

Tomografia Computadorizada

Helder C. R. de Oliveira

N.USP: 7122065

SEL 5705: Fundamentos Físicos dos Processos de Formação de Imagens Médicas

Prof. Dr. Homero Schiabel



EESC • USP

*Escola de Engenharia de São Carlos
Universidade de São Paulo*

Sumário

- ▶ História;
- ▶ Funcionamento e Classificação dos Tomógrafos;
- ▶ Imagem Tomográfica;
 - ▶ Projeção por senogramas;
 - ▶ Retroprojeção filtrada;
 - ▶ Número CT;
 - ▶ Visualização;
- ▶ Uso de Contrastes;
- ▶ Indicações e Contra indicações;
- ▶ Tomografia por Emissão;
- ▶ Referências.



Fatos Históricos

- ▶ **1895: Röntgen:**
 - ▶ Experimento com tubo de Crooks;
 - ▶ Primeira Radiografia;
 - ▶ 1901: Nobel de Física.

- ▶ **Características do Raio X:**
 - ▶ Contraste baixo;
 - ▶ Sobreposição;
 - ▶ Imagem borrada.



Wilhelm Röntgen



Primeiro Raio X (1895)

Fatos Históricos

- ▶ **1917: J. Radon** - Permite a reconstrução a partir das projeções (Transformada de Radon);

$$Rf(L) = \int_L f(X) |dx|$$

- ▶ **1956:**

- ▶ **Bracewell** - Técnicas de reconstrução foram desenvolvidas para identificar regiões do sol que emitiam micro-ondas;
- ▶ **Cormack** - Criou modelos matemáticos que possibilitaram a obtenção de imagens mais precisas;



Fatos Históricos

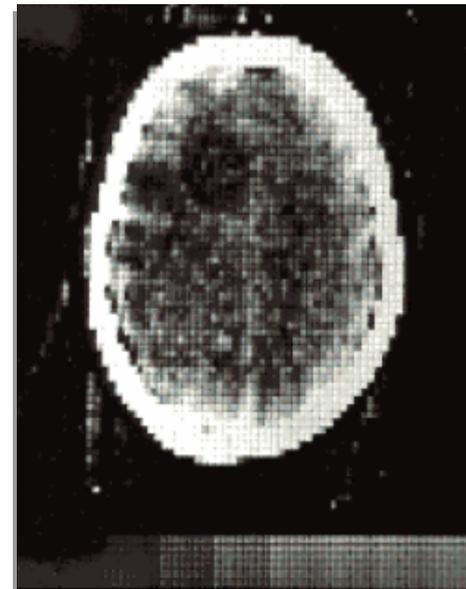
- ▶ **1961: Oldendorff** (Neurologista):
 - ▶ Iniciou o conceito de TC;
 - ▶ Sistema capaz de “escanear” o crânio através da tiragem de vários Raios X em torno da cabeça.
- ▶ **1967: Hounsfield** (Engenheiro Eletrônico) e **Ambrose** (Radiologista) se encontram em um hospital em Londres;
 - ▶ Hounsfield já vinha trabalhando em uma máquina para mapear o cérebro com detalhes;
- ▶ **1971: Hounsfield e Ambrose:** Começam os estudos clínicos com TC;



Fatos Históricos

▶ 1972: Hounsfield:

- ▶ Montou um **aparelho rudimentar** de tomografia que enviava os dados para um computador;
- ▶ O processamento demorou 9 dias devido a baixa radiação;
- ▶ Junto com Ambrose fez um segundo experimento:
 - ▶ Utilizou um tubo de Raios X;
 - ▶ Cadáver com tumor cerebral.



Fatos Históricos

- ▶ **1973:** Apresentação dos resultados no *Annual Congress of the British Institute of Radiology*.
- ▶ **1979:** Prêmio Nobel de Medicina: Cormack e Hounsfield;



Cormack



Hounsfield

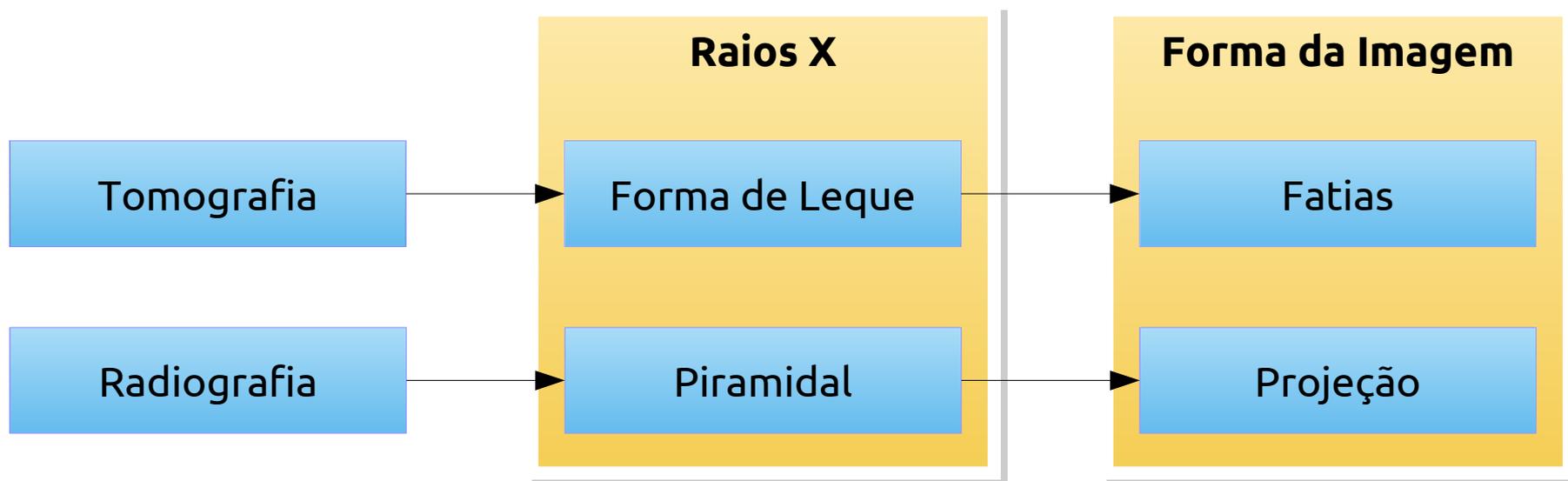
Tomografia Computadorizada

- ▶ Tomografia Computadorizada:
 - ▶ Análise de estruturas internas;
 - ▶ Imagens transversais;
 - ▶ O interior do corpo é retratado com precisão:
 - ▶ Cada tipo de tecido apresenta diferentes níveis de absorção de Raios X;



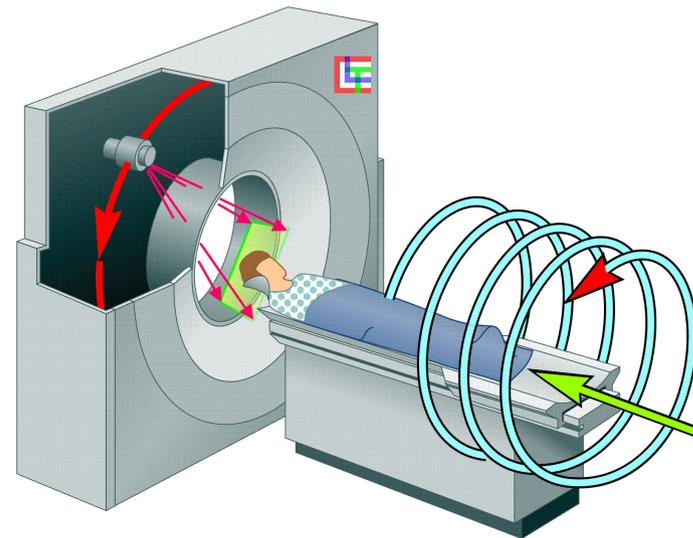
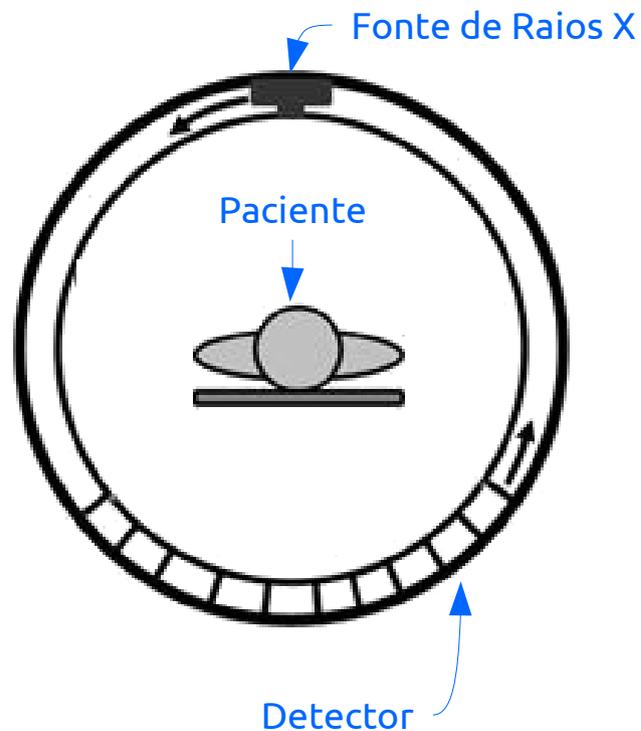
Tomografia Computadorizada

- ▶ TC utiliza a mesma ideia da radiografia com algumas diferenças:



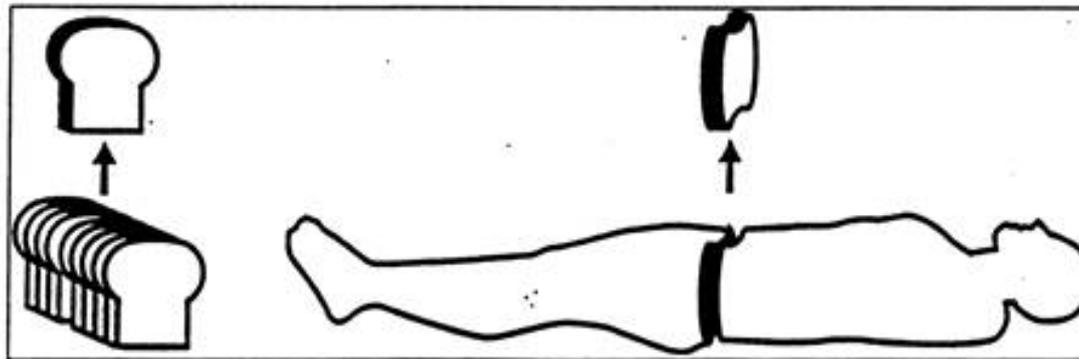
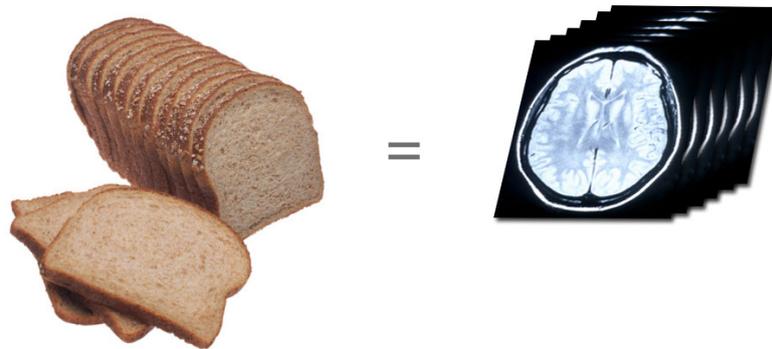
Funcionamento do Tomógrafo

- ▶ Uma fonte de Raios X gira em torno do paciente em forma de espiral;
 - ▶ Cada rotação completa (360°) → 1 Fatia;



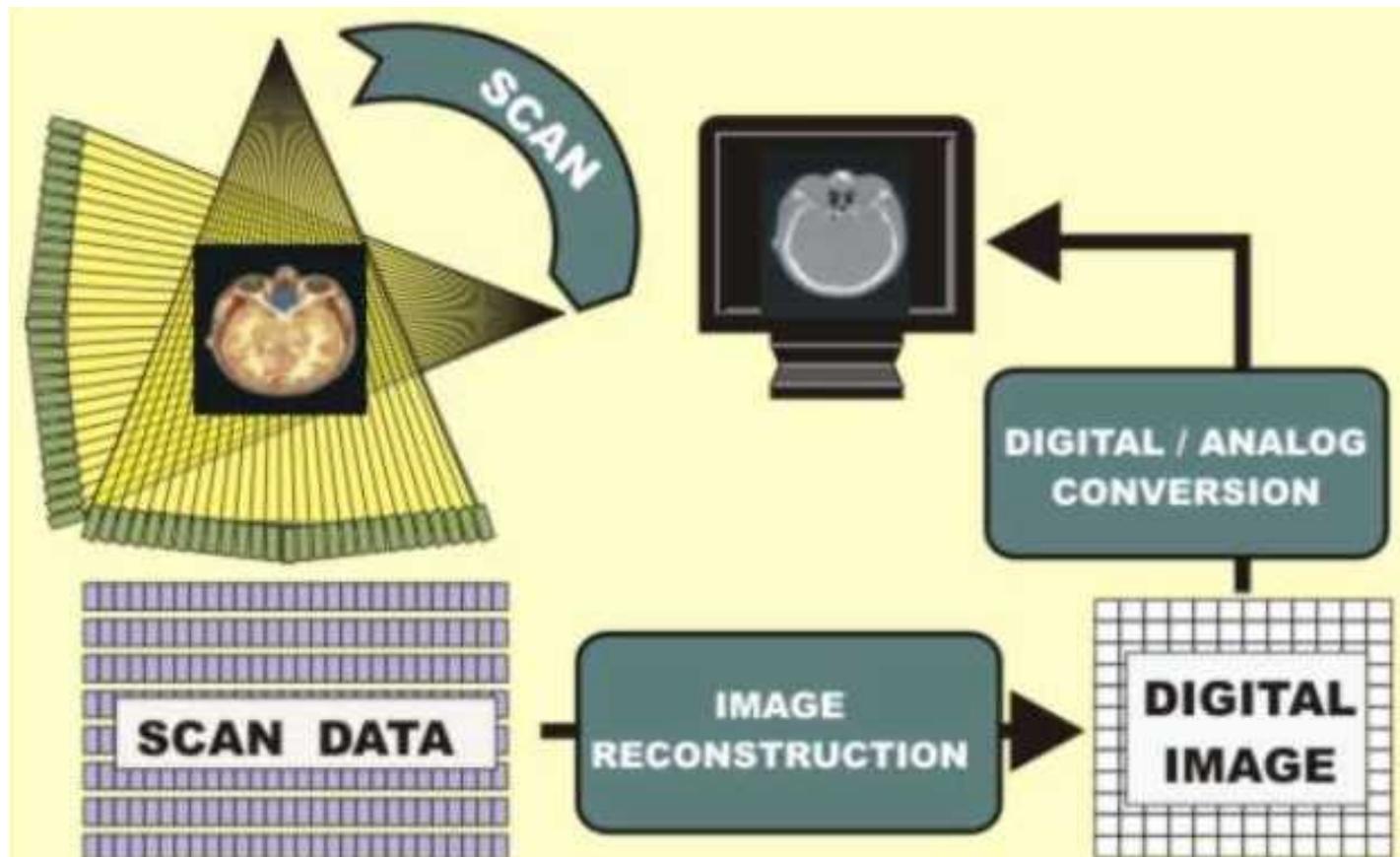
Funcionamento do Tomógrafo

▶ Radiografias Transversais ou Cortes Tomográficos;



Funcionamento do Tomógrafo

► Reconstrução por Computador;



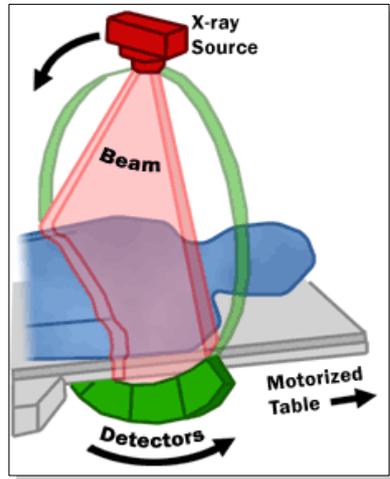
Funcionamento do Tomógrafo

▶ Aspectos Técnicos:

- ▶ **Tensão:** 120kVp;
- ▶ **Temperatura:** 2 megajoules;
- ▶ **Filtragem:** Placa de alumínio ou cobre;
- ▶ **Feixe de Raios X colimado (focado):**
 - ▶ Espessura da fatia: 1~10mm;
- ▶ **Detectores** perfeitamente alinhados com o feixe.



Funcionamento do Tomógrafo



Feixe de **Raios X** é disparado, colimado e filtrado.

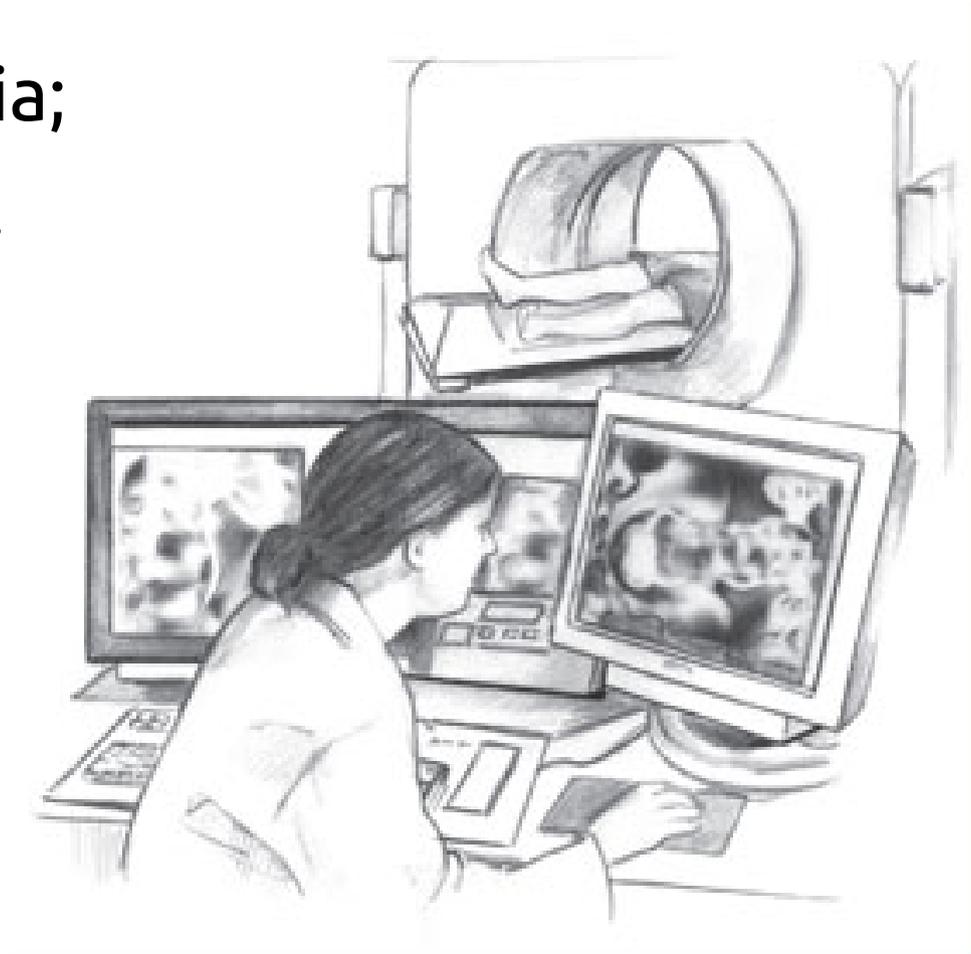
O raios chegam ao paciente causando **atenuação da sua energia**.

Ao atravessar o paciente os raios **chegam aos detectores**.

Os valores de energia que chegaram aos detectores são **medidos e convertidos de analógico para digital**.

Partes de um Sistema de TC

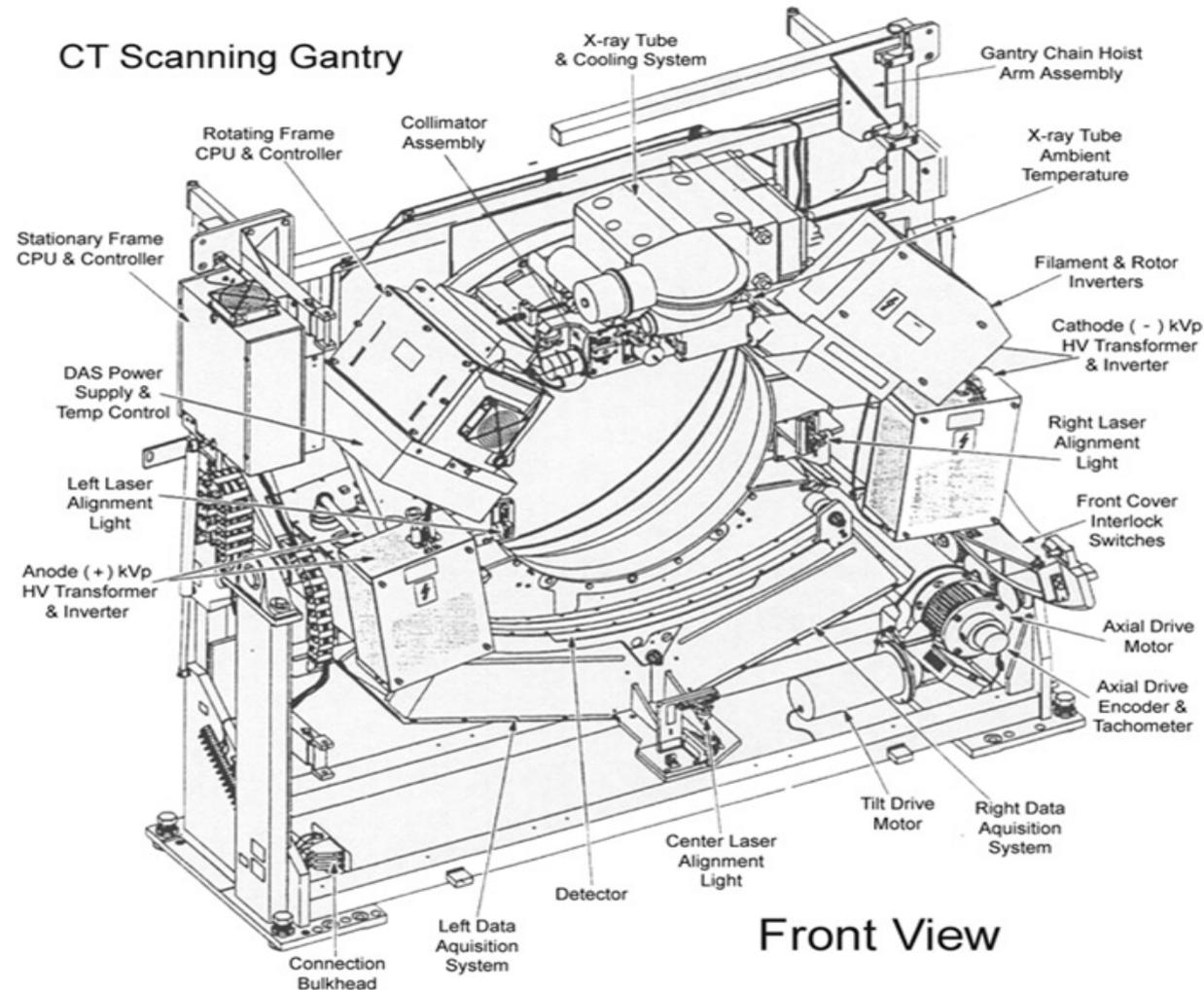
- ▶ Torre de Escaneamento;
- ▶ Mesa de Exame;
- ▶ Unidade de Energia;
- ▶ Mesa de Controle.



Partes de um Sistema de TC

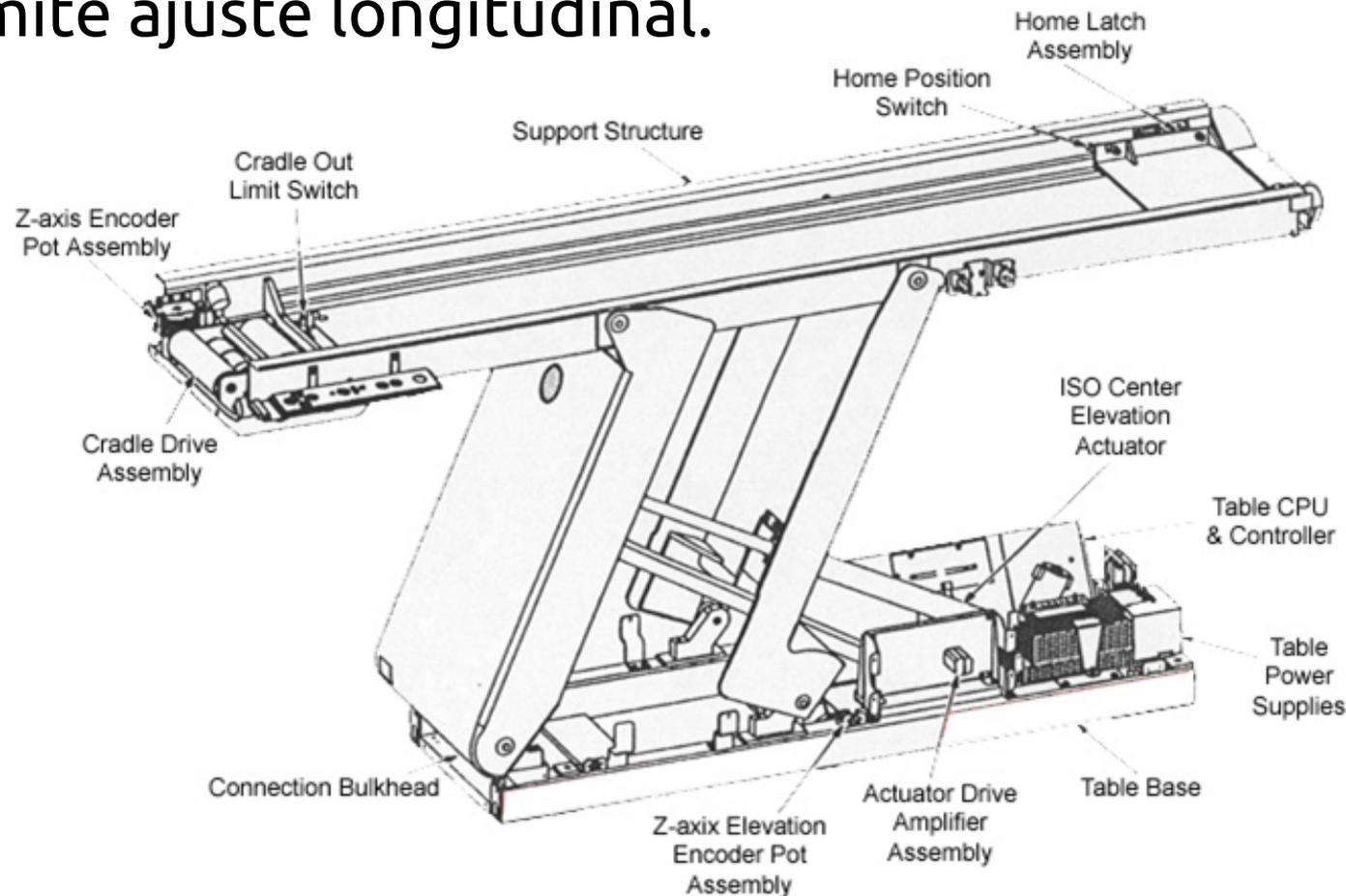
► Torre de Escaneamento (*Scanning Gantry*):

- Tubo de Raios X;
- Detectores;
- Gerador de Tensão;
- Colimadores.



Partes de um Sistema de TC

- ▶ Mesa de Exame:
 - ▶ Posiciona corretamente o Paciente;
 - ▶ Permite ajuste longitudinal.



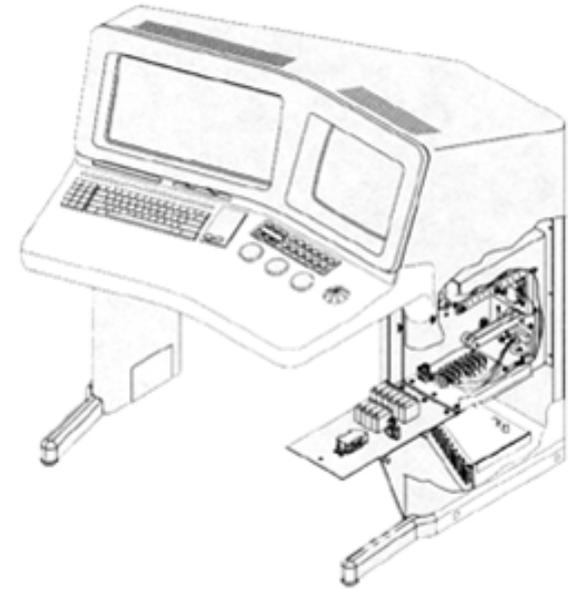
Partes de um Sistema de TC

- ▶ Unidade de Energia:
 - ▶ Possui seu próprio *hack*;
 - ▶ Envia energia para:
 - ▶ Tubo de Raios X;
 - ▶ Motor de Escaneamento;
 - ▶ Motor da Mesa;
 - ▶ Detectores;
 - ▶ A necessidade de alta tensão e corrente faz com que seja um dispositivo essencial e preciso.



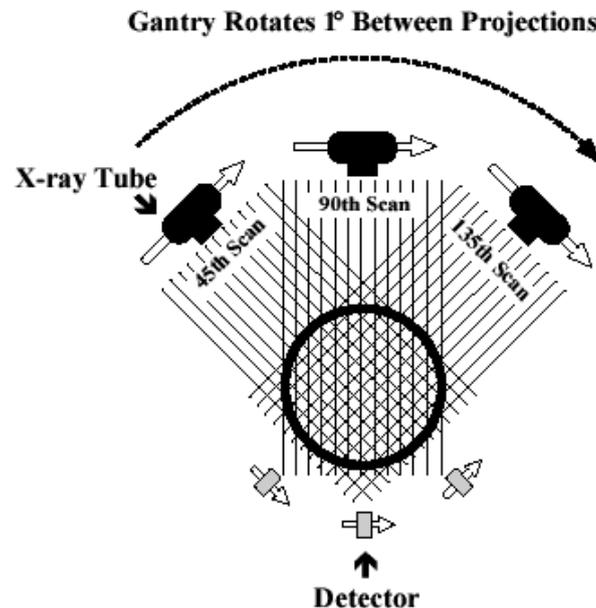
Partes de um Sistema de TC

- ▶ Mesa de Controle:
 - ▶ Composto por dois ou três consoles;
 - ▶ Console dedicado:
 - ▶ Controle do exame:
 - ▶ Posição da torre;
 - ▶ Altura da mesa;
 - ▶ Cópia dos dados.
 - ▶ Visualização da imagem;
 - ▶ Pós processamento:
 - ▶ Ajustes de contraste;
 - ▶ Melhorar o diagnóstico.



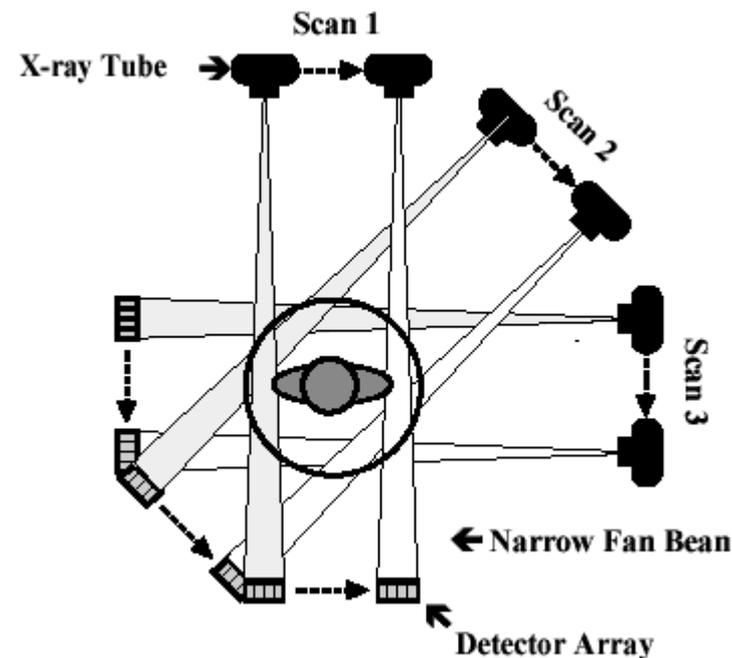
Classificação/Geração dos Tomógrafos

- ▶ **1ª Geração (EMI – 1972) (Translação/Rotação):**
 - ▶ Feixe linear;
 - ▶ 180 projeções → 180°;
 - ▶ ~5mins por projeção;
 - ▶ Um detector: cristais de iodeto de sódio.



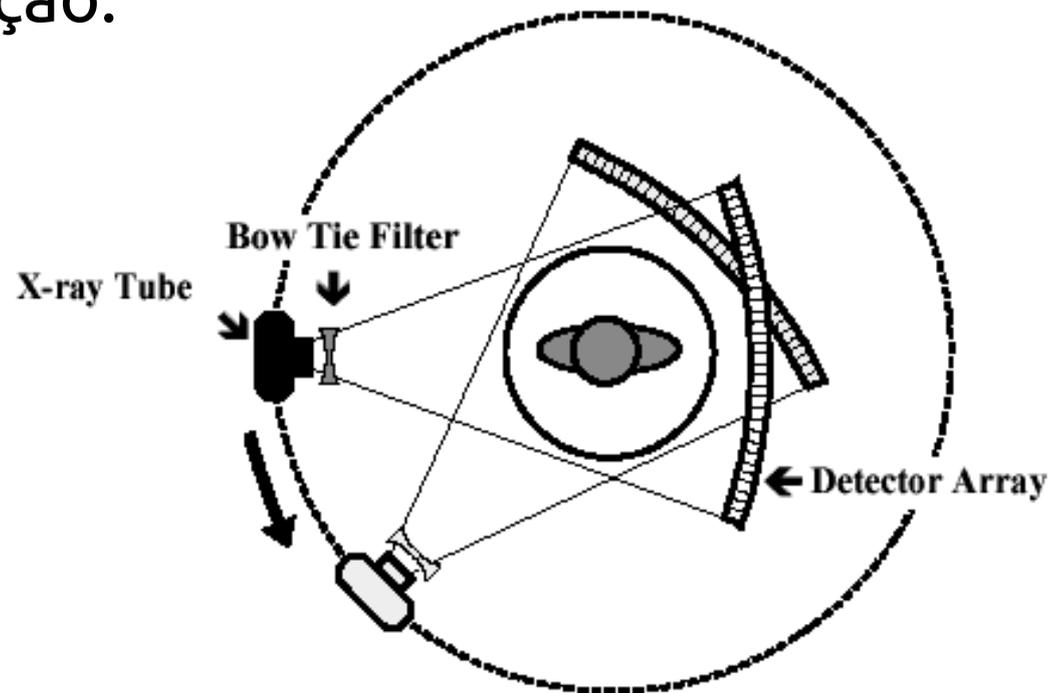
Classificação/Geração dos Tomógrafos

- ▶ **2ª Geração** (Ohio Nuclear - 1974) (Translação/Rotação):
 - ▶ Feixe em leque (abertura de 10°);
 - ▶ Permitiam incrementos de rotação;
 - ▶ ~1min por projeção;
 - ▶ Múltiplos detectores.



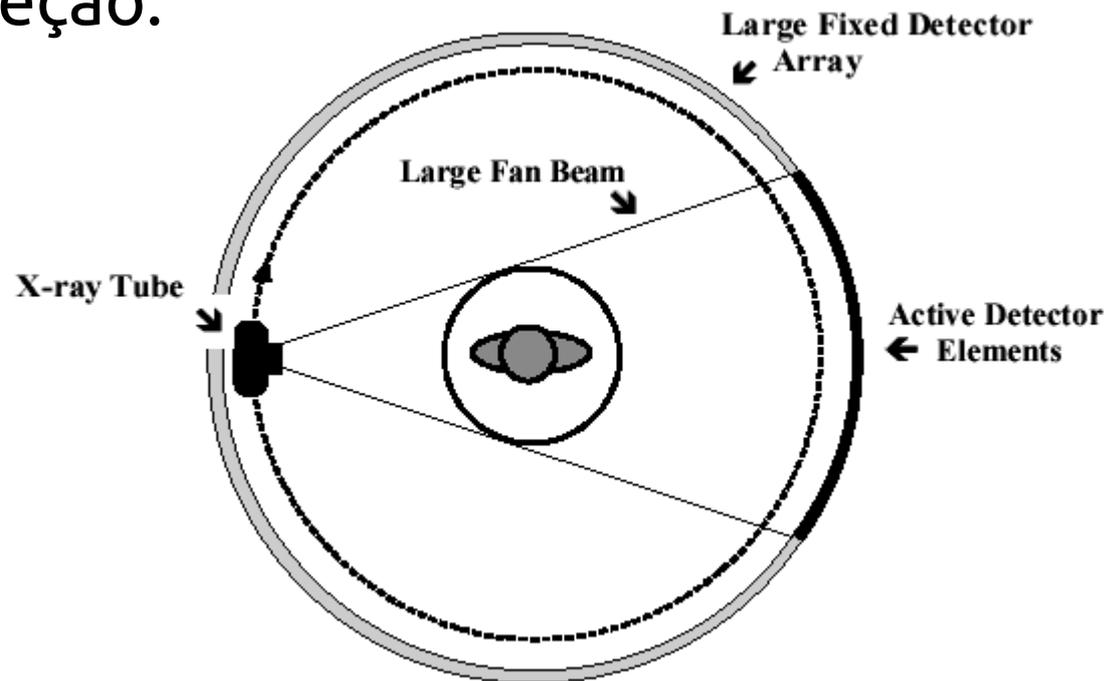
Classificação/Geração dos Tomógrafos

- ▶ **3ª Geração** (Artronix/GE - 1975) (Rotação/Rotação):
 - ▶ Feixe em leque (abertura de 210°);
 - ▶ Mais detectores;
 - ▶ Tubo e detectores rotativos;
 - ▶ 1 a 2s por projeção.



Classificação/Geração dos Tomógrafos

- ▶ **4ª Geração (AS&E - 1976) (Rotação/Fixo):**
 - ▶ Feixe em leque (aberturas de 30° e 50°);
 - ▶ Tubo de Raios X giratório;
 - ▶ Detetores fixos cobrem 360°;
 - ▶ < 1s por projeção.



Tomógrafos Convencionais

- ▶ Cortes únicos;
- ▶ Limitações:
 - ▶ Reposicionamento constante das partes que constituem o sistema;
 - ▶ Limitações dos cabos;
 - ▶ Grandes volumes corporais só podiam ser examinados através de cortes únicos;
 - ▶ Dificuldade em produzir imagens em diferentes planos anatômicos;
 - ▶ Difícil representar pequenas lesões posicionadas entre os cortes tomográficos.



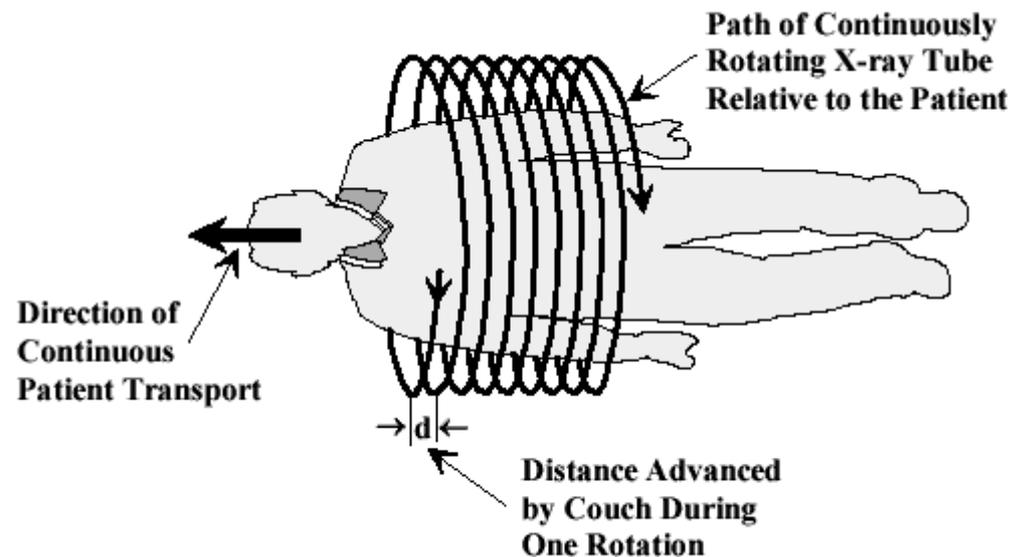
Classificação/Geração dos Tomógrafos

▶ 5ª Geração (Tomografia Helicoidal):

▶ Tecnologia *Slip-Ring*:

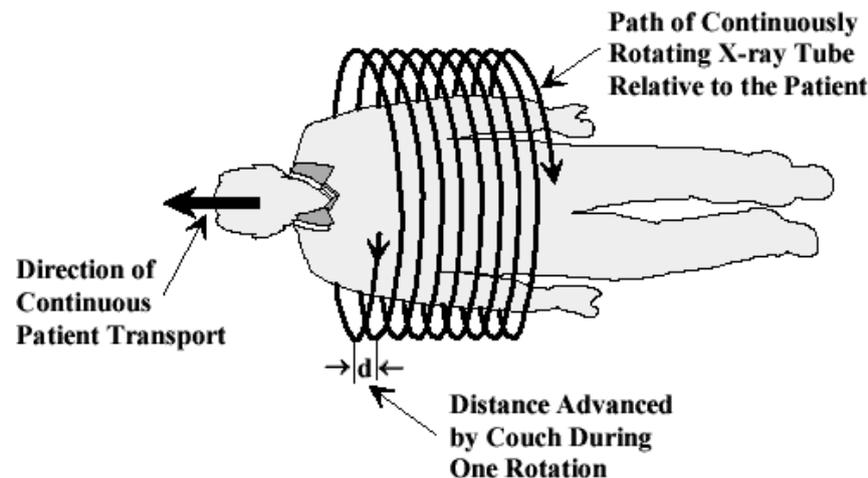
- ▶ Rotação contínua tubo-detector, em uma única direção;
- ▶ A mesa do paciente se move continuamente para o interior do *gantry*;

▶ Recebe dados continuamente.



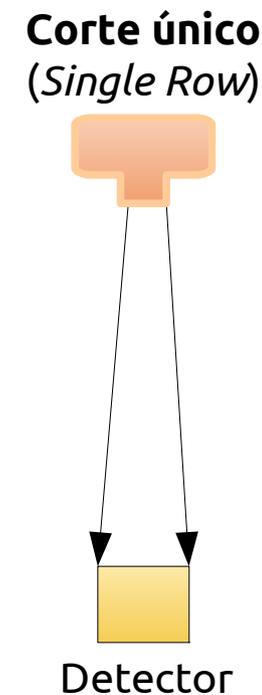
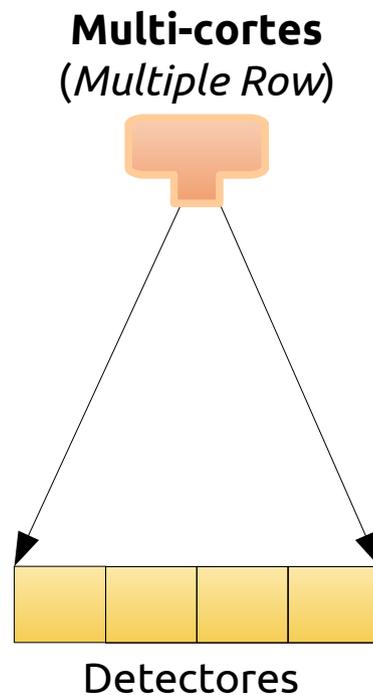
Classificação/Geração dos Tomógrafos

- ▶ Velocidade da mesa: 1 a 10mm/s;
- ▶ Tudo de Raios X rotaciona 360°;
- ▶ *Pitch* (1 a 2):
 - ▶ Deslocamento da mesa do paciente (em uma rotação) / espessura da projeção:
 - ▶ Ex.: Desl. da mesa 10mm / Esp. da projeção: 10mm = 1pitch;



Classificação/Geração dos Tomógrafos

- ▶ Helicoidal multi-cortes vs. corte único:
 - ▶ Possuem várias linhas ativas de detectores associadas à alta velocidade de rotação do sistema tubo-detector:



Classificação/Geração dos Tomógrafos

▶ Helicoidal multi-cortes:

▶ Vantagens :

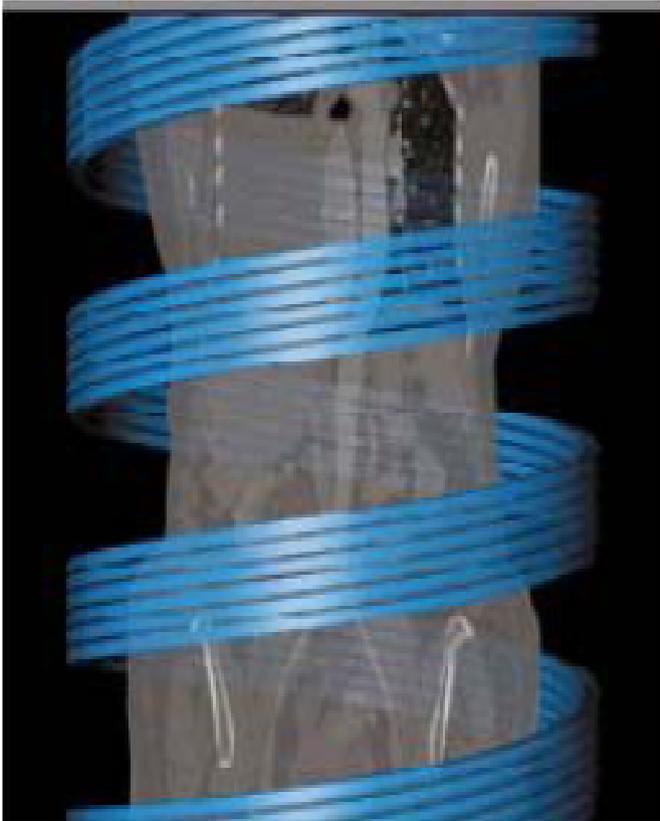
- ▶ Grande volume de tecido pode ser irradiado com tempos mais curtos, a partir de uma única exposição;
- ▶ Possibilidade de reconstruir imagens de alta qualidade;
- ▶ Cortes sem intervalos;
- ▶ Imagens cardíacas;
- ▶ Pacientes incapazes de cooperar em exames que necessitam conter a respiração.



Classificação/Geração dos Tomógrafos

► Helicoidal multi-cortes:

6 cortes



16 cortes



Classificação/Geração dos Tomógrafos

- ▶ TC Volumétrica de Feixe Cônico (*Cone Beam CT*):
 - ▶ Feixe Cônico;
 - ▶ Receptor de imagem 2D:
 - ▶ Uma rotação de 360° graus em torno da região de interesse;
 - ▶ Múltiplas projeções são enviadas ao computador.

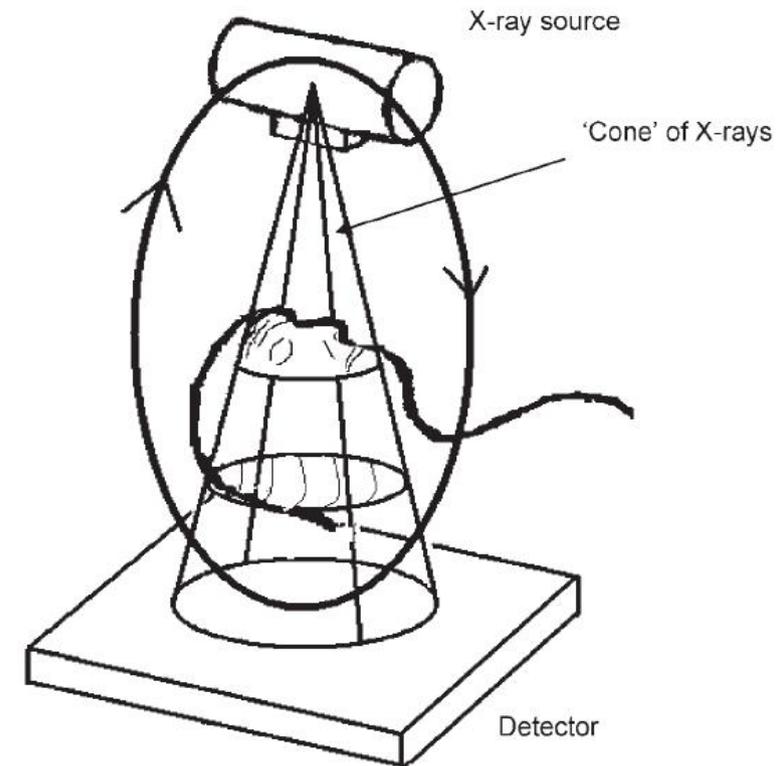


Imagem Tomográfica

- ▶ Para cada fatia:
 - ▶ Uma grande quantidade de radiação é absorvida;
 - ▶ É feita a tradução de:
 - ▶ Radiação → Tons de Cinza;
 - ▶ Perfil de atenuação → Voxel.

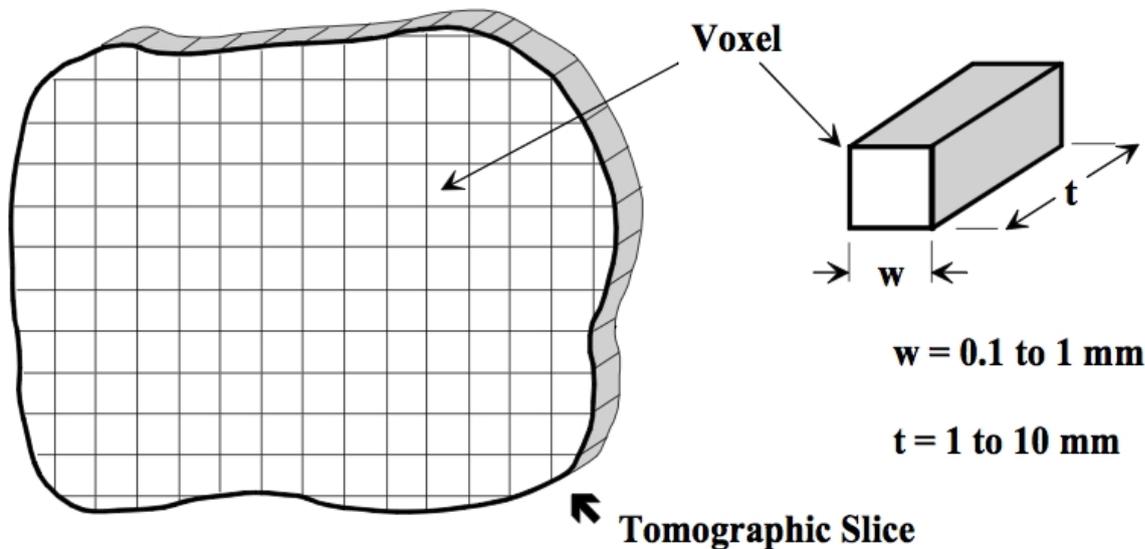


Imagem Tomográfica

▶ Senograma:

- ▶ Projeções em vários ângulos de incidência:

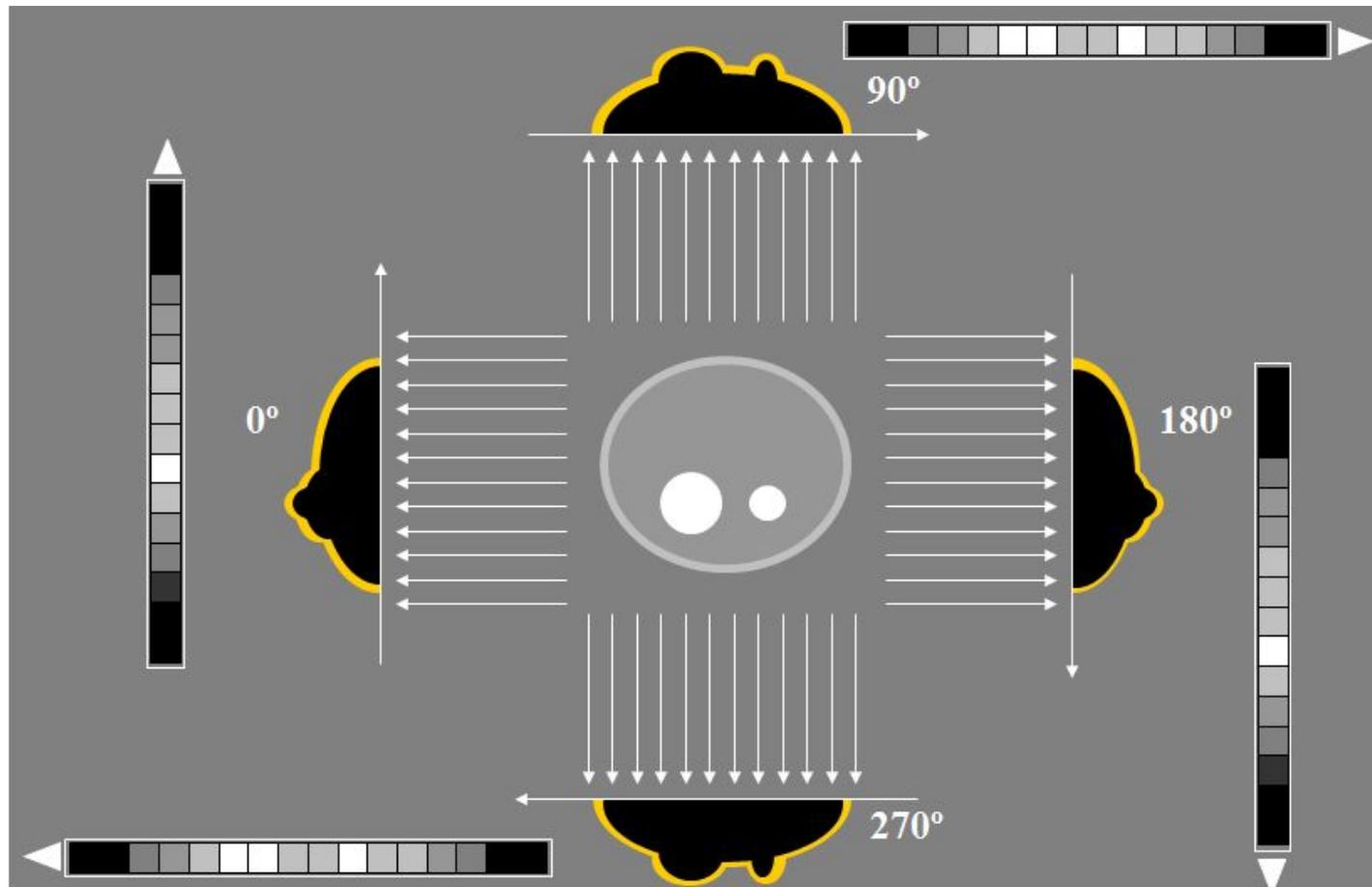


Imagem Tomográfica

- ▶ Os histogramas de cada ângulo são alinhados formando o **senograma**:

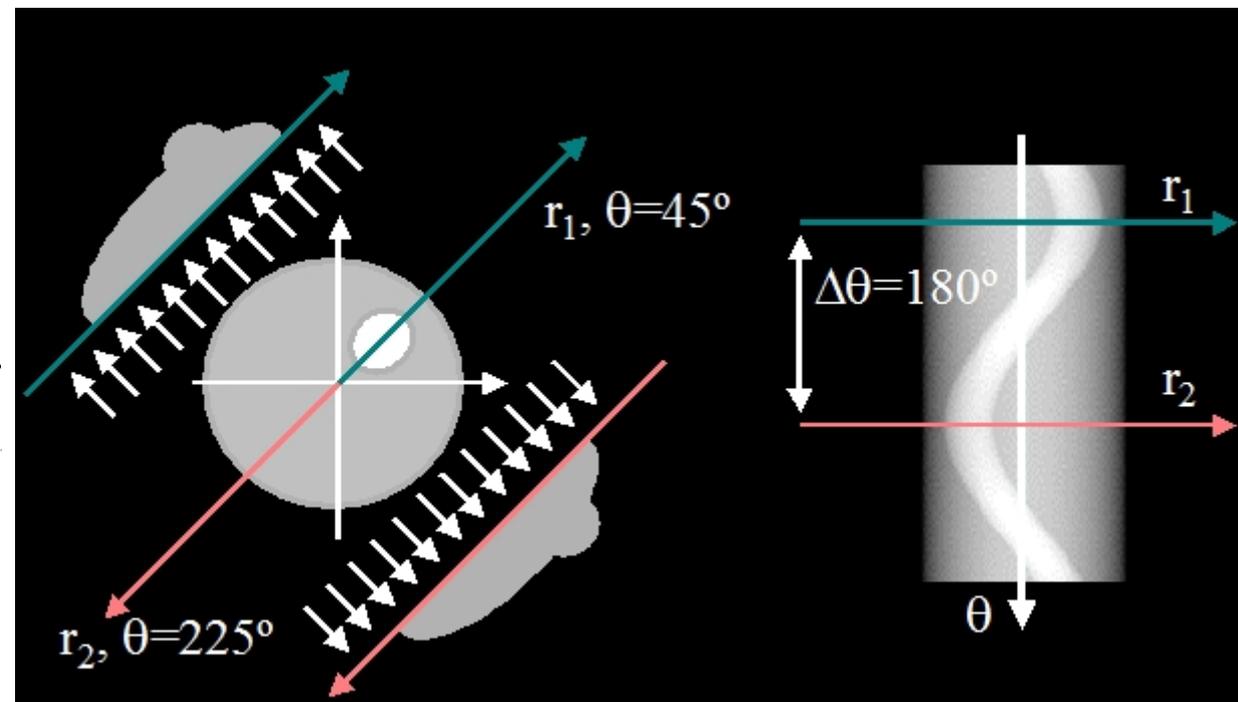
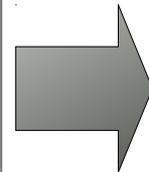
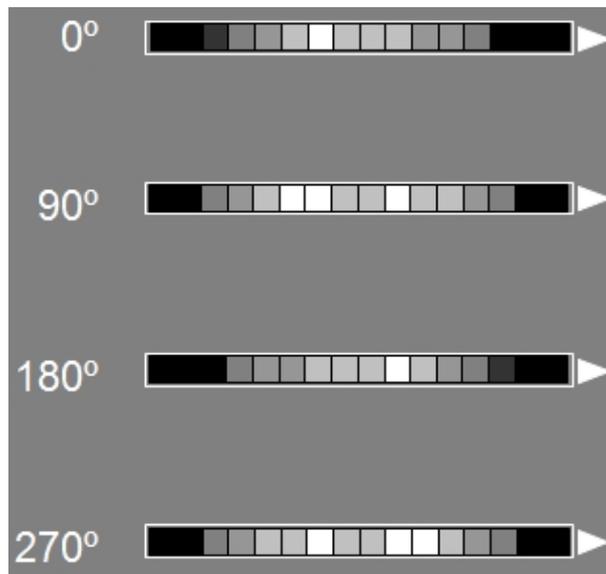


Imagem Tomográfica

- ▶ Retroprojeção filtrada (*filtered back-projection*):
 - ▶ Inserção de artefatos necessitando de filtragem;

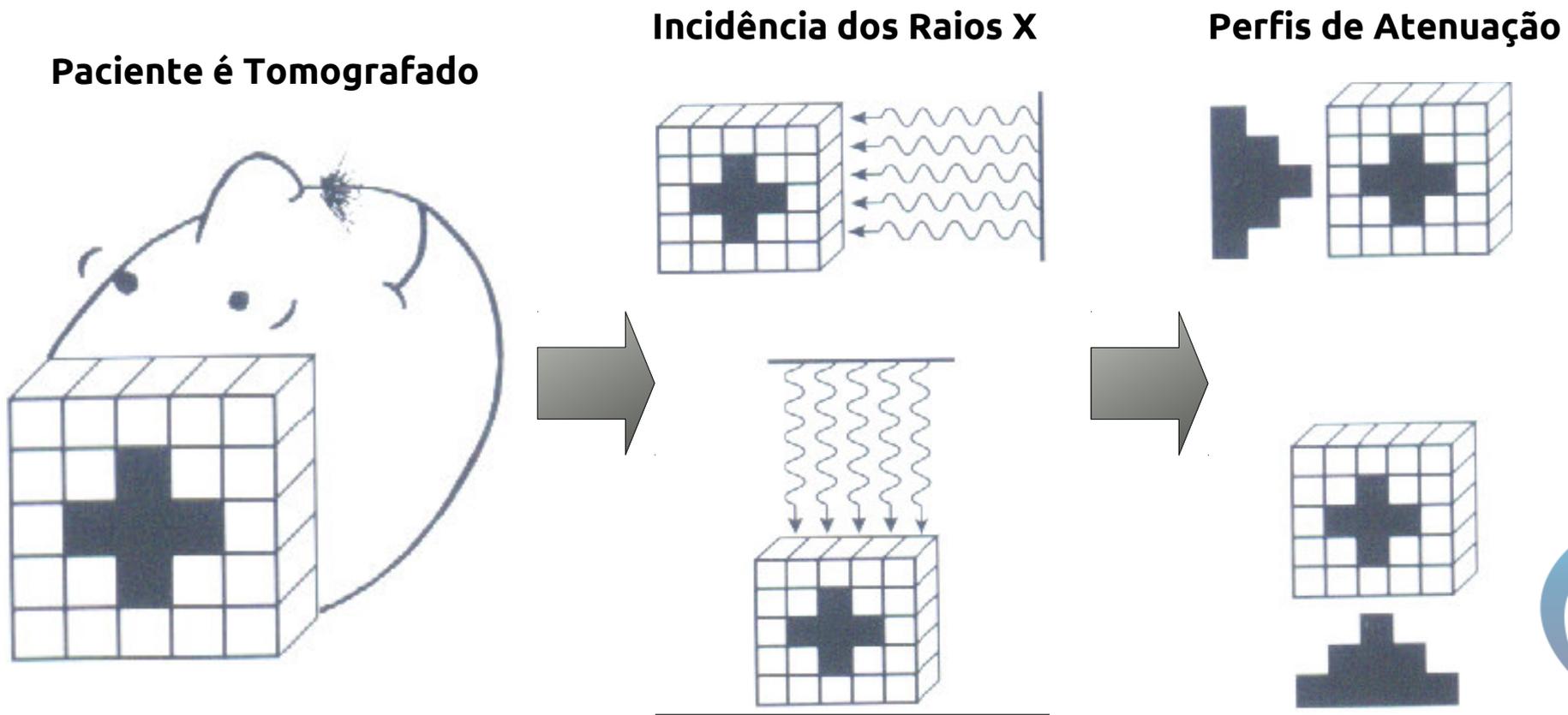
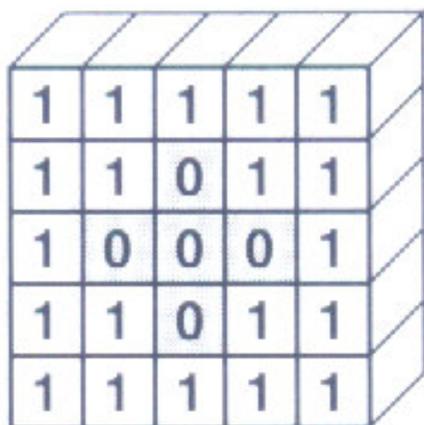


Imagem Tomográfica

- ▶ Cada tipo de tecido absorve uma quantidade de radiação:

Área de Interesse



Perfis de Atenuação
(Numérico)

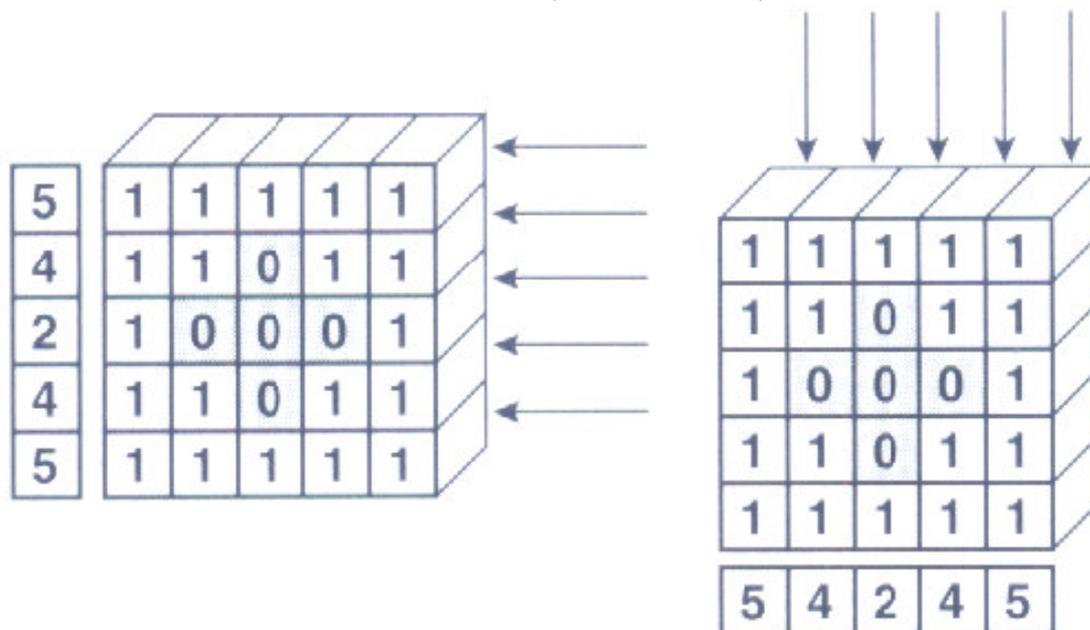


Imagem Tomográfica

- ▶ O valor de cada voxel será dado pela soma dos valores das projeções:

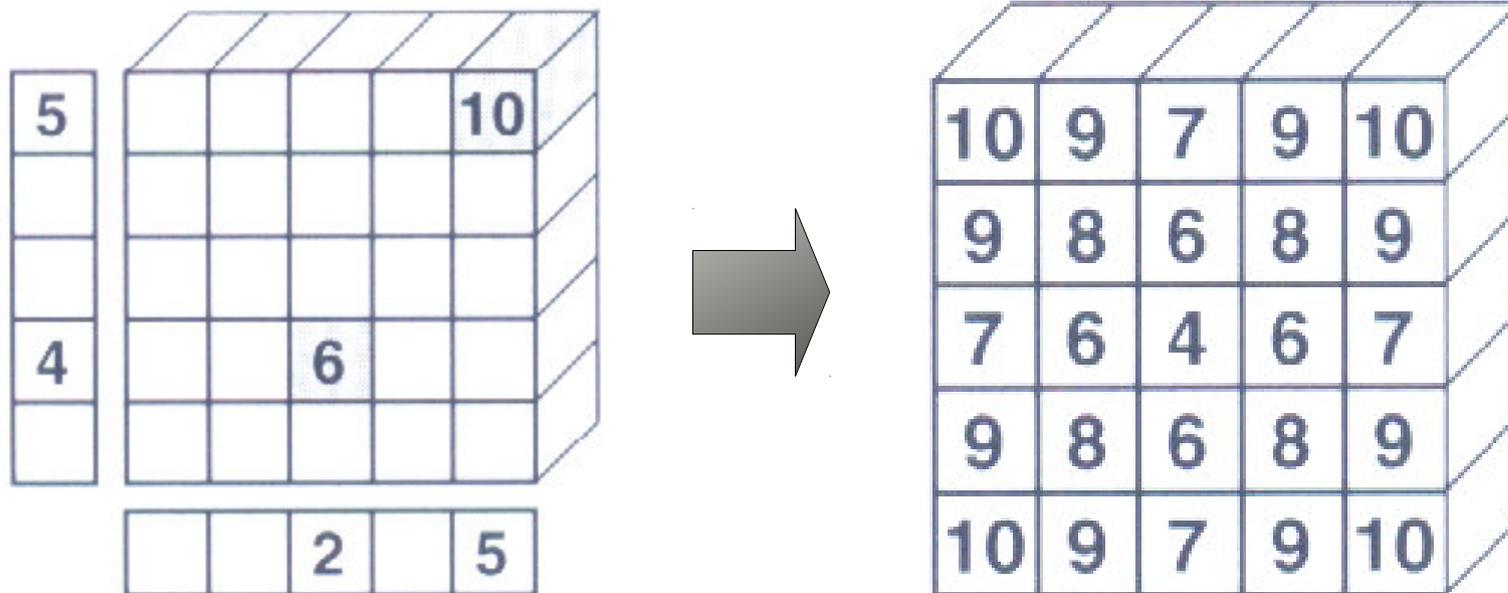


Imagem Tomográfica

- ▶ Cada valor da matriz de atenuação é transformado em um pixel da imagem final:

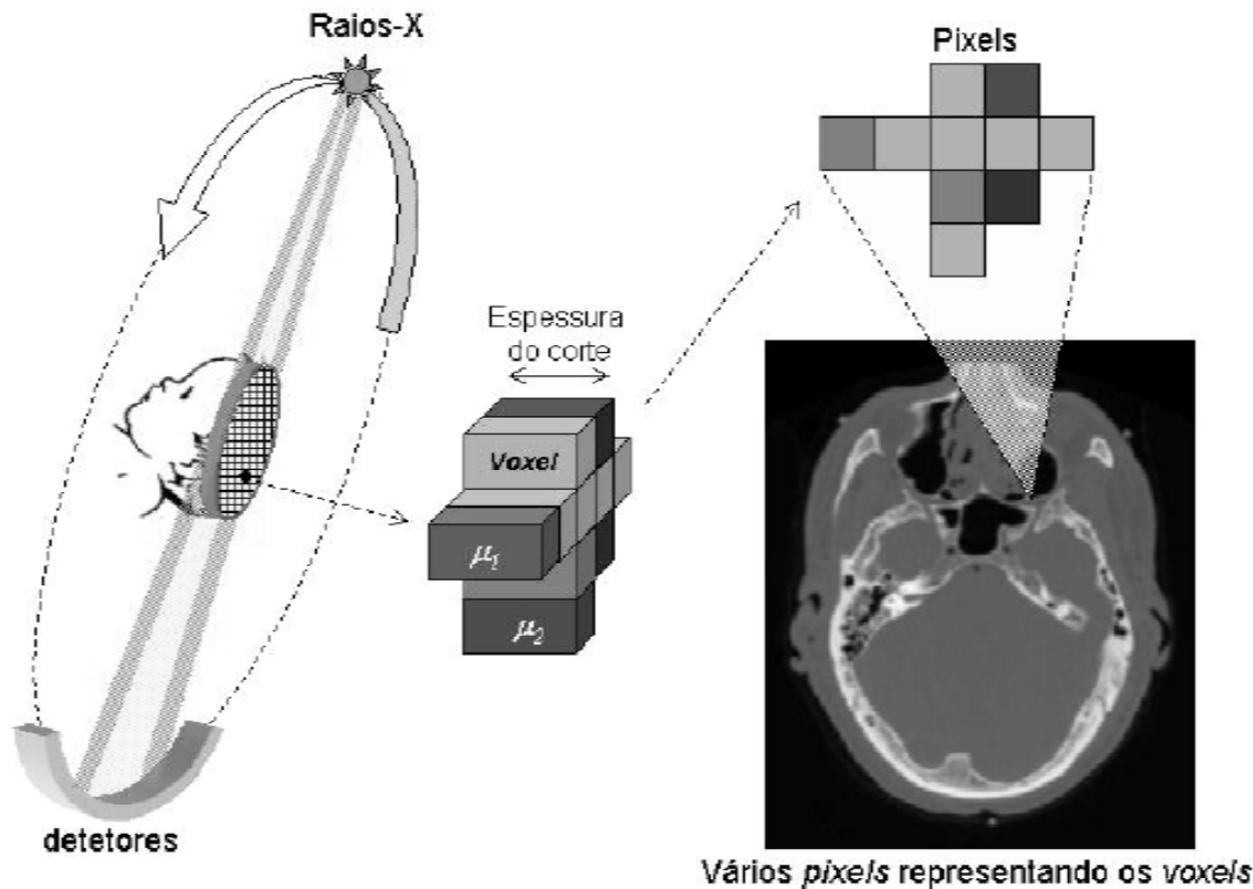


Imagem Tomográfica

- ▶ É possível que hajam ruídos, por isso a filtragem:
 - ▶ Transformada de Fourier:

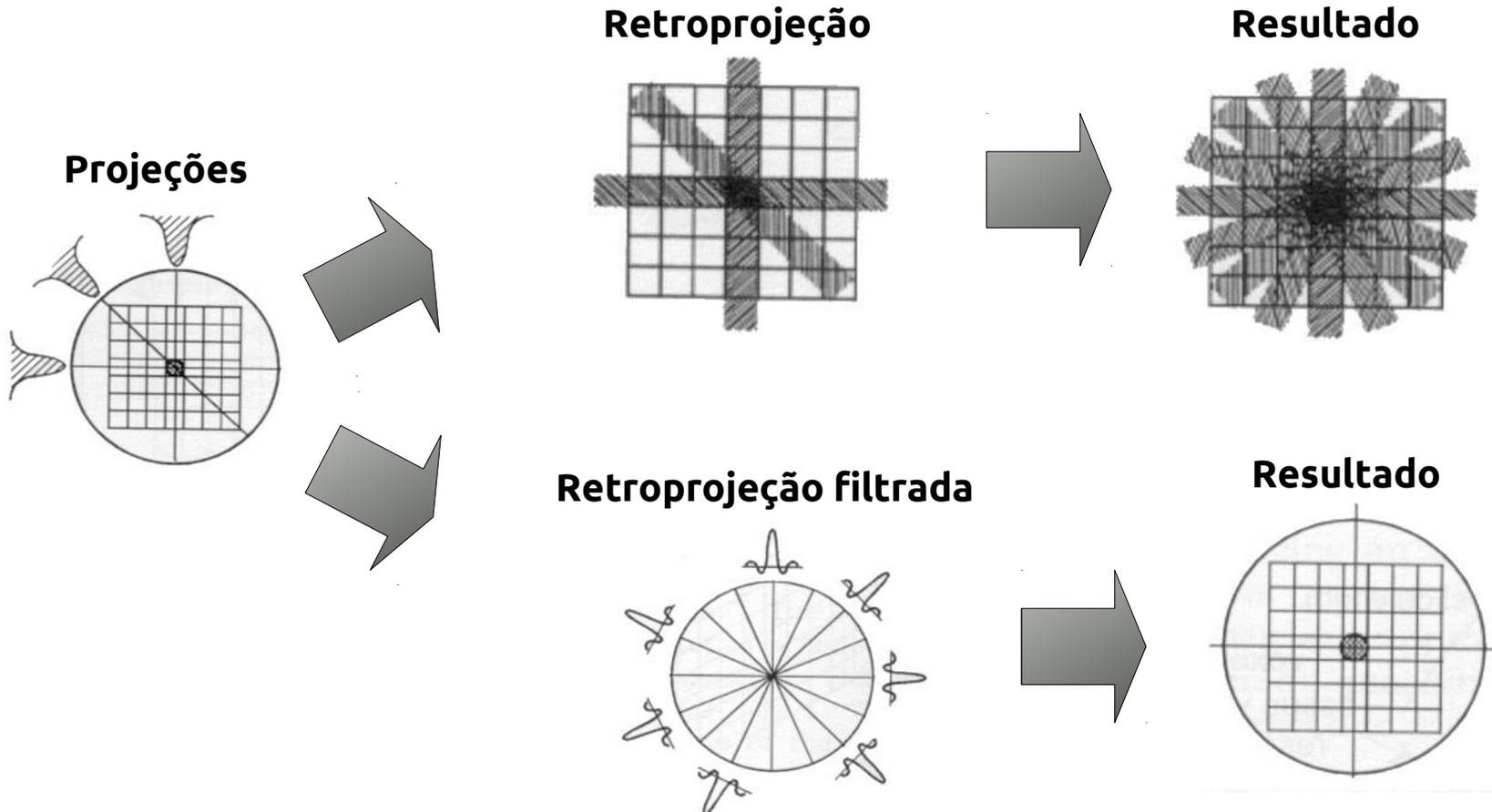


Imagem Tomográfica

- ▶ O tom de cinza de um pixel é definido de acordo com a escala de **cinza de Hounsfield** (Número CT → nCT);
 - ▶ nCT = Unidade Hounsfield (HU);
 - ▶ 1000 = branco → tecido ósseo;
 - ▶ 0 = água;
 - ▶ -1000 = preto → ar.
- ▶ Número de Hounsfield (número CT):

$$nCT_{\text{tecido}} = 1000 * \left(\frac{\mu_{\text{tecido}} - \mu_{\text{água}}}{\mu_{\text{água}}} \right)$$



Imagem Tomográfica (nCT)

▶ Números CT:

Ar	-1000
Pulmão	-300
Gordura	-90
Água	0
Substância Branca	30
Substância Cinzenta	40
Músculo	50
Osso cortical	1000

Imagem Tomográfica (nCT)

- ▶ Tons de cinza para os diferentes tipos de materiais:

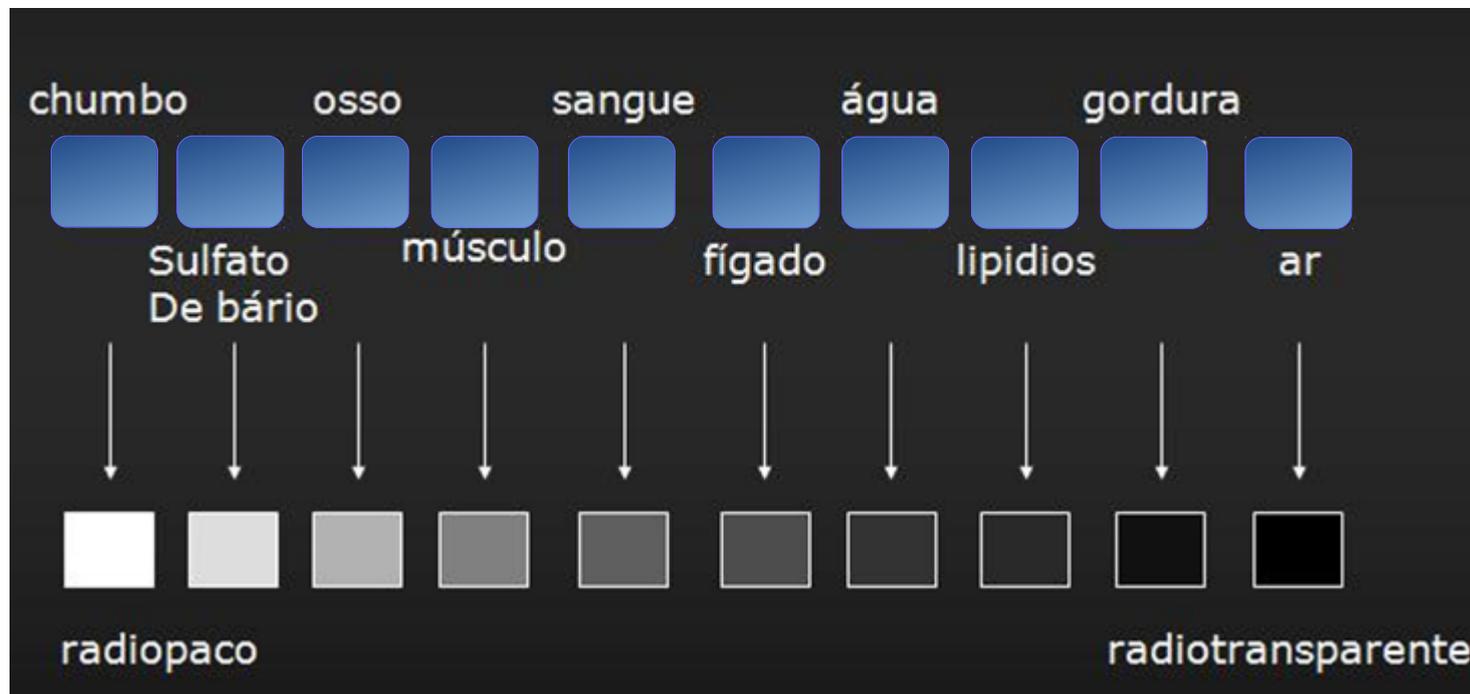


Imagem Tomográfica

- ▶ Os diferentes tons de cinza em uma tomografia:

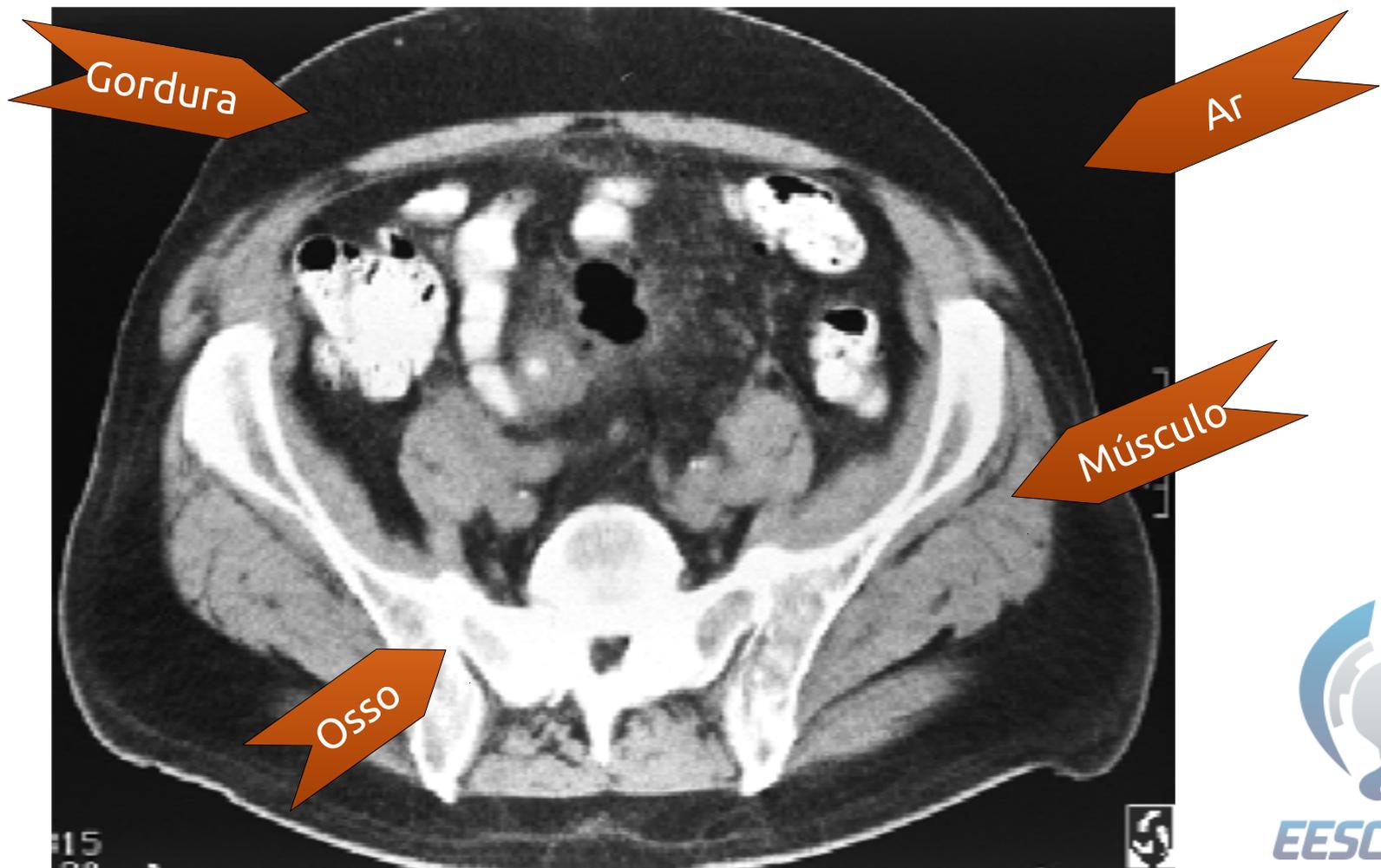
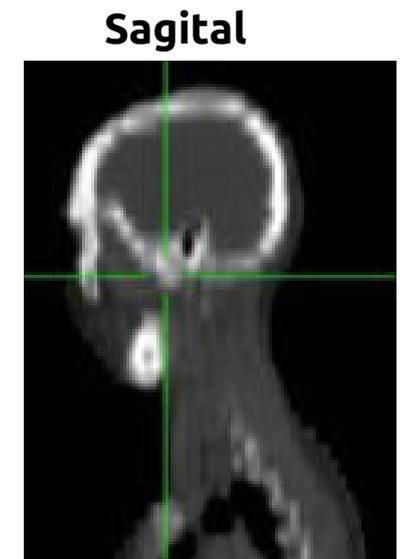
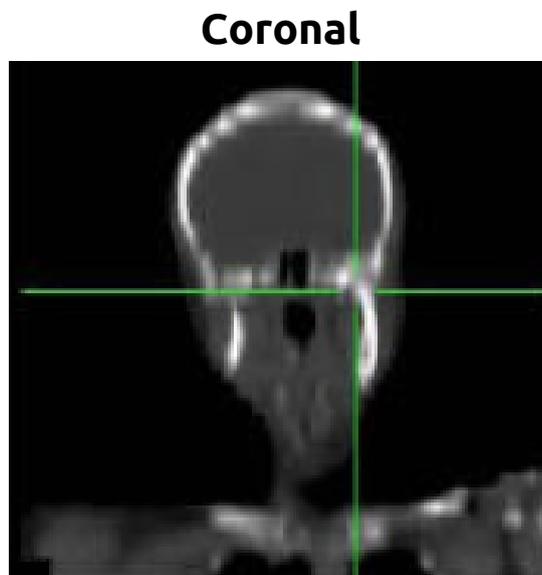
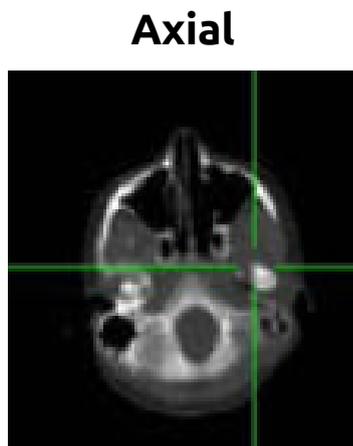


Imagem Tomográfica

- ▶ É possível ter projeções em outros planos:
 - ▶ **Axial**: Perpendicular ao maior eixo do corpo;
 - ▶ **Coronal**: Visão frontal;
 - ▶ **Sagital**: Visão lateral.



Visualização da Imagem Tomográfica

- ▶ Visualizadas em monitores especiais;
- ▶ Impressas em filme;
- ▶ Cada tom de cinza está no intervalo de 256 a 4096;
 - ▶ Imagens de 12bits;
 - ▶ Impossível do olho humano distinguir;
 - ▶ Utiliza-se **técnicas de janelamento** (*windowing*);



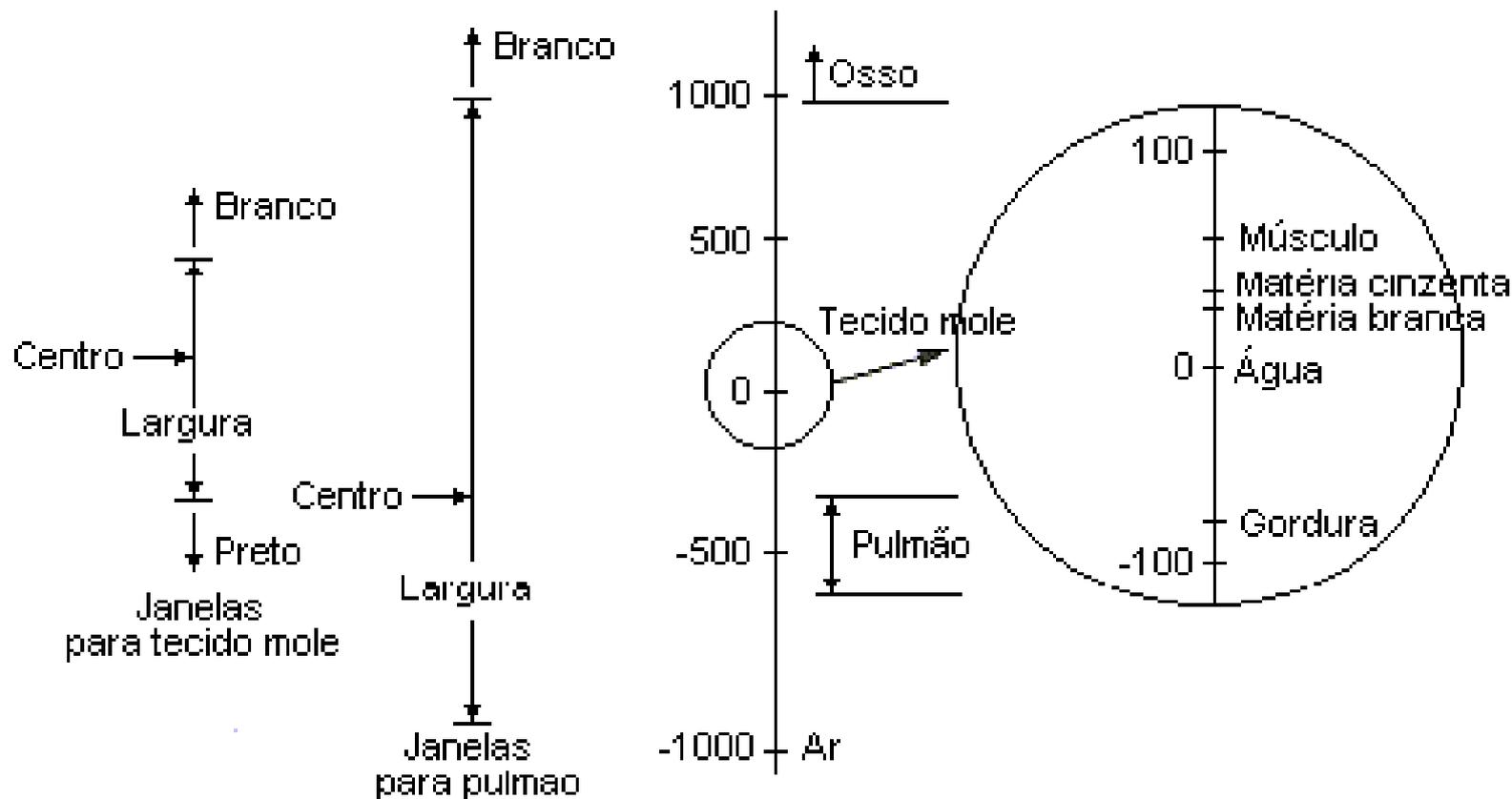
Visualização da Imagem Tomográfica

- ▶ Técnica de Janelamento:
 - ▶ Basicamente uma **alteração de histograma**;
 - ▶ Alteração da escala de cinza para melhor visualização:
 - ▶ Alteração da largura da janela:
 - ▶ Número máximo de tons de cinza na imagem;
 - ▶ Alteração do nível da janela:
 - ▶ O valor central da escala de nCT e é alterado;
 - ▶ A escolha dos valores variam de acordo com a necessidade;



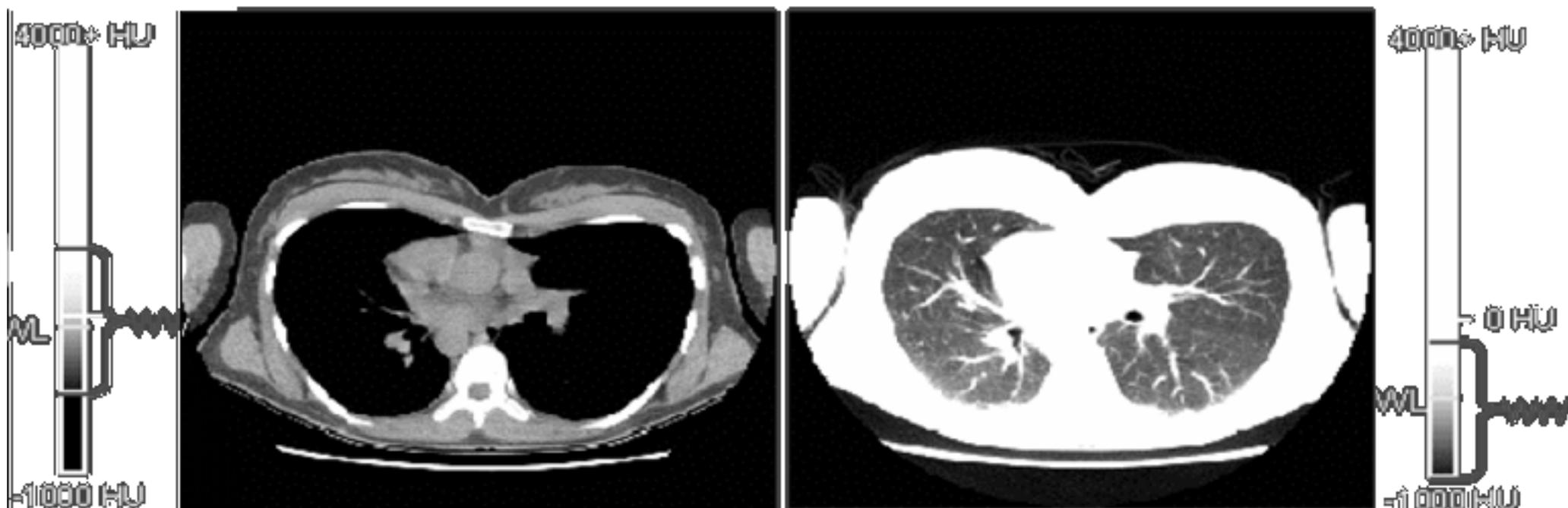
Visualização da Imagem Tomográfica

► Escala HU:



Visualização da Imagem Tomográfica

▶ Tomografia Torácica:



Uso de Contrastes

- ▶ Melhora a atenuação entre duas estruturas (análise de partes ocas);
- ▶ Sua administração pode ser:
 - ▶ Via oral, retal ou endovenoso;
- ▶ Via oral ou retal: hidrossolúvel (a base de iodo) ou baritado diluído;
- ▶ Via Oral: administrado 1 hora antes do exame em sala
- ▶ Via Retal: é feito direto na sala (para doenças pélvicas)
- ▶ Contraste endovenoso:
 - ▶ Realça estruturas vasculares;
- ▶ **Nocivos a saúde!**



Onde é Indicada a TC?

- ▶ Em exames:
 - ▶ Cérebro e medula espinhal;
 - ▶ Tórax e do mediastino:
 - ▶ Abdome superior;
 - ▶ Cavidade peritoneal.
- ▶ Sua utilidade:
 - ▶ Demonstração de tumores, abscessos, ruptura de órgãos e acúmulo de líquidos com alta precisão;
 - ▶ Guiar agulhas de biópsia e para introdução de tubos de drenagem para abscessos.
- ▶ Odontologia.



Contra Indicações

- ▶ Mulheres grávidas;
- ▶ Peso superior a 180 kg;
- ▶ Alérgicos ao contraste;
- ▶ Pessoas que recentemente se submeteram a exames contrastados com sulfato de bário;
- ▶ Distúrbios neurológicos e psiquiátricos;
- ▶ Crianças ou idosos (imobilização prolongada).



Tomografia por Emissão

- ▶ Exames funcionais:
 - ▶ PET;
 - ▶ SPECT;
- ▶ Emissão de radiação gama a partir do objeto de estudo, sendo captada por detectores;
- ▶ O objetivo é determinar a distribuição de radioatividade, resultante da biodistribuição de um radiofármaco;
- ▶ Muito utilizadas em aplicações médicas.



Referências

- ▶ Roman, L. E.; ***Computed tomography for technologists: A comprehensive text***, 2011;
- ▶ Webb, W. R.; Brant, W. E.; Major, N. M.; ***Fundamentals of body CT***; 3th Edition, 2006;
- ▶ Saba, L. editor; ***Computed tomography***. special applications, 2011;
- ▶ Wikipédia;

