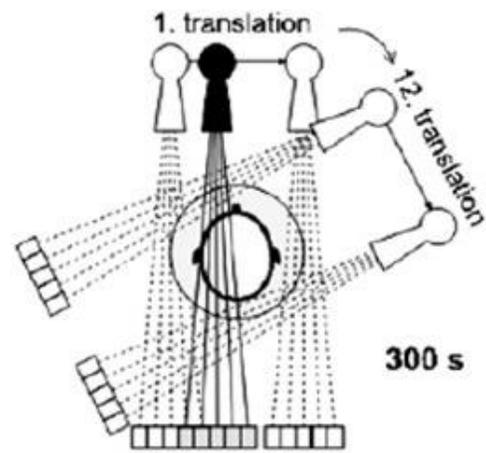
- Por que tão lento ?! como acelerar??

pencil beam (1970)



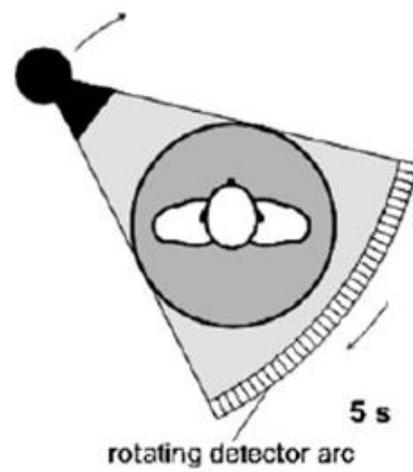
(a) 1st generation: translation/rotation

partial fan beam (1972)



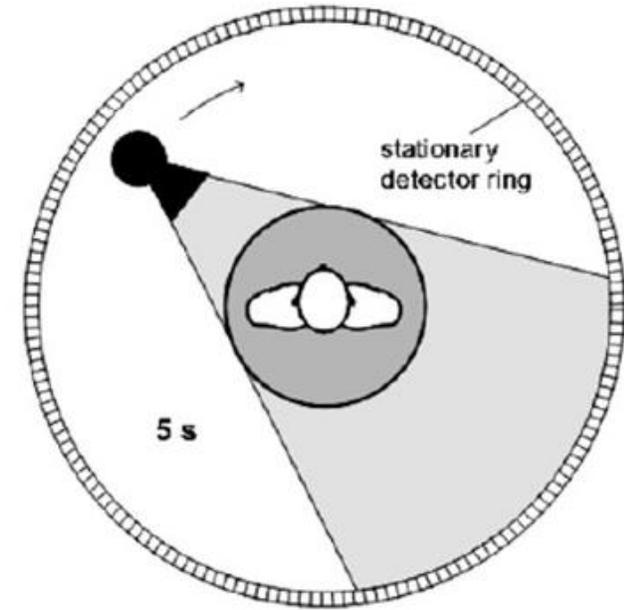
(b) 2nd generation: translation/rotation

fan beam (1976)



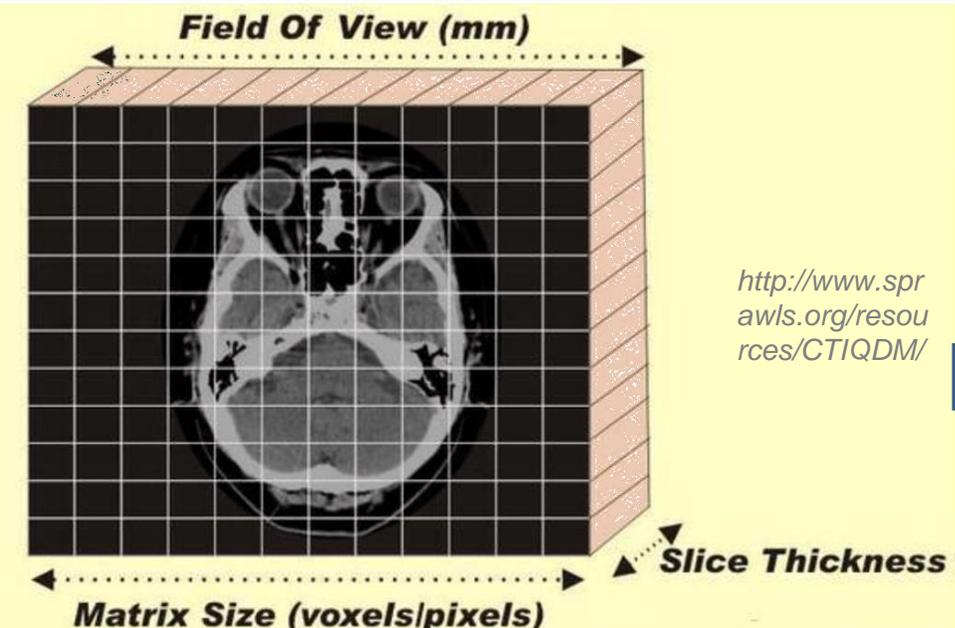
(c) 3rd generation: continuous rotation

fan beam (1978)



(d) 4th generation: continuous rotation





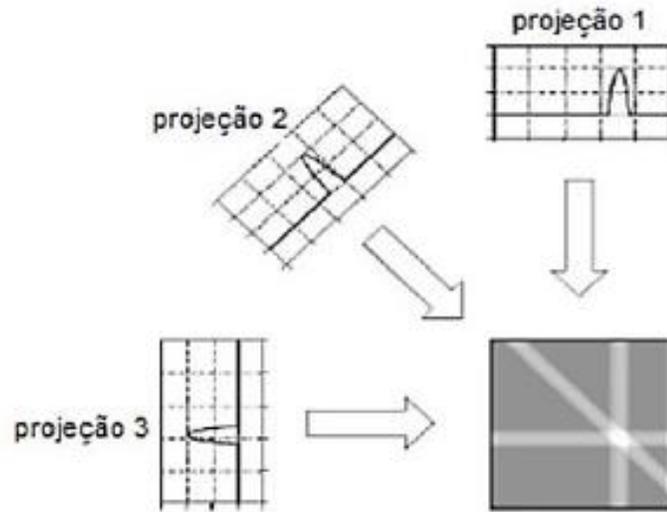
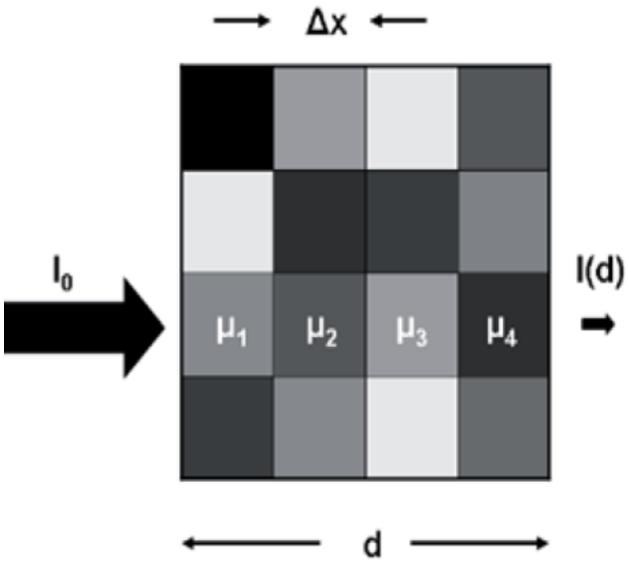
Considerando matriz 512 x 512 e campo de visão 50 cm

Tamanho do "PIXEL" = **XX**

• **Qual grandeza é expressa em cada voxel desta TC ?**

- a) coeficiente de atenuação linear (μ)
- b) Transferência linear de energia (LET) ($keV \cdot cm^{-1}$)
- c) Unidade Tomográfica ou CT (adimensional)
- d) Unidade Hounsfield (adimensional)

$$I(d) = I_0 e^{-\sum_{i=1}^{i=4} \mu_i \Delta x}$$



$$HU = 1000 \times \frac{\mu_X - \mu_{water}}{\mu_{water}}$$

Material	HU
Osso	+1000 (+300 a +2500)
Fígado	+60 (+50 a +70)
Sangue	+55 (+50 a +60)
Rins	+30 (+20 a +40)
Músculo	+25 (+10 a +40)
Cérebro – Substância Cinzenta	+35 (+30 a +40)
Cérebro – Substância Branca	+25 (+20 a +30)
Água	0
Gordura	-90 (-100 a -80)
Pulmão	-750 (-950 a -600)
Ar	-1000

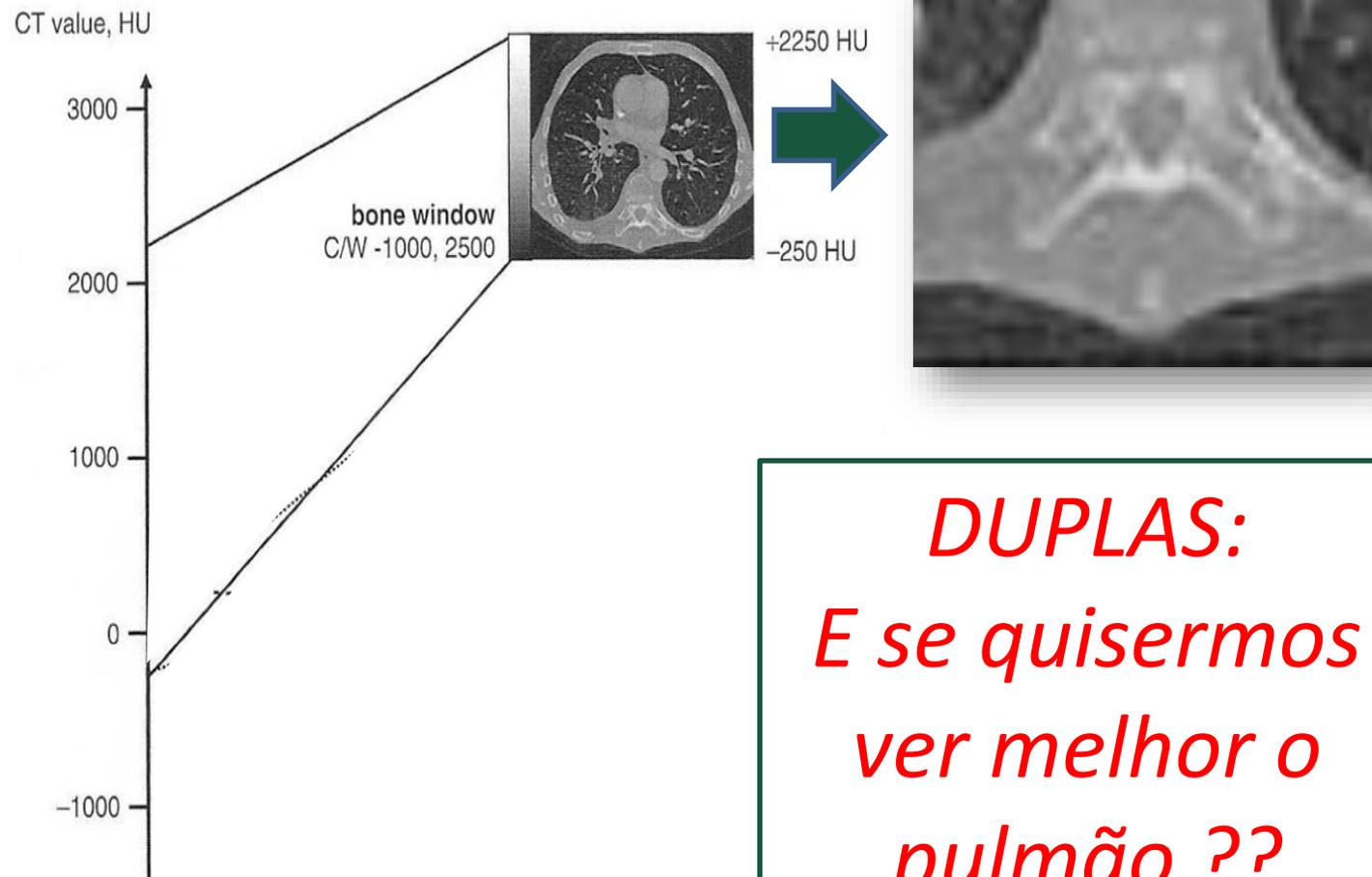
Tabelas de visualização

LUT - *LookUp Table*

Janelamento

Window Center
(centro / nível)

Window Width
(janela = largura)



DUPLAS:
*E se quisermos
ver melhor o
pulmão ??*

Figura 4: Janela e nível. Fonte: Euclid Seearan Computed Tomography

Tabelas de visualização

LUT - *LookUp Table*

Janelamento

Window Center
(centro / nível)

Window Width
(janela = largura)

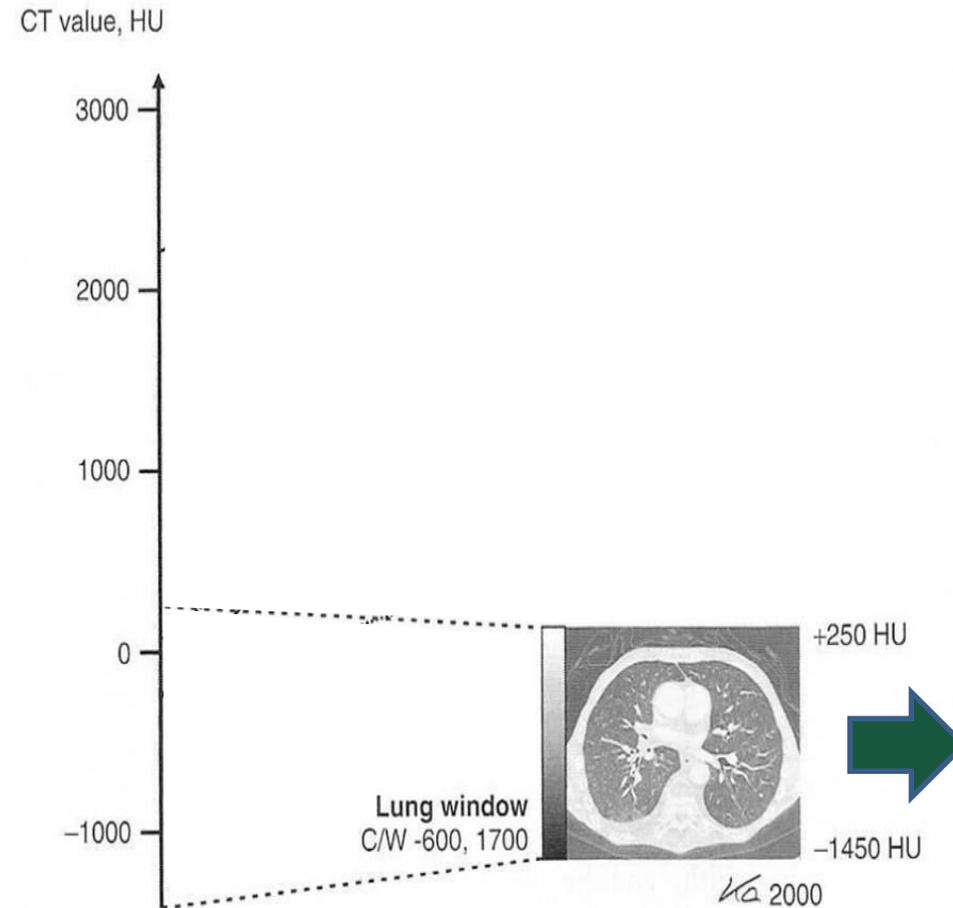
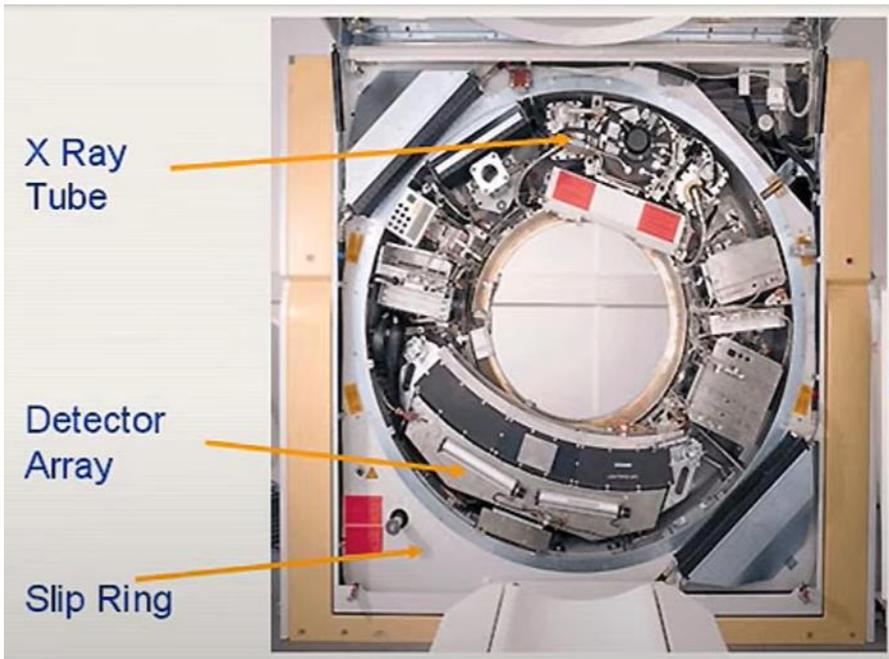
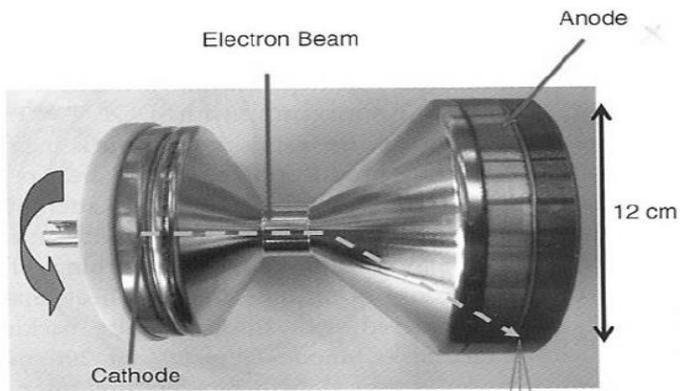


Figura 4: Janela e nível. Fonte: Euclid Seearan Computed Tomography





- Gerador
tensão 70 - 140 kV e correntes 20 a 1.000mA
- *Slip ring*
Transmite potência e sinal elétrico entre o *gantry* e os componentes, por anéis e escovas deslizantes → rotação < 0,5 a 1 segundo!!

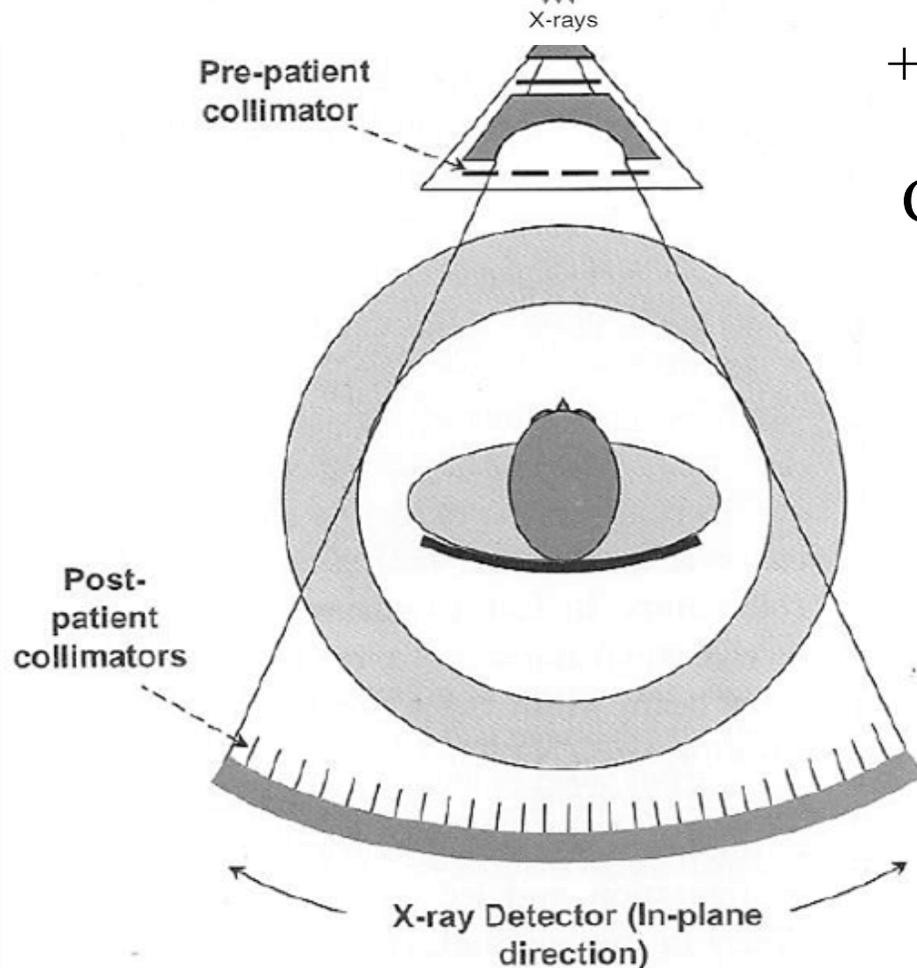


TUBO: ampola de vidro → envelope metálico (↓ *arco voltaico* c/ *W* condensado no vidro), focos 0,5 e **1,0 mm**, resfriado a óleo,

- Modulação do feixe no alvo por campo magnético: aumenta amostragem / número de imagens produzida
- Filtros plano alumínio ou de cobre: “endurecem” o feixe
- + filtro *bow tie* (*baixo Z*): uniformiza o feixe na periferia

Colimador define largura do feixe

(se TC de corte único: define espessura de corte)



Detectores < 1 x 1 mm !!

Quantos detectores são usados em um equipamento de TC ?

- a. 100
- b. 1000
- c. 10.000
- d. 100.000
- e. 1.000.000

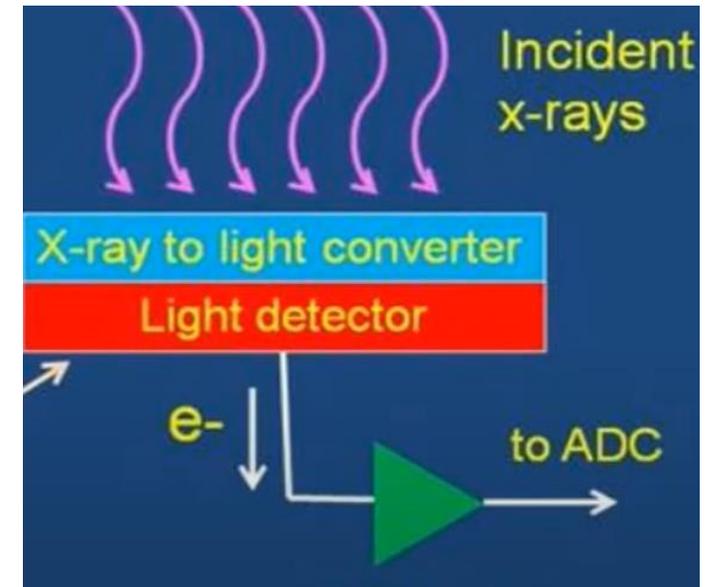
Detectores

- Cintiladores acoplados a PMT ou fotodiodos
- Sistemas de estado sólido
 - Semicondutores / materiais cerâmicos
 - Eficiência 90-99 %
 - Tempo de resposta < 200 nanosegundos

Elemento Detector
DEL

Muitos detectores!!

materials: Cadmium
Tungstate, Csl,
Calcium Fluoride,
Bismuth Germanate



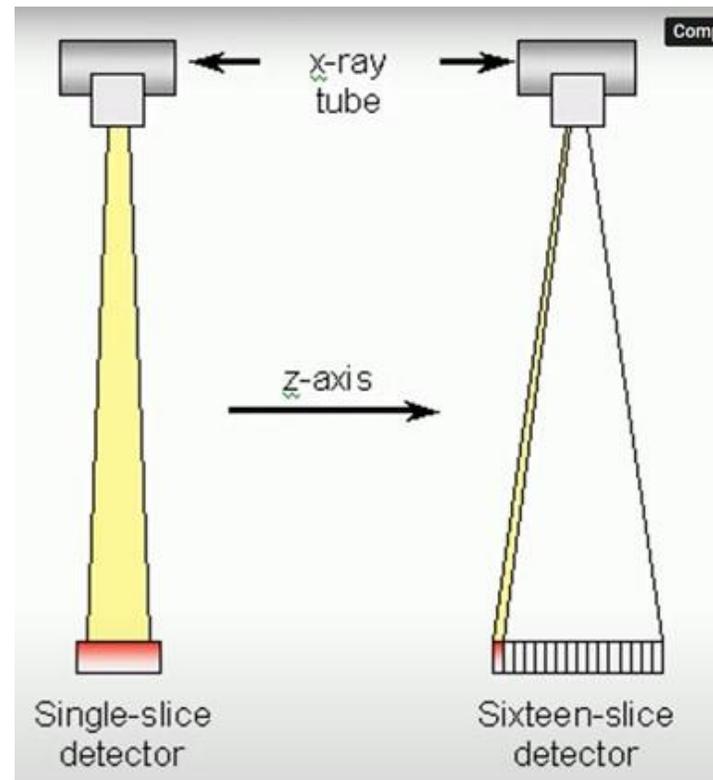
Detectores

mínimo de DELs para cobrir FOV: $\sim 2 * \text{FOV} / \text{resolução especial desejada}$

FOV = 400 mm e resolução 1 mm \rightarrow 800 detectores

TC de 64 canais (= fileiras de detectores): $64 \times 800 = 51.200$ DELs

Pode agrupar para definir espessura de corte - *detector element aperture*

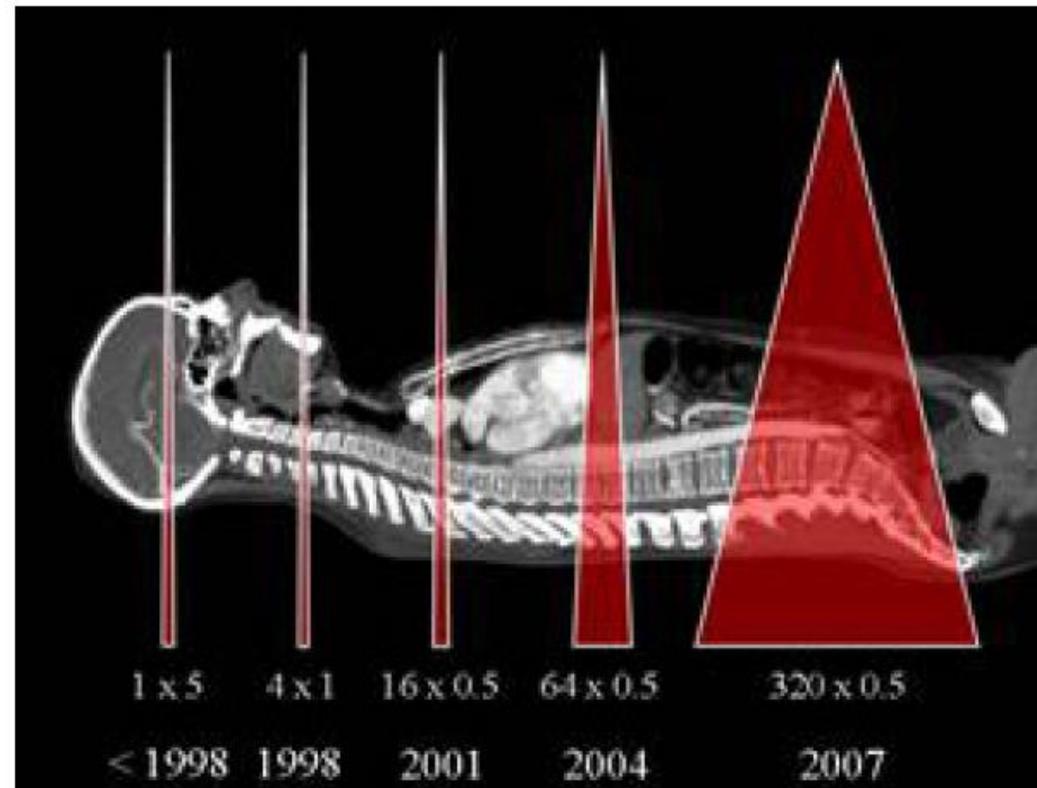


Detectores

mínimo de DELs para cobrir FOV: $\sim 2 * \text{FOV} / \text{resolução especial desejada}$

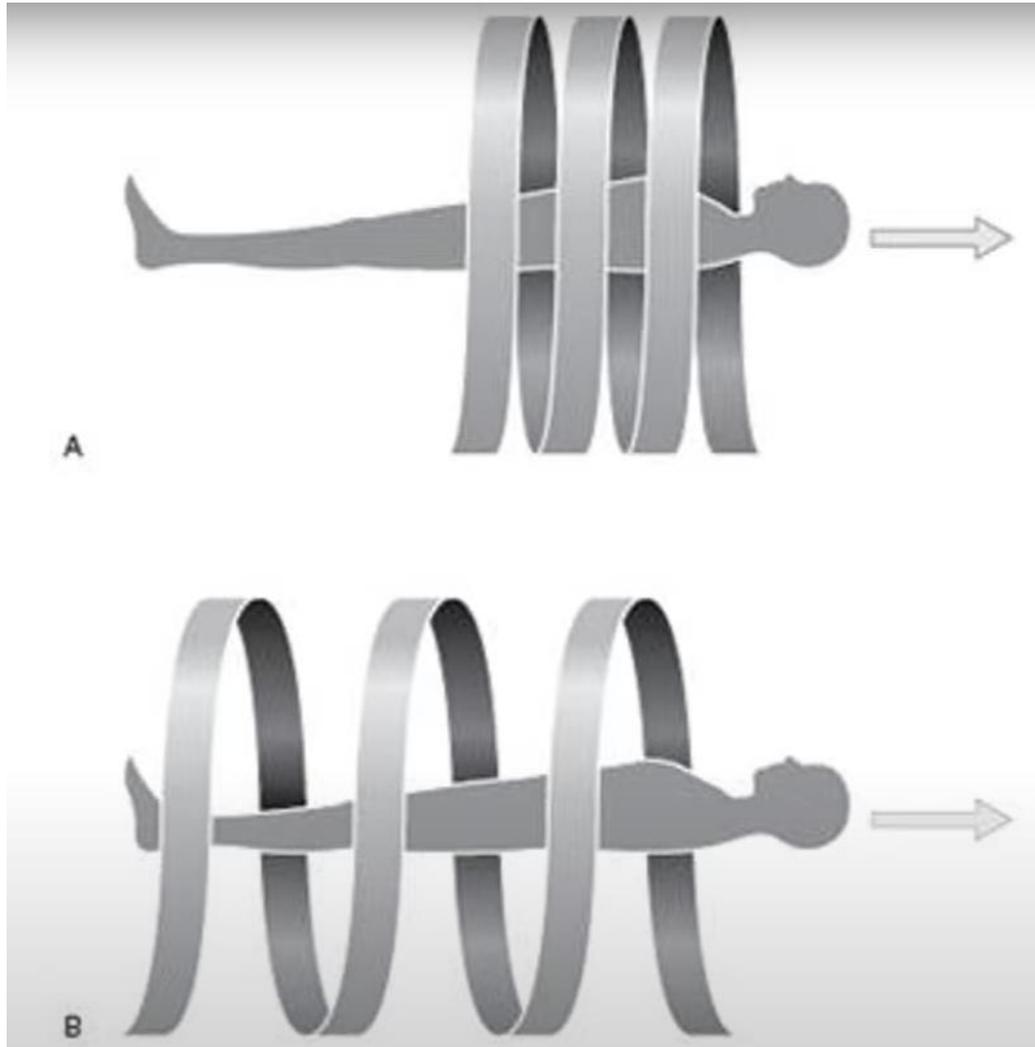
FOV = 400 mm e resolução 1 mm \rightarrow 800 detectores

TC de 64 canais (= fileiras de detectores): $64 \times 800 = 51.200$ DELs



E se quiser
fazer a TC de
um segmento
mais longo?

TC helicoidal



PITCH

=

translação da mesa por rotação
espessura do corte (ou espessura total MDCT)

Se a mesa move 5 mm e corte = 5 mm \rightarrow *Pitch* = 1

Pitch > 1 : *gaps* no feixe raios X

Pitch < 1: sobrepõe feixe raios X

Maior PITCH: reduz dose de radiação E resolução

Pré-Processamento

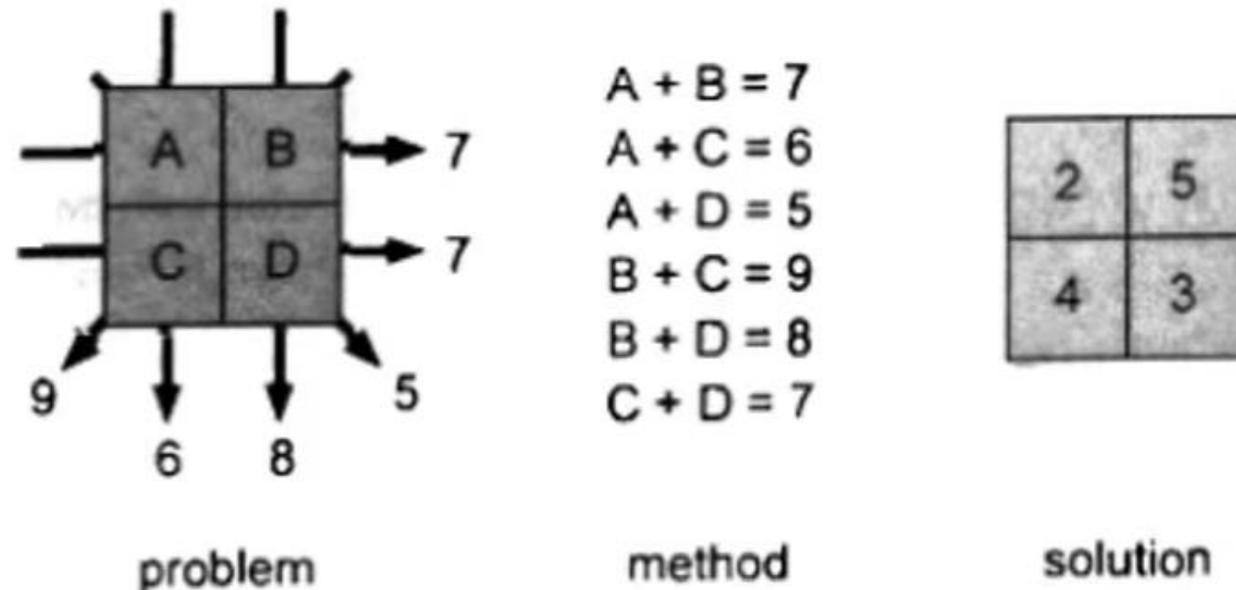
calibração de rotina regulariza diferenças individuais de resposta dos detectores
detectores defeituosos - *dead pixel*: substitui por dados interpolados
filtração adaptativa de ruídos – ex.: filtros de suavização (*smooth*)
transformação logarítmica - atenuação exponencial dos raios X



Processamento e reconstrução

- Matriz $512 \times 512 = \sim 0,26$ Mpixel \rightarrow meu celular é melhor!

- Porém:

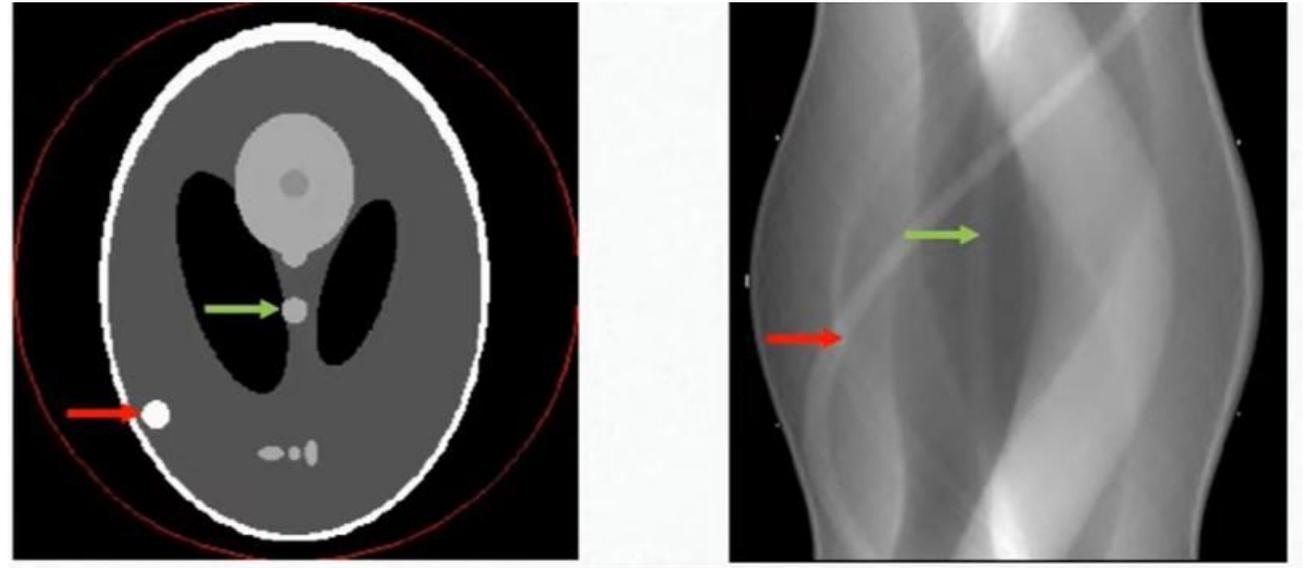


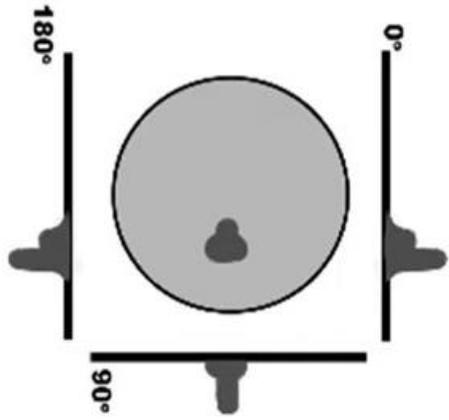
800 projeções angulares para resolver a matriz

Processamento e reconstrução

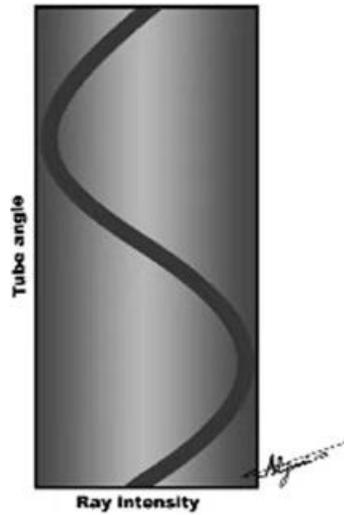
Uma TC foi adquirida de simulador (à esquerda) e resultou na imagem à direita, também chamada de :

- a) Sinograma
- b) Transformada de Fourier
- c) Retroprojeção filtrada
- d) Transformada de Radon



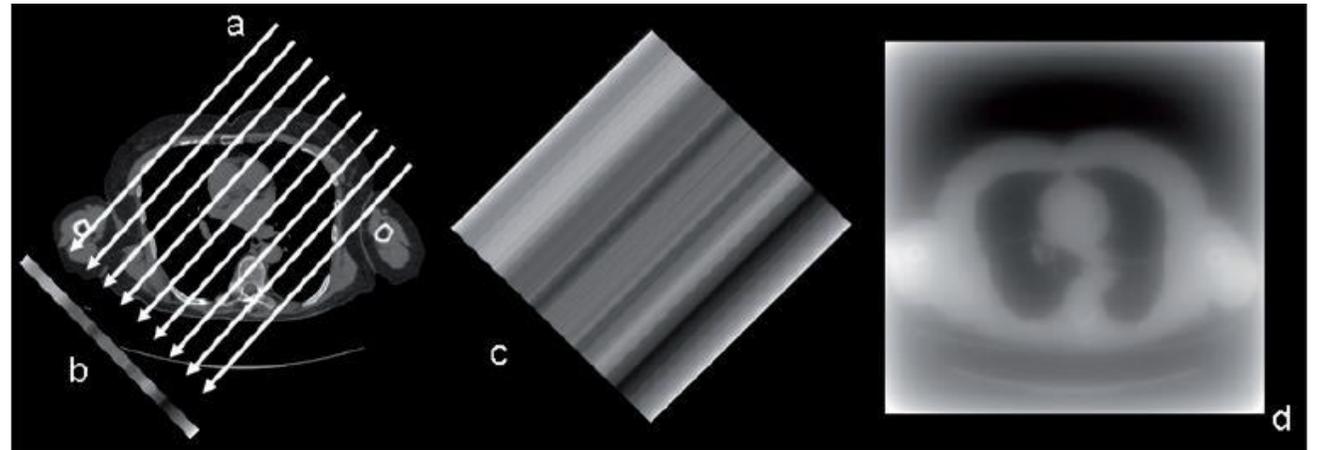


perfis



sinograma

retroprojeção simples do sinograma:
imagem de baixa resolução



Retroprojeção filtrada (FBP)

- Transformada de Fourier: domínio de imagem → frequências
- Recupera as altas frequências perdidas na obtenção dos dados
- Reroprojeta as projeções filtradas

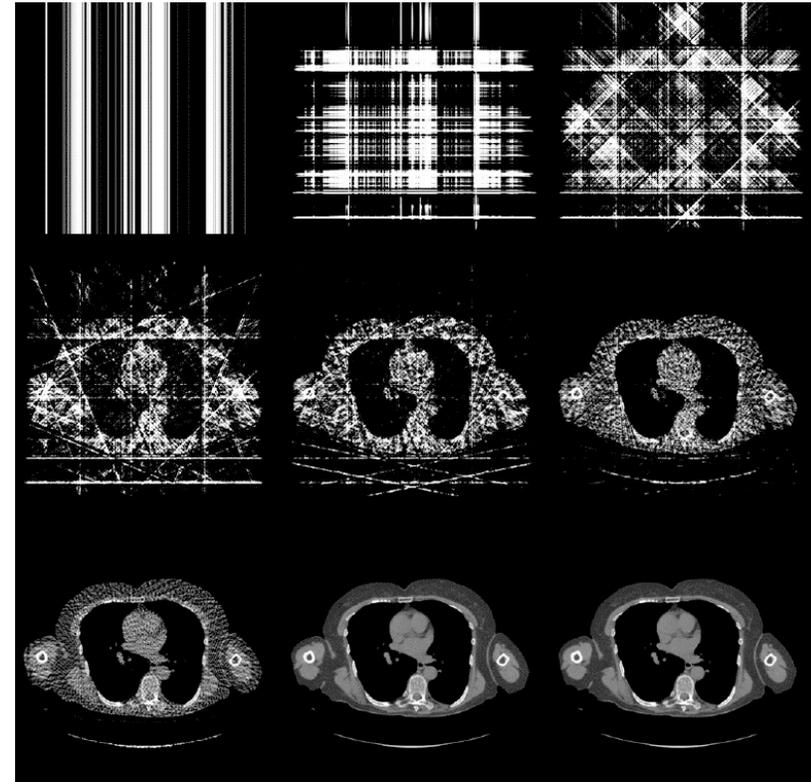


FIG. 11.9. Successive filtered back projections can be used to achieve a good reconstruction of the space domain. The images are associated with, respectively, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64.

Retroprojeção filtrada (FBP)

- Transformada de Fourier: **domínio de imagem** → **frequências**
- Recupera as altas frequências perdidas na obtenção dos dados
- Retroprojeta as projeções filtradas

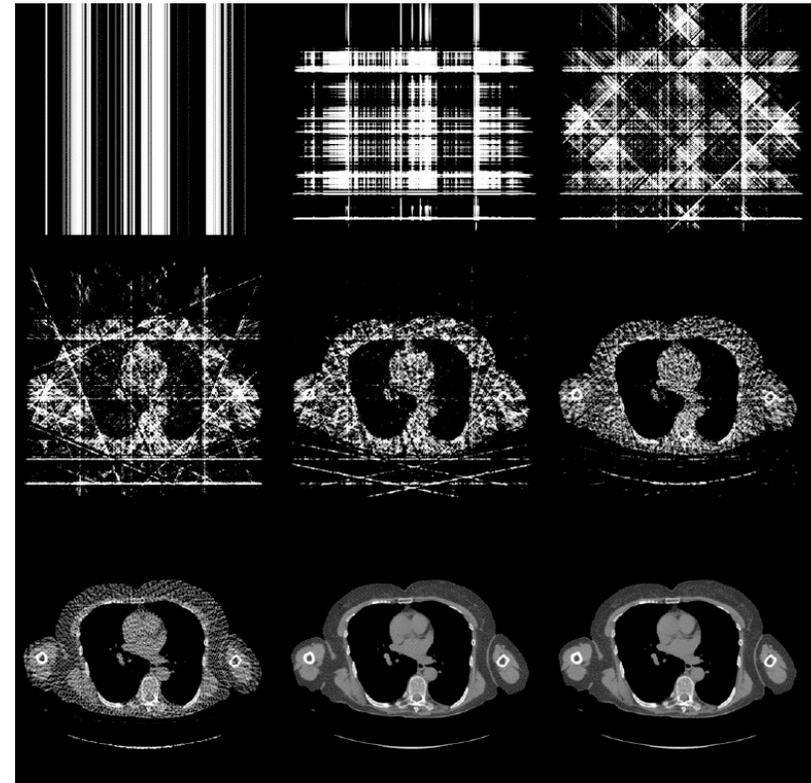
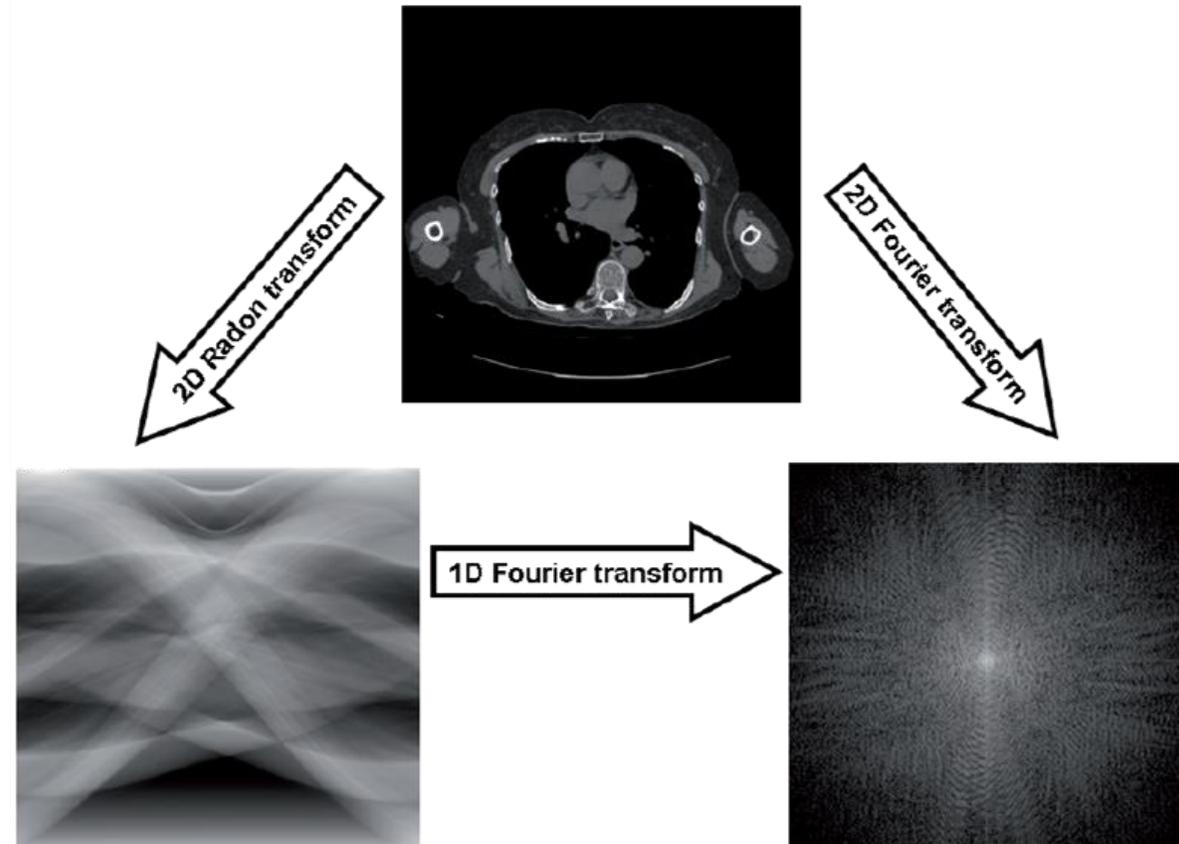
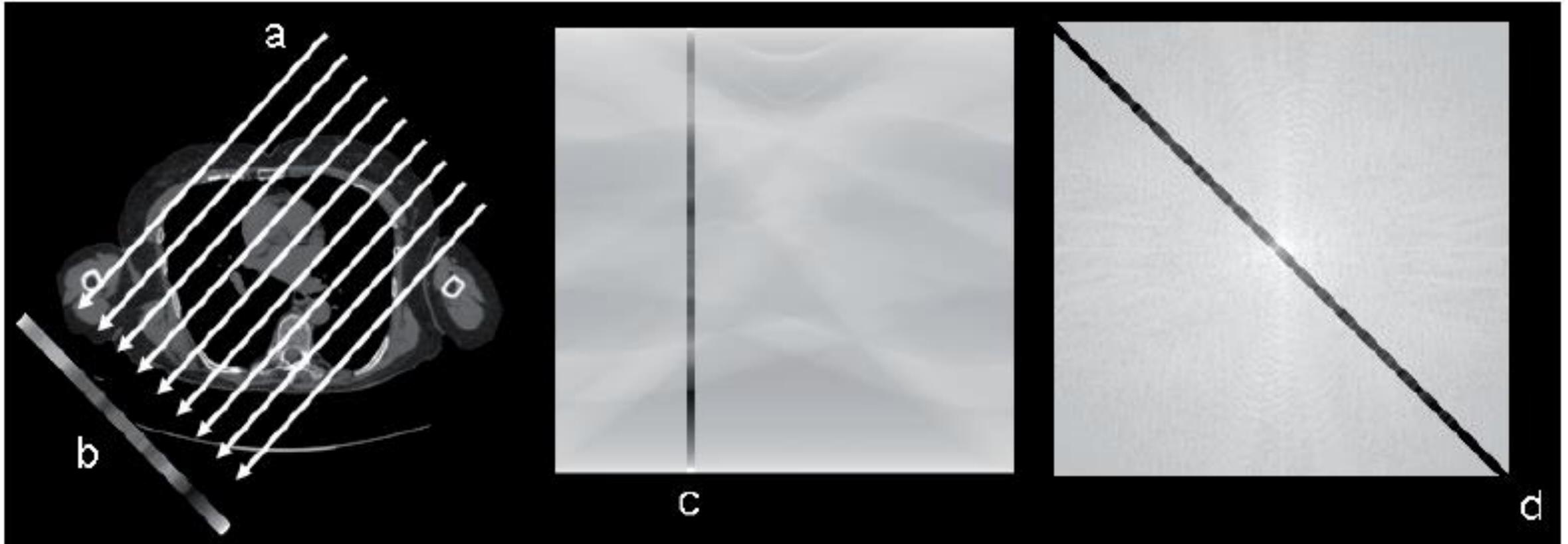


FIG. 11.9. Successive filtered back projections can be used to achieve a good reconstruction of the space domain. The images are associated with, respectively, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64.

3 domínios:

- Espaço do objeto (matriz dos valores de atenuação),
- Espaço Radon (valores das projeções ~sinograma)
- Espaço de Fourier





ESPAÇO

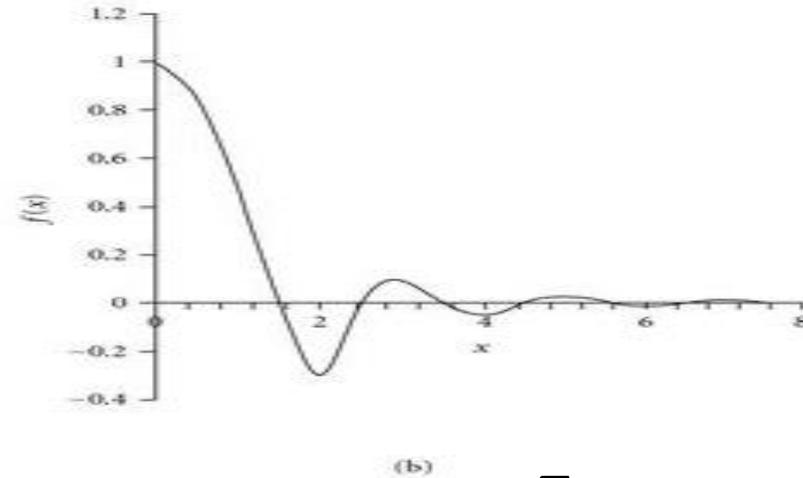
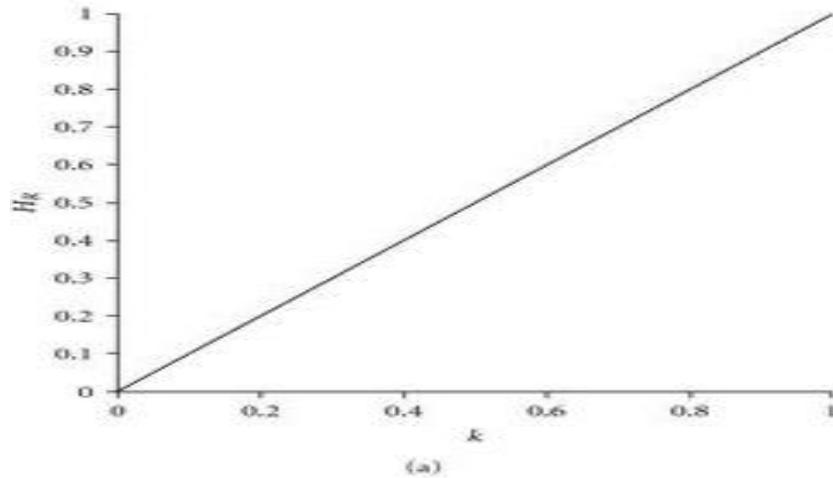
RADON (sinograma)

FOURIER

A TC tem limitações para detectar estruturas submilimétricas. (ex.: resolução de 2,5 pares de linhas / mm) = perde contraste de altas frequências

Você decide usar um filtro que recupere altas frequências e otimize a resolução do sistema. É esperado que o ruído da imagem (flutuação):

- a) Diminua
- b) Aumente
- c) Permaneça igual
- d) Depende, cada caso é um caso



Frequências - Fourier

Espaço

Kernel: algoritmo de deconvolução para recuperar resolução (altas frequências) antes da retroprojeção -> **balanço resolução e ruído**

FILTRO DE RECONSTRUÇÃO

Suave (*smooth*)

partes moles (standard)

Osso (*bone*)

RESOLUÇÃO

baixa

média

alta

RUÍDO RELATIVO

1

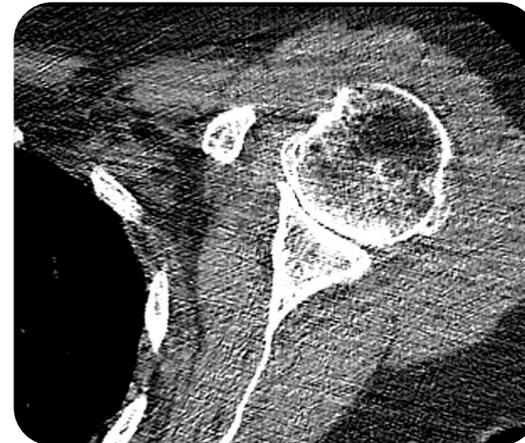
1.5

3

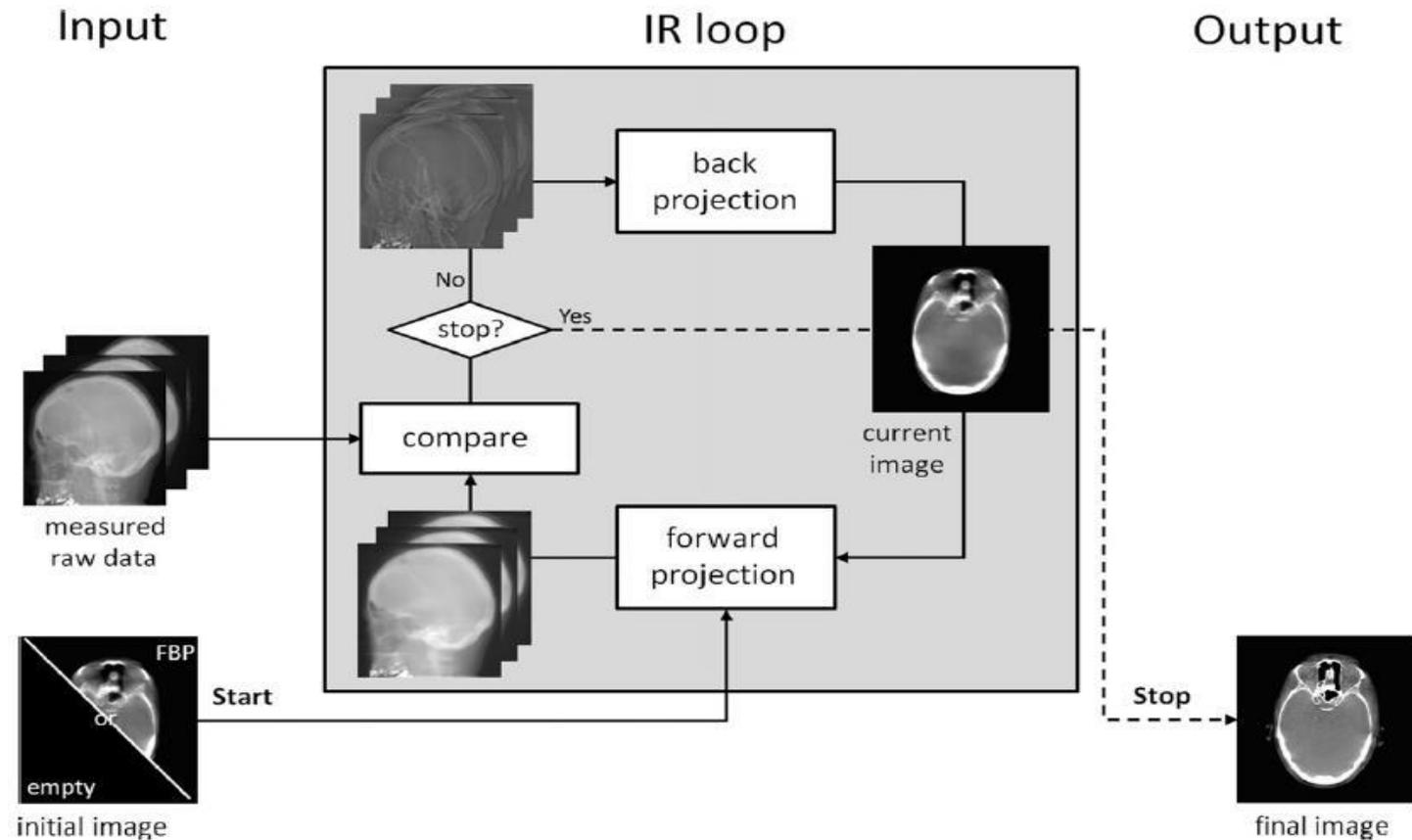
FILTRO PARTES MOLES



FILTRO OSSO



Reconstrução iterativa



Managing Radiation Dose in CT; Radiology 2014

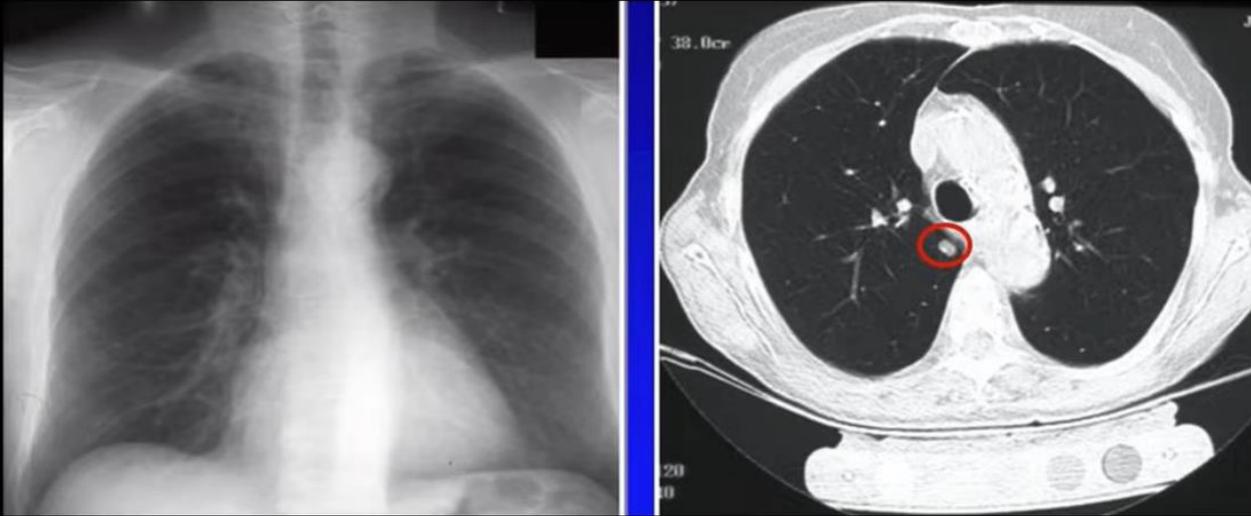
- Redução de artefatos metálicos e redução no ruído
- Necessita de maior capacidade computacional
- Iteração pode ser iniciada usando informações prévias (ex.: FBP)

Comparado a radiografia a TC apresenta:

- a) resolução espacial superior E contraste superior
- b) resolução espacial inferior E contraste inferior
- c) resolução espacial superior E contraste inferior
- d) resolução espacial inferior E contraste superior

Contraste e resolução

CT vs. Digital Radiograph



- Contrast – CT much better (detects differences in density 10 X better)
- Resolution – DR much better
- CT Pixel = .6 mm
- DR Pixel = .2 mm
- Dose : 1 Chest CT = 100 CXR

Definam
contraste

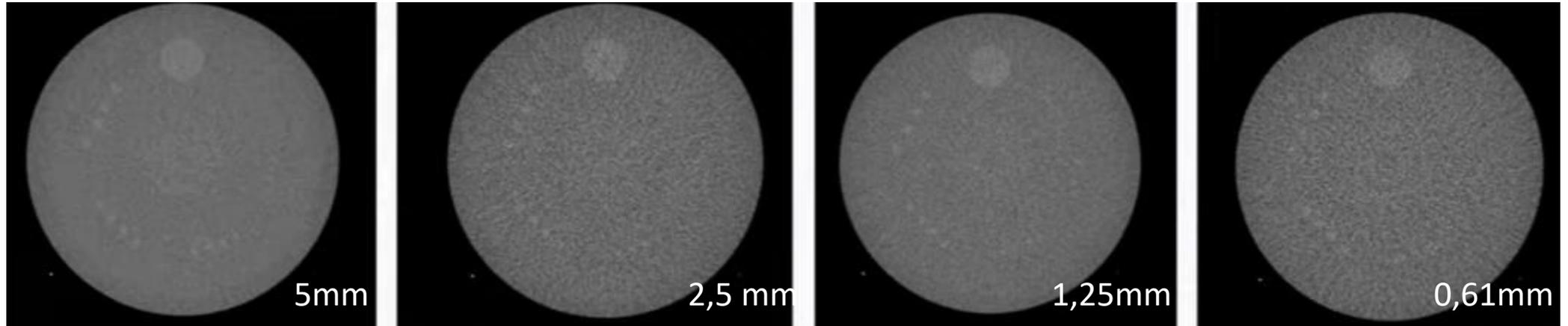
Fatores que afetam Resolução Espacial

- Ponto focal
- Largura do detector
- Limitações de amostragem (*Nyquist*)
- Filtro de reconstrução

Fatores que afetam Contraste

- kV e mAs e Pitch
- Espessura de corte
- Método de reconstrução (iterativa > FBP)
- Filtro de reconstrução

Espessura de corte



DUPLAS:

- Se forem mantidos kV e mAs, qual relação da resolução espacial e contraste com maior espessura de corte? Por que?

Contraste = iodo

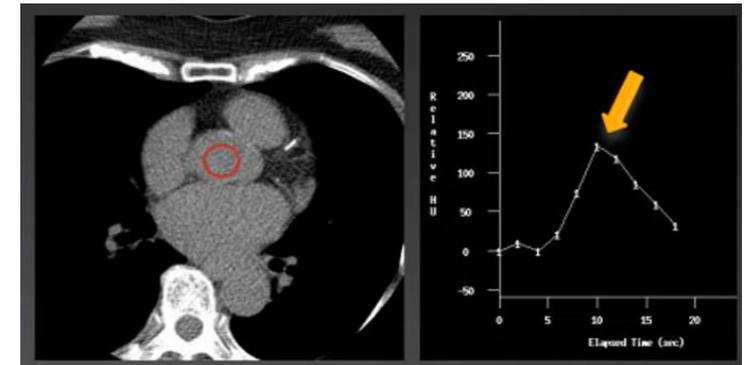
Estudos de fase arterial: contraste mais denso e com injeção mais rápida ($\geq 4\text{ml/s}$) – bomba infusora

Tempos pré-definidos. Exemplo

- Fase Arterial- 25 a 40 s
- Fase Portal / Venosa- 60 a 80 s
- Fase Excretora / Tardia 5 a 10 min

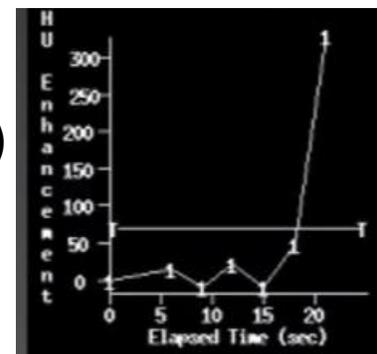
Tempo estimado com teste

- Seleciona alvo no topograma
- Injeção pequeno bolus 15-20 mL para teste
- Adquire com baixa dose
- ROI no alvo e define tempos ideais



Disparo automático (*bolus triggering*)

- Seleciona localização do disparo (vaso sanguíneo)
- Injeção bolus do contraste
- Adquire com baixa dose
- Dispara quando bolus chegar

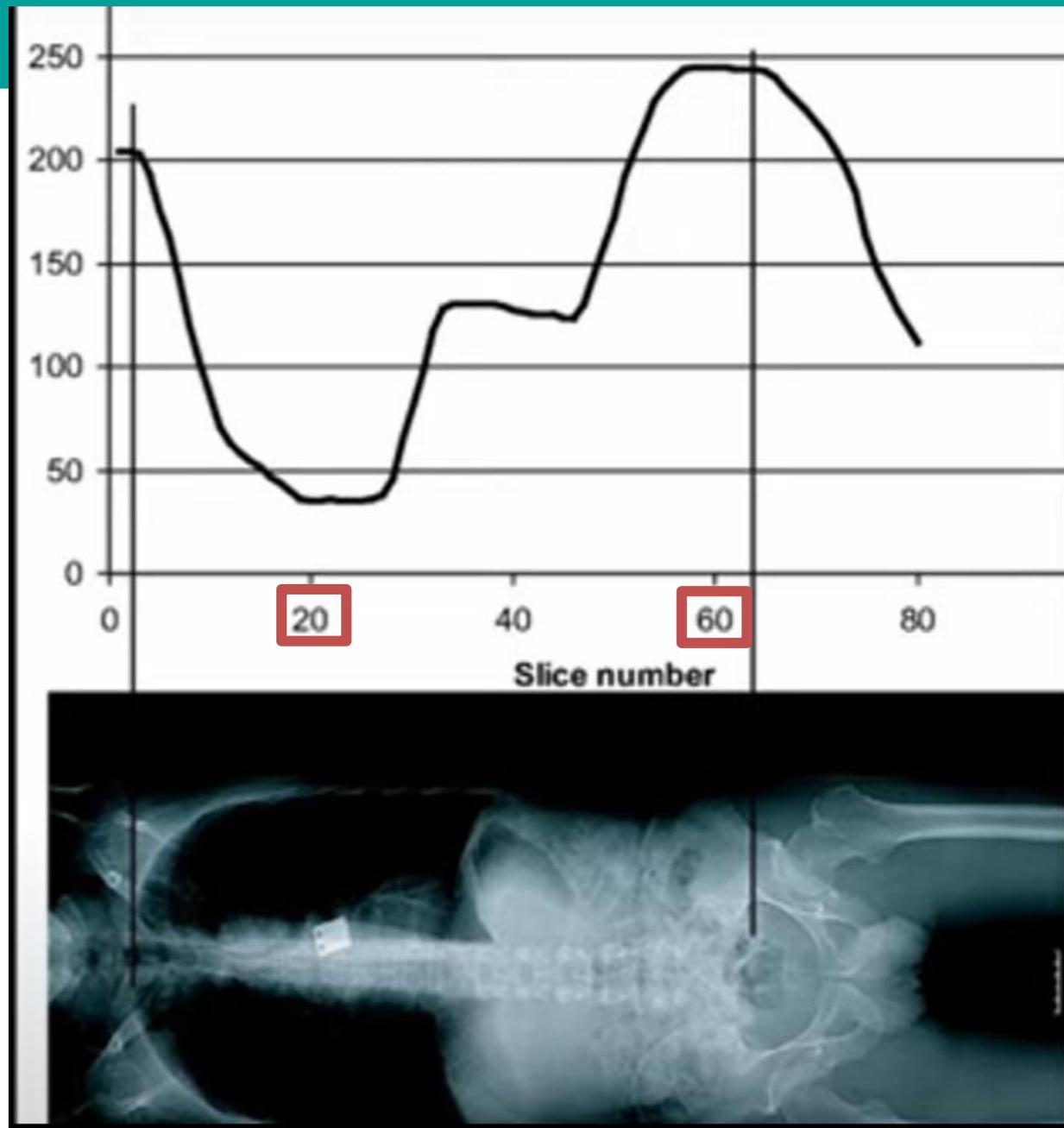


Técnica e Variações

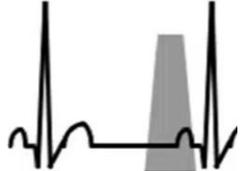
- **Panorâmica / SCOUT**

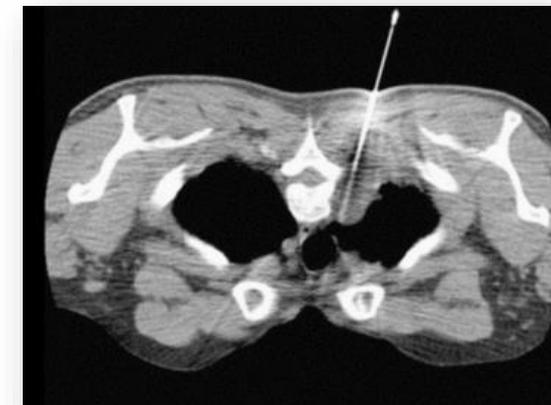
Ampola fixa e move mesa ~radiografia.

O que você faria com o mAs no segmento 20 em relação ao 60 ?



Técnica e Variações

- TC cardíaca 
- TC fluoroscopia / procedimentos intervencionistas



- TC dupla energia



kV-switching

Dual layer

Dual Source
Dual Energy CT

- **AULA Levantamento radiométrico**

- **Modelo “*palestra e seminários*”**

- 6 seminários de 10 min + 5 min discussão aberta

- Separação dos temas por grupo:

- Cálculo de blindagem em radiologia convencional
 - Vazamento de radiação – por que existe e como medir
 - Levantamento radiométrico

 - Especificidades dos exames radiológicos odontológicos
 - Inspeção em radiologia odontológica – aspecto dosimétrico
 - Inspeção em radiologia odontológica – aspecto de qualidade

- **Acessar material *on-line* + Enviar**
 - 1 comentário (10 a 15 linhas);
 - 1 *link* para novo material;
 - 1 questão + resposta 10 a 15 linhas sobre a aula anterior.

O que significa retroprojeção filtrada?
(máximo 10 linhas)

