

Equipamentos de Imagiologia Médica

2021/2022

Teresa Sousa

Aula 1



Lic. Eng. Biomédica
Bioeletrónica

Imagem Médica

Refere-se ao estudo da interação de diferentes formas de radiação (e ondas acústicas) com os tecidos biológicos e à extração de informação clínica relevante a partir do mapeamento desta interação.

Técnicas de medida e registo que não são primariamente desenhadas para produzir imagens, como é caso da eletroencefalografia (EEG) e da magnetoencefalografia (MEG), mas que produzem dados suscetíveis de serem representados como mapas de atividade, podem também ser vistos como formas de imagem médica.

Imagem Médica



Imagem Médica



Imagem Médica



Imagem Médica



Imagem Médica

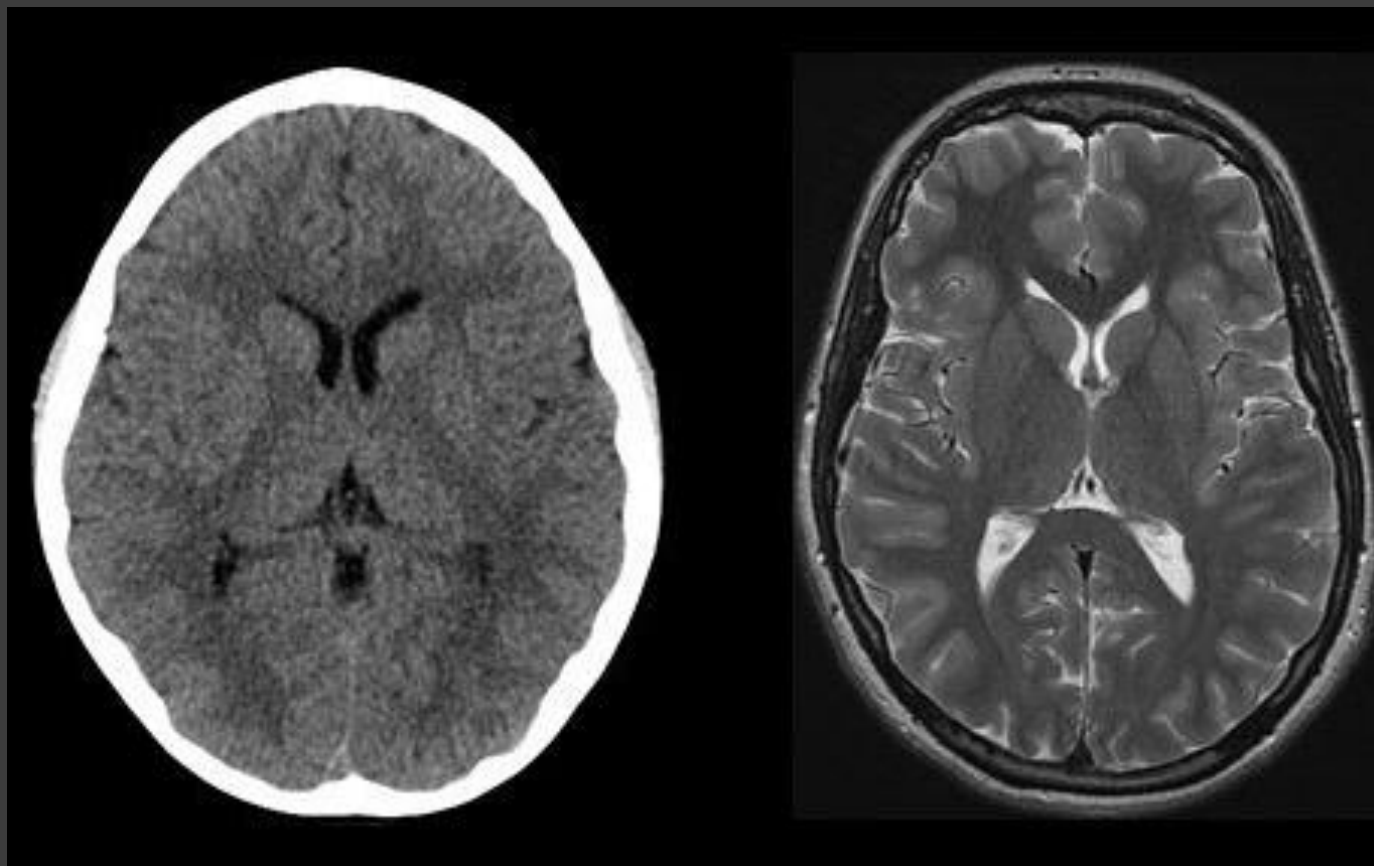


Imagem Médica

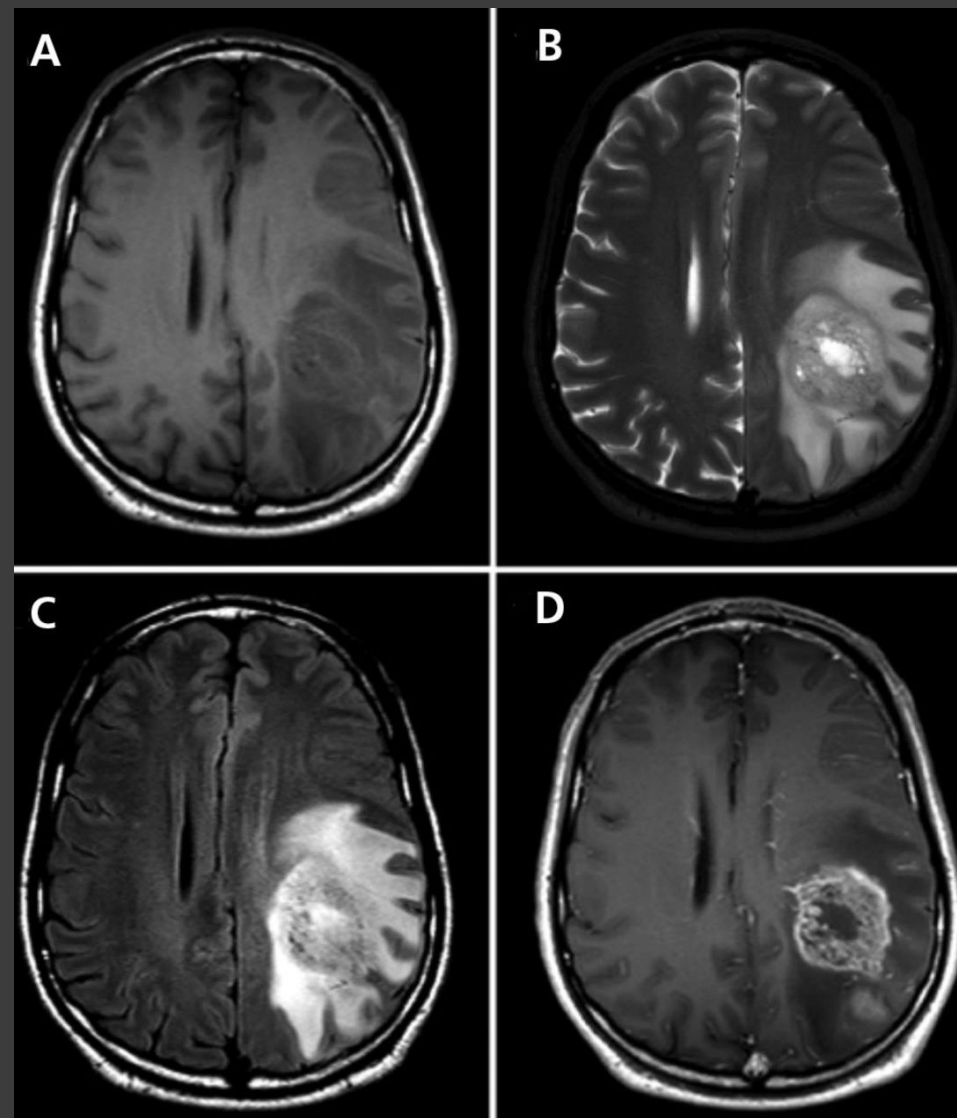


Imagem Médica

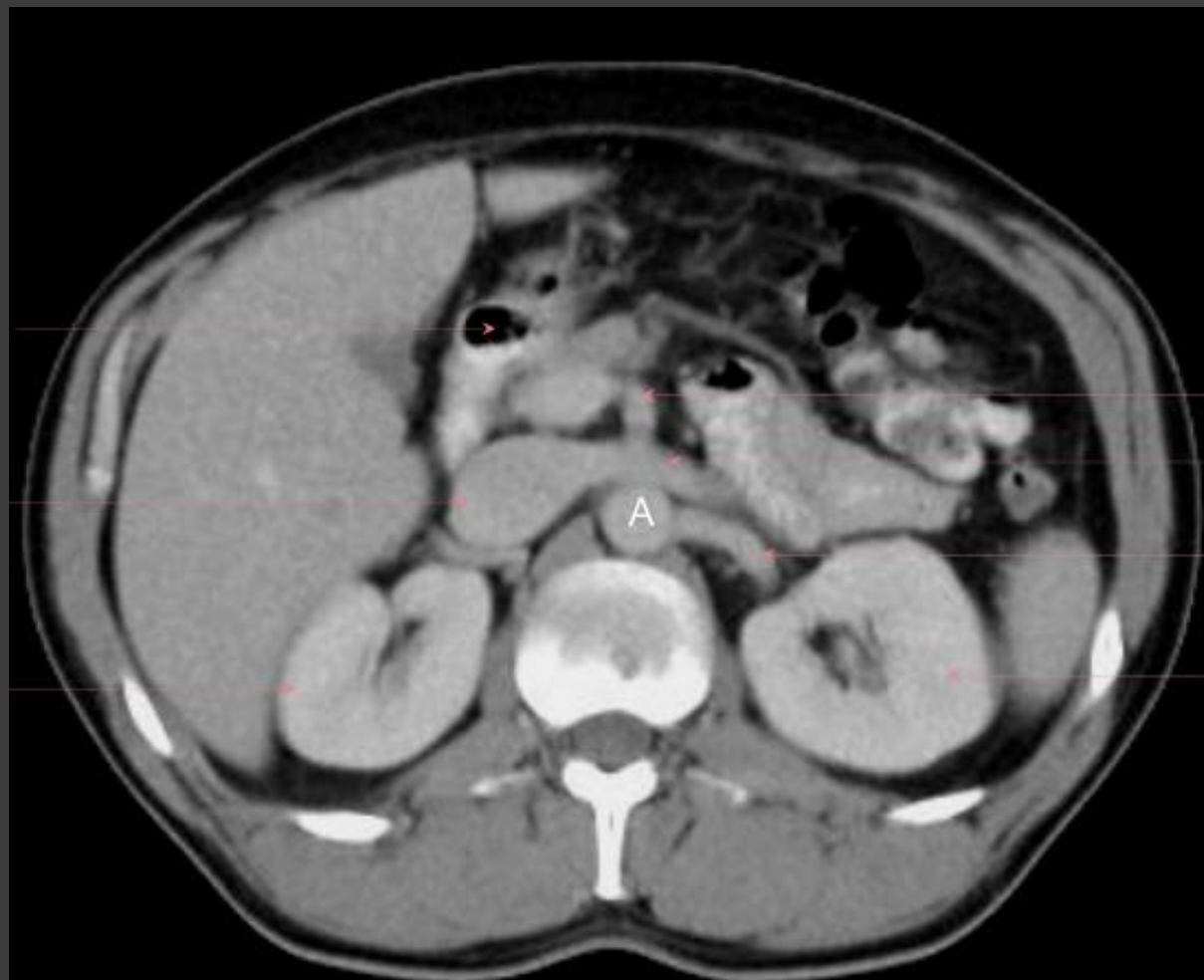


Imagem Médica

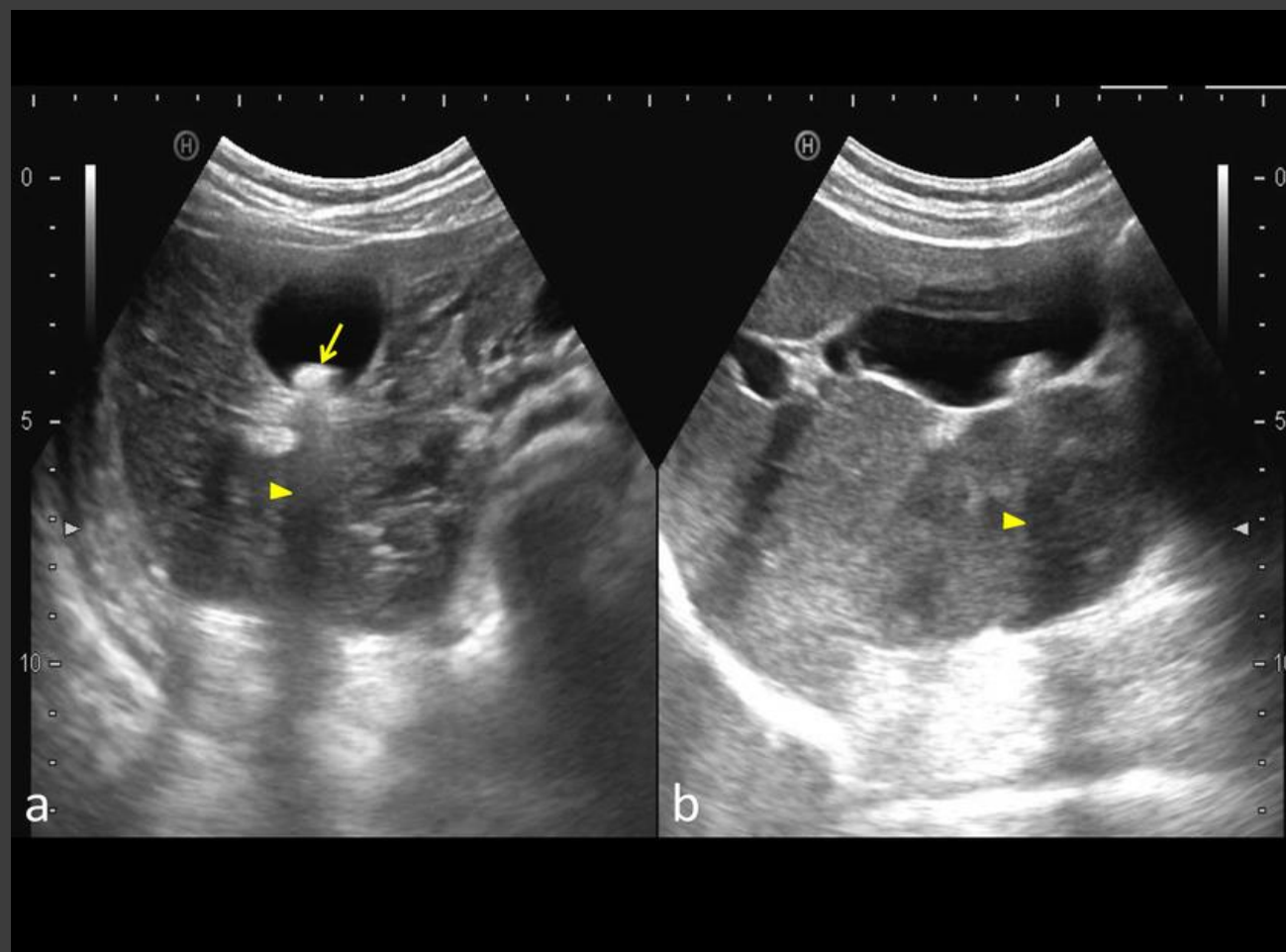


Imagem Médica

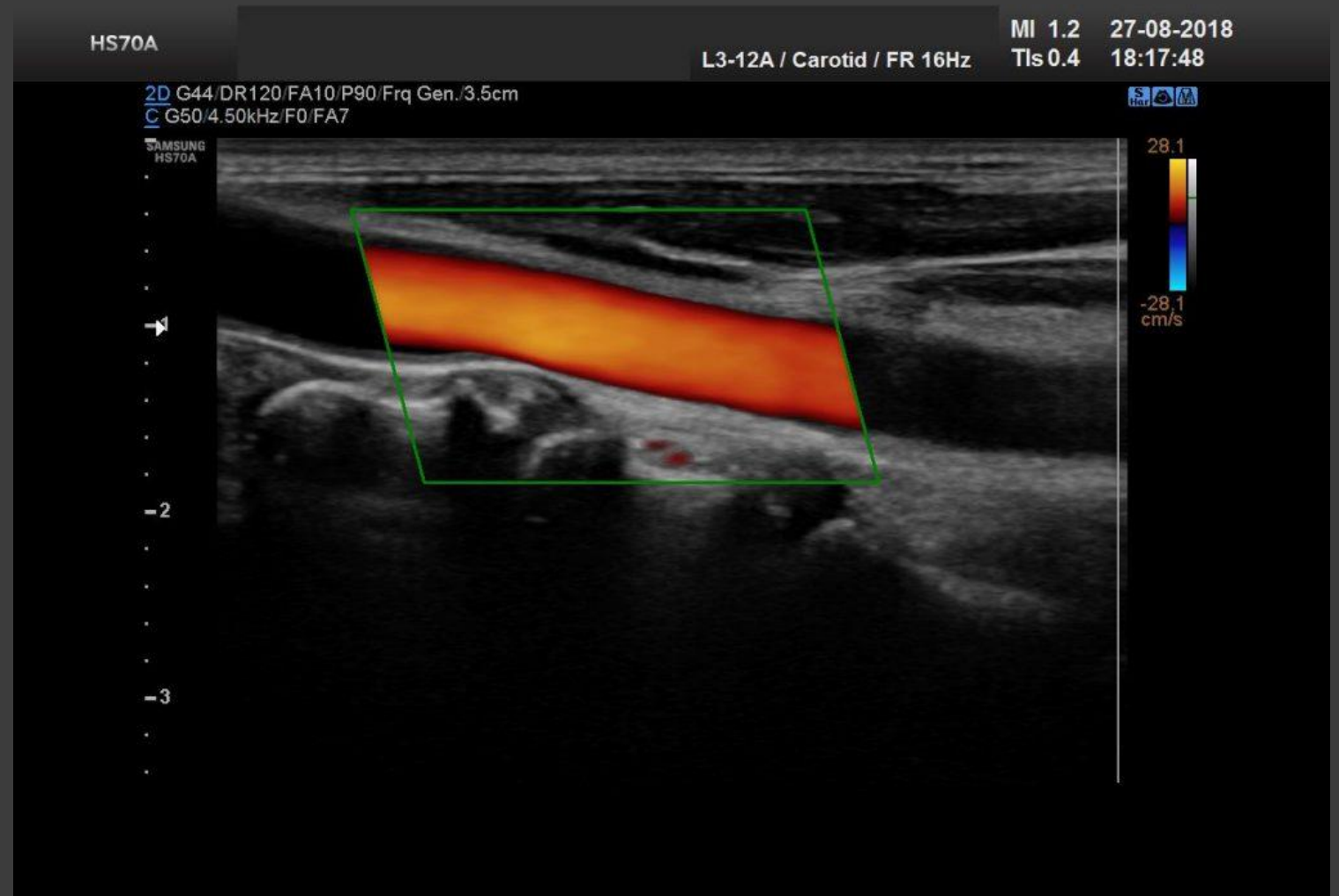


Imagem Médica

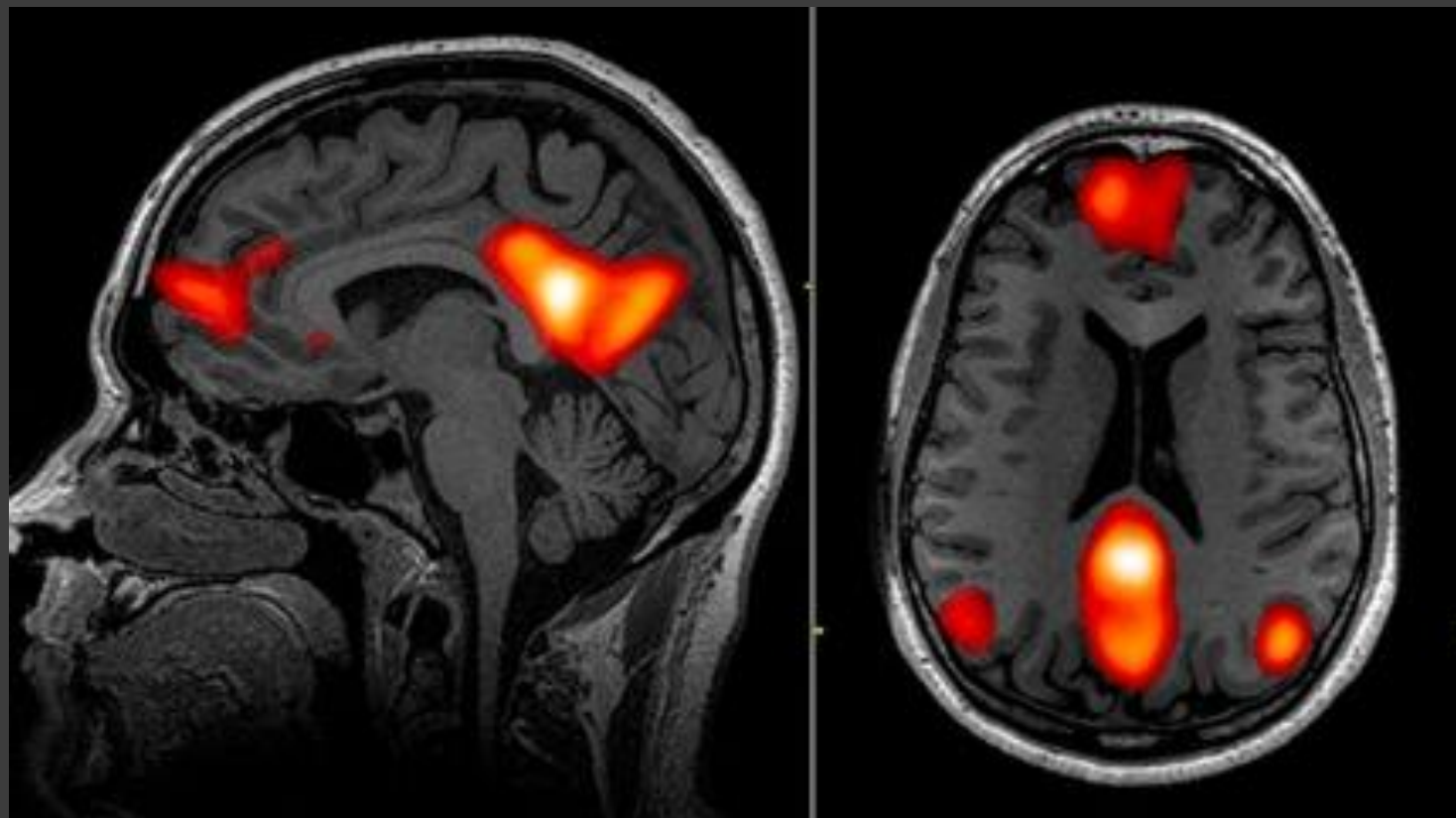
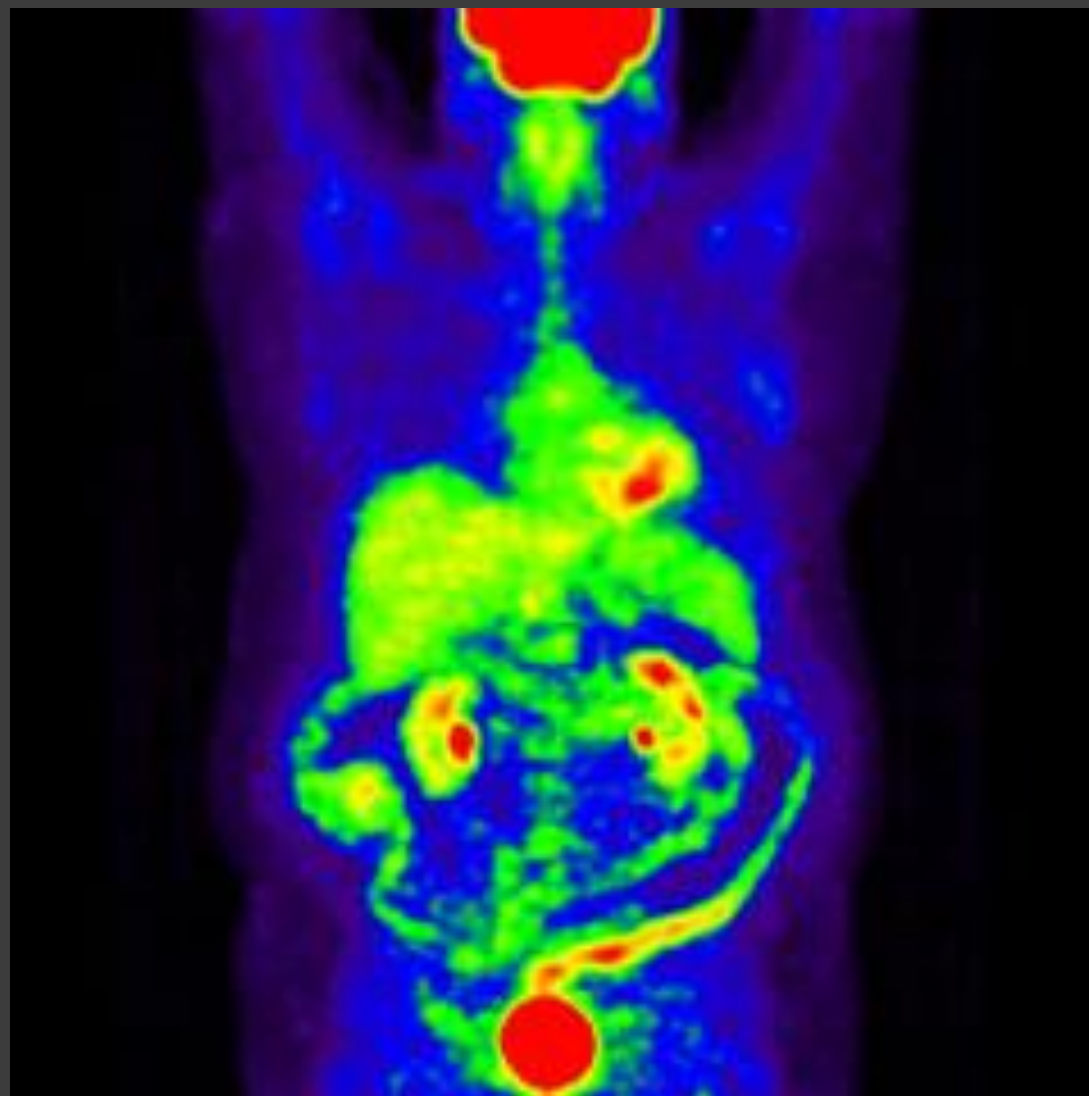
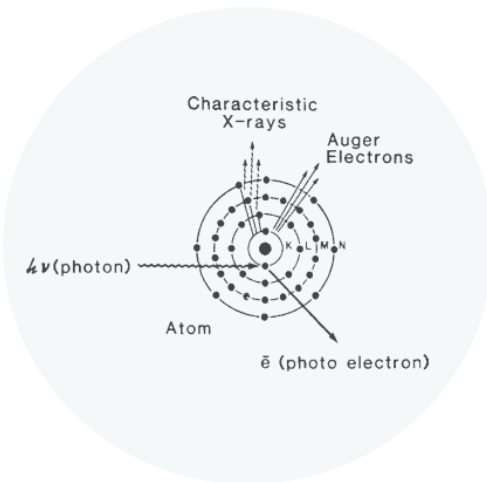


Imagem Médica



Conhecimentos a adquirir

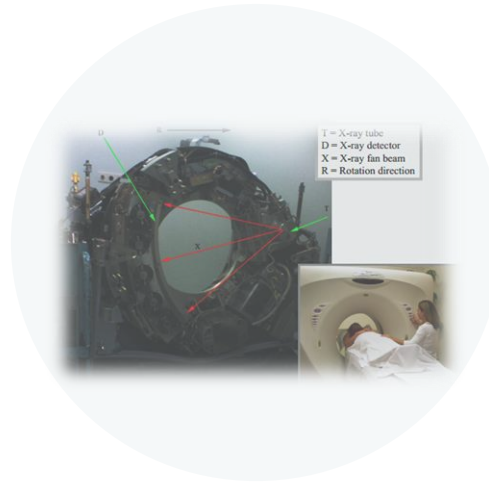
Relevância para o mundo de trabalho



Fundamentos

Base

Princípios físicos em que se baseiam os diferentes equipamentos de imagem médica.
Saber explicar o fundamento de cada um.
Compreender as principais características da imagem médica.



Funcionamento

Instrumentação

Instrumentação e parametrização dos principais equipamentos de imagem médica.
Conhecer os passos necessários para ajustar/parametrizar cada equipamento.



Aplicação

Finalidade

Principais aplicações de diagnóstico da imagiologia médica. Perceber quais as principais vantagens e desvantagens de cada tipo de imagem e equipamento em diferentes situações.

Programa

1

Introdução

Princípios gerais da imagiologia

2

Raios X

Radiografia e TC

3

Medicina nuclear

SPECT e PET

4

Ressonância magnética

MRI e fMRI

5

Ultrassons

Ecografia e ecodoppler

Introdução

Contexto Histórico

Princípios gerais de imagiologia

Características da imagem

Perspetiva temporal da imagem médica

1895

Descoberta dos raios X

Wilhelm Roentgen (prémio nobel da física)

1896

Descoberta da radioatividade

Antoine Henri Becquerel (prémio nobel da física em conjunto com Pierre e Marie Currie)

1946

Descoberta da ressonância magnética nuclear

Felix Bloch e Edward Mills Purcell (prémio nobel da física)

1953

Primeiro equipamento PET

Gordon Brownell e Charles Burnham

1955

Primeira aplicação de ultrassons para diagnóstico

Ian Donald

1963

Surgimento do SPECT

Kuhl e Edwards

1972

Primeiro equipamento TC

Godfrey Hounsfield (prémio nobel da fisiologia ou medicina com Allan Cormack)

1973

Primeiras imagens por RM

Paul Lauterbur (prémio nobel da fisiologia ou medicina com Peter Mansfield)

2000

PET/CT

David Townsend e Ronald Nutt (considerada a invenção médica do ano pela *Time Magazine*)

Técnicas de imagiologia mais utilizadas

Aspectos gerais

- Funcionamento
- Aplicação
- Risco para o paciente
- Custo

Raio-X

Radiografia Convencional

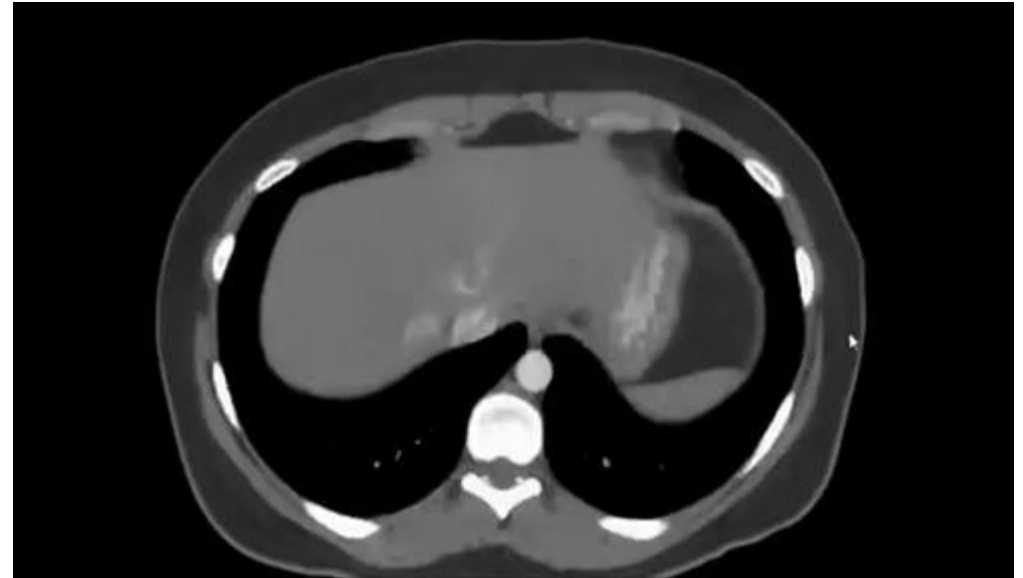
- Um feixe de raios X atravessa o corpo
- Objetos de elevada densidade aparecem a branco (ex: osso)
- Objetos de baixa densidade aparecem a preto/cinza (ex: pulmão)
- Radiação (+)
- Baixo custo
- Rápido



TC

Tomografia Computorizada

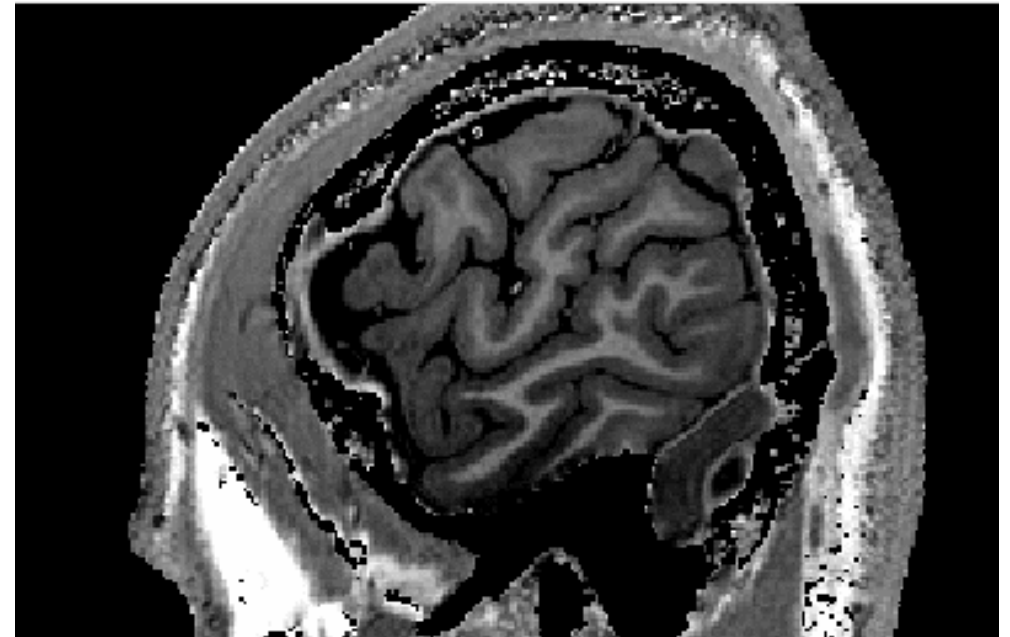
- Uma série de raios X transversais (imagem 3D)
- Permite uma imagem dos ossos, tecidos moles e sistema vascular em simultâneo
- Elevada densidade = branco; baixa densidade = preto
- Radiação (+++)
- Custo (++)
- Pode ser feito com contraste



RM

Imagem por Ressonância Magnética

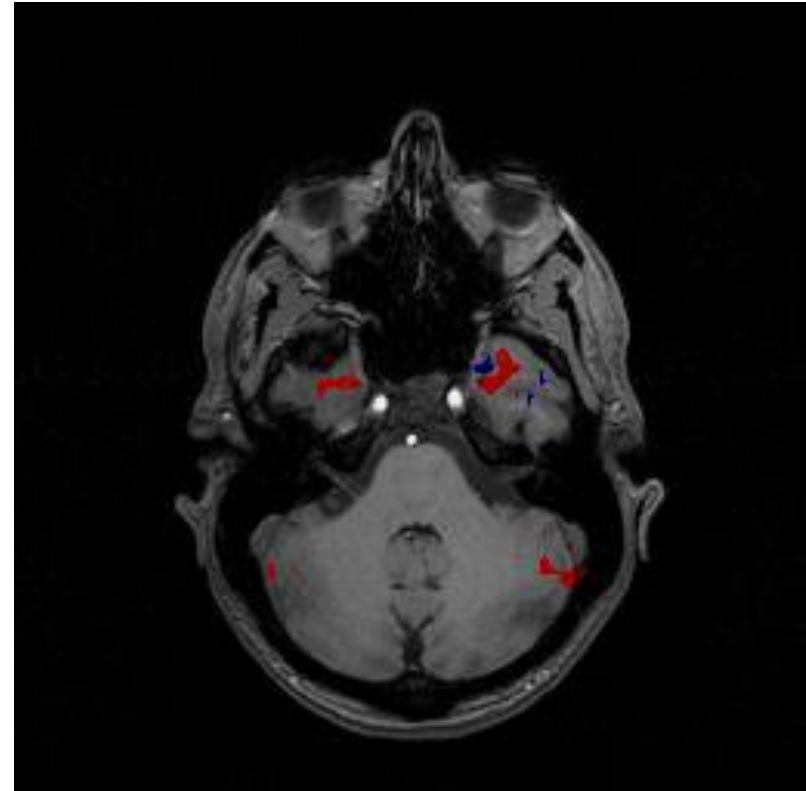
- Usa campos magnéticos fortes e ondas de rádio para gerar imagens (3D)
- Permite uma imagem pormenorizada do cérebro, tecidos moles e medula
- Diferentes sequências de pulso de RF evidenciam diferentes tecidos
- Não usa radiação ionizante
- Custo (++++)
- Pode ser feito com contraste
- Pode ser estrutural e/ou funcional



RM

Imagem por Ressonância Magnética

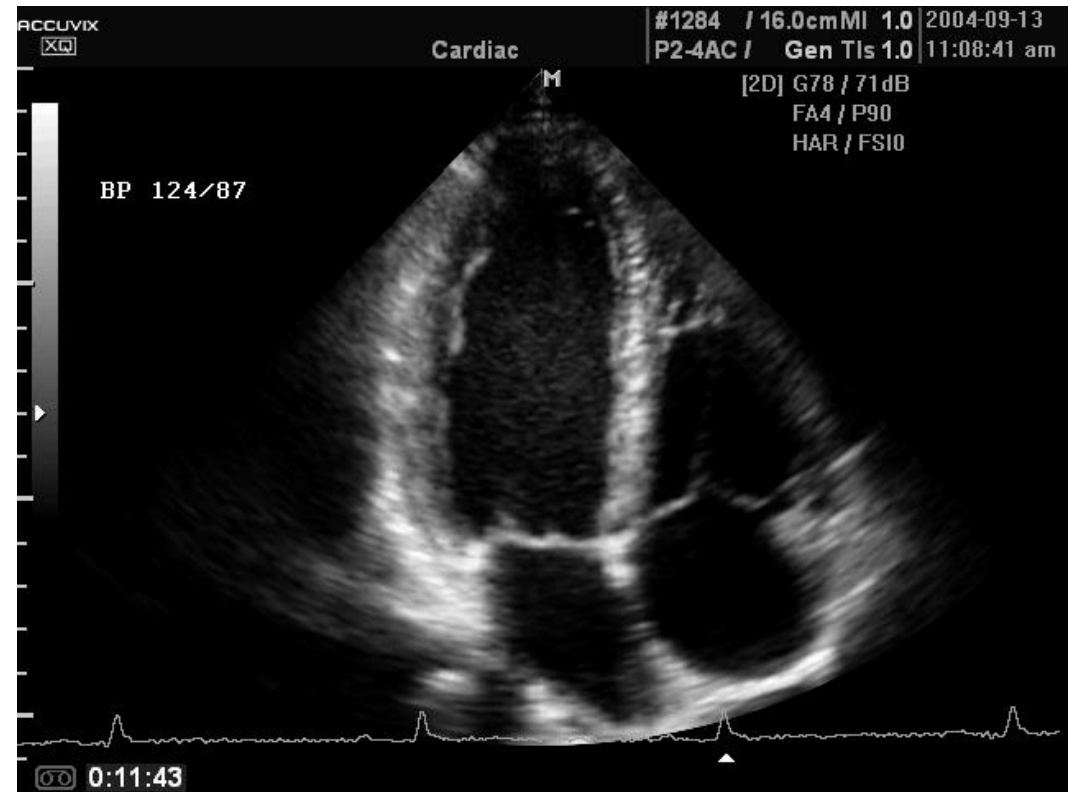
- Usa campos magnéticos fortes e ondas de rádio para gerar imagens (3D)
- Permite uma imagem pormenorizada do cérebro, tecidos moles e medula
- Diferentes sequências de pulso de RF evidenciam diferentes tecidos
- Não usa radiação ionizante
- Custo (++++)
- Pode ser feito com contraste
- Pode ser estrutural e/ou funcional



Ultrassons

Ecografia e Ecodoppler

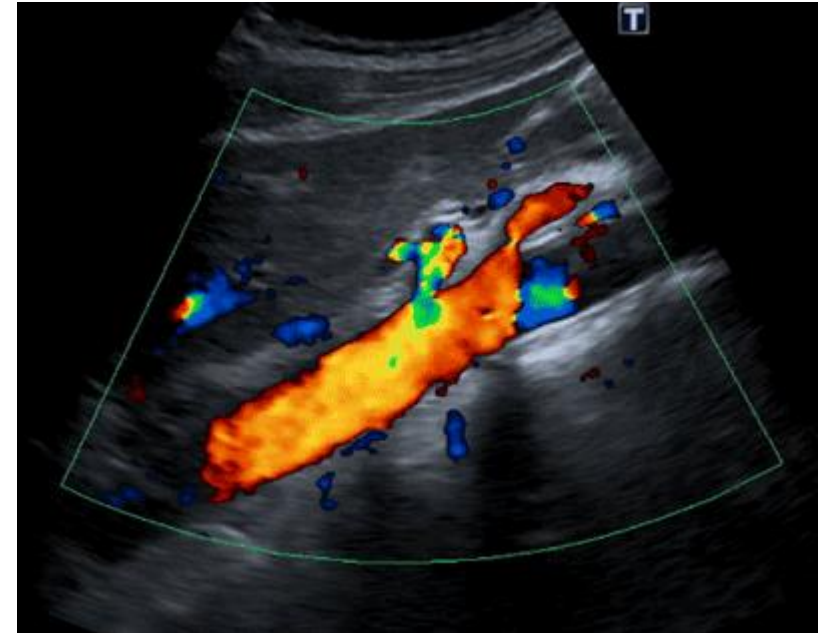
- Utiliza o eco gerado através de ondas ultrassônicas de alta frequência para visualizar, em tempo real, as estruturas internas do organismo
- Pode avaliar aspectos funcionais
- Por meio de um ecodoppler é possível analisar o fluxo sanguíneo nos principais vasos
- Não usa radiação
- Baixo custo
- Rápido



Ultrassons

Ecografia e Ecodoppler

- Utiliza o eco gerado através de ondas ultrassónicas de alta frequência para visualizar, em tempo real, as estruturas internas do organismo
- Pode avaliar aspetos funcionais
- Por meio de um ecodoppler é possível analisar o fluxo sanguíneo nos principais vasos
- Não usa radiação
- Baixo custo
- Rápido

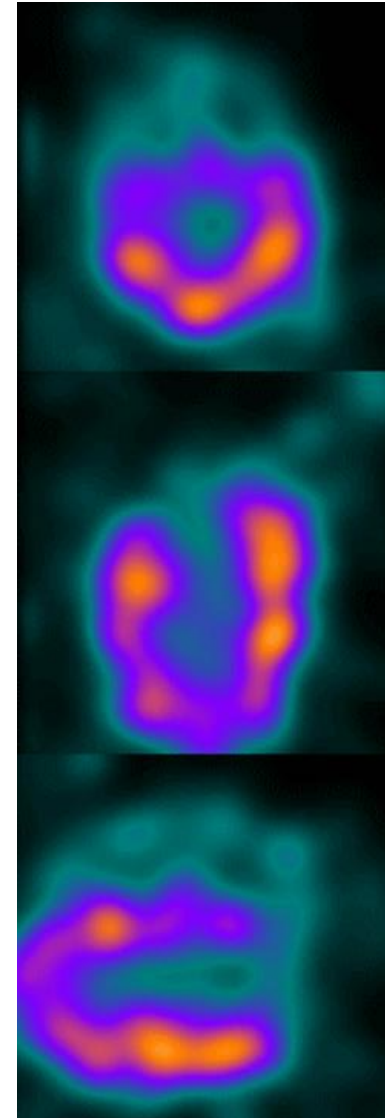


SPECT

Tomografia computadorizada por emissão de fóton único

Single photon emission computed tomography

- Utiliza radionuclídeos emissores de radiação gama
- Natureza essencialmente funcional (específica)
- Importante na deteção e diagnóstico de perturbações metabólicas que precedem as alterações estruturais na evolução de processos patológicos
- Risco para o paciente: radioatividade; possível reação alérgica
- Custo elevado (+)



PET

Tomografia por emissão de positrões
Positron emission tomography

- Utiliza radionuclídeos emissores de positrões
- Natureza essencialmente funcional (específica)
- Elevada sensibilidade e resolução
- Importante na deteção e diagnóstico de perturbações metabólicas que precedem as alterações estruturais na evolução de processos patológicos
- Risco para o paciente: radioatividade; possível reação alérgica
- Custo elevado (+++)

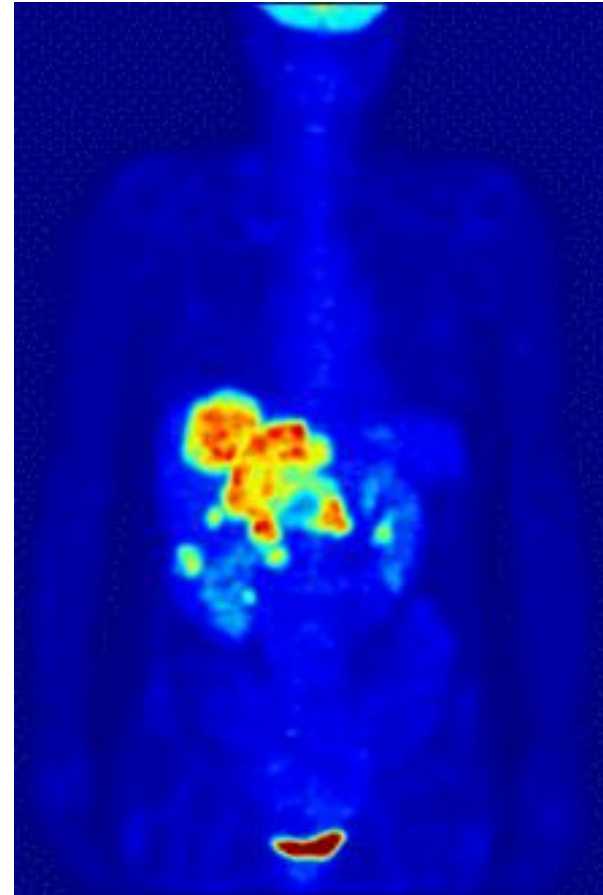


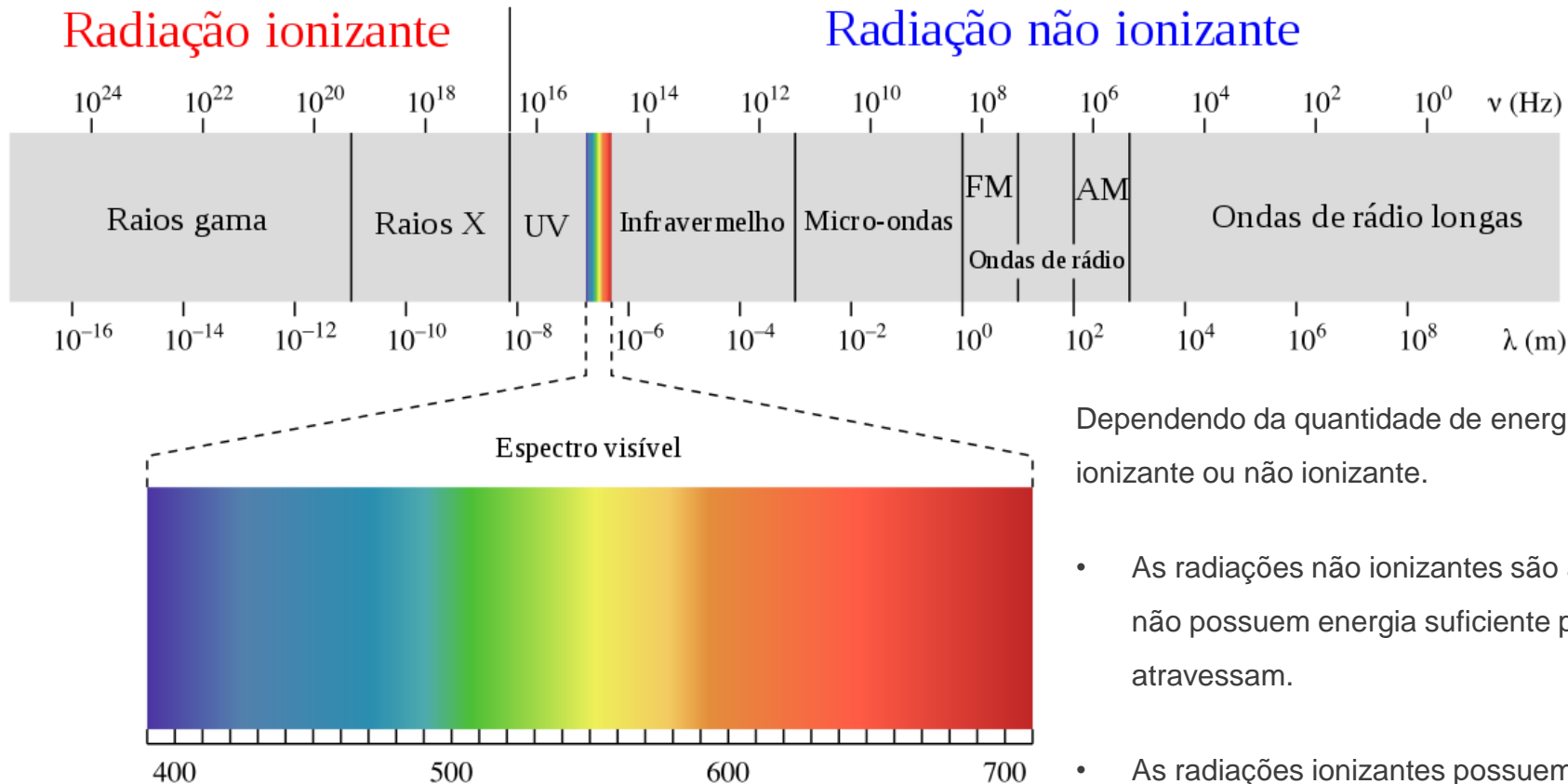
Imagem Médica

Aspectos classificativos

- Presença e tipo de radiação
- Processo físico avaliado
- Tipo de informação fornecida
- Dimensão

Classificação da Imagem Médica

Tipo de radiação

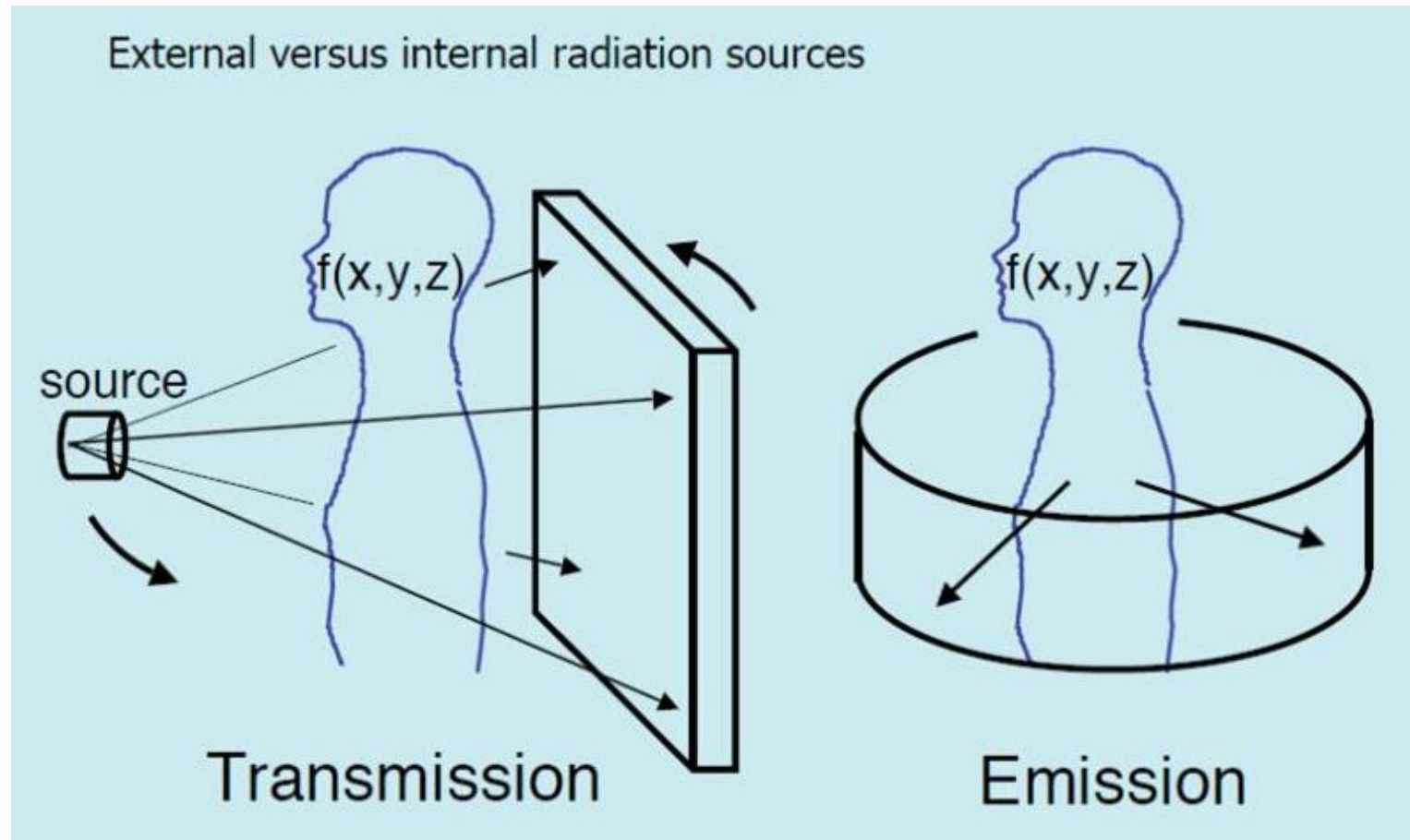


Dependendo da quantidade de energia a radiação pode ser classificada como ionizante ou não ionizante.

- As radiações não ionizantes são as que não produzem ionizações, ou seja, não possuem energia suficiente para libertar elétrons dos átomos do meio que atravessam.
- As radiações ionizantes possuem energia suficiente para ionizar átomos e moléculas, ou seja, podem alterar o estado físico de um átomo e causar a perda de elétrons, tornando-os eletricamente carregados.

Classificação da Imagem Médica

Imagiologia de transmissão vs. imagiologia de emissão



- Fonte de radiação externa vs. fonte de radiação interna.
- Medição da atenuação da radiação nos diferentes tecidos vs. medição da emissão pelos diferentes órgãos/partes do corpo (medicina nuclear).
- Radiografia e TC vs. medicina nuclear.

Classificação da Imagem Médica

Informação

Radiografia (raio-X)



TAC (CT)



Ressonância (MRI)



Ecografia (ultrassonografia)

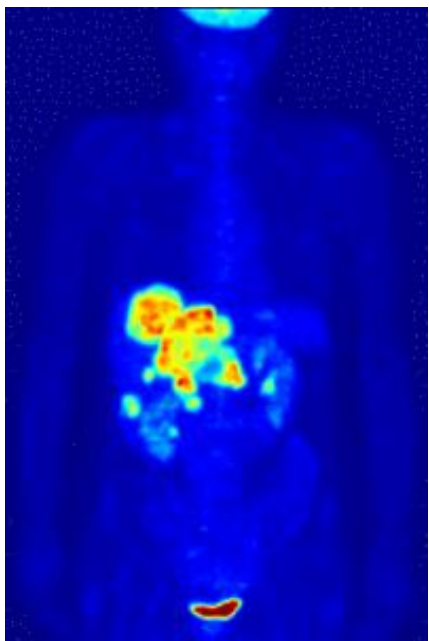


Morfológica ou estrutural: revela as estruturas/anatomia

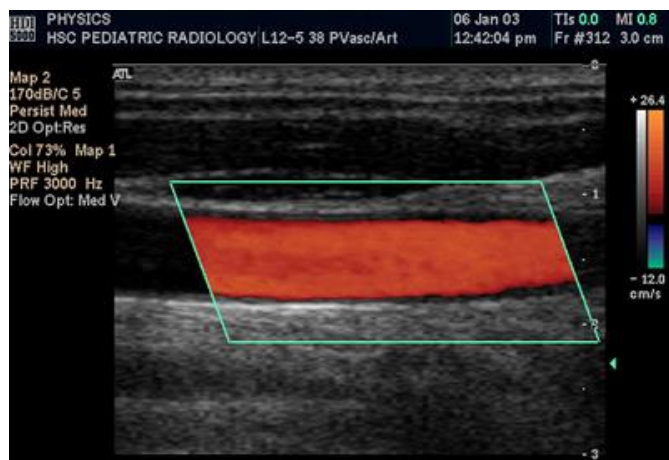
Classificação da Imagem Médica

Informação

PET/SPECT
(absorção de diversas
substâncias)



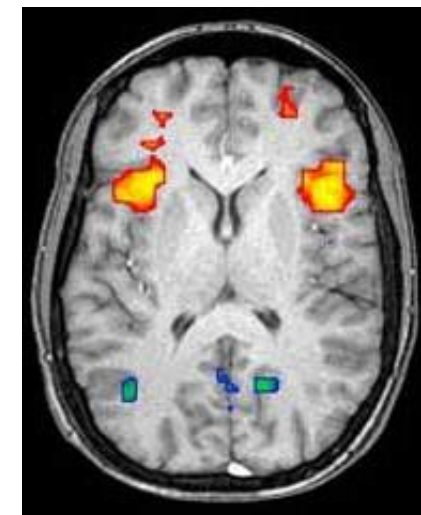
Ecodoppler
(velocidade dos fluidos)



Ecografia (movimento dos tecidos
em tempo real)



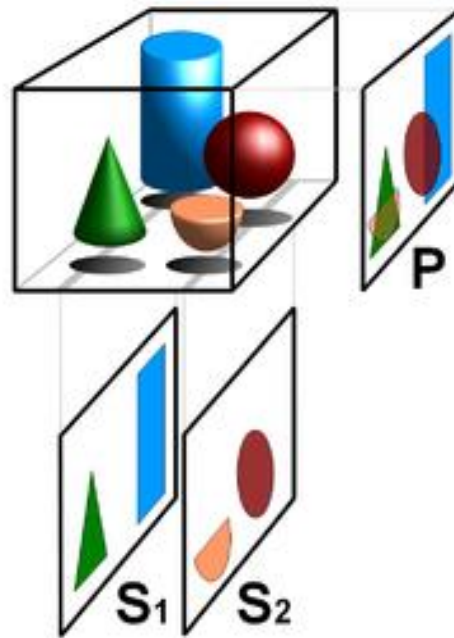
fMRI (oxigenação)



Funcional: revela informação sobre a função

Classificação da Imagem Médica

Dimensão



Projetiva

Tomográfica (permite reconstruir o volume)

Classificação da Imagem Médica

		Tipo de Radiação			Natureza da Radiação		Processo Físico				Tipo de informação		Dimensão	
		Raios X	Gama	RF	Ionizante	Não Ionizante	Transmissão	Emissão	Propagação	Ressonância	Estrutural	Funcional	Projetiva	Tomográfica
Equipamento	Raio-X													
	TAC													
	PET													
	SPECT													
	Ecografia													
	Ecodoppler													
	MRI													
	fMRI													

Classificação da Imagem Médica

		Tipo de Radiação			Natureza da Radiação		Processo Físico				Tipo de informação		Dimensão	
		Raios X	Gama	RF	Ionizante	Não Ionizante	Transmissão	Emissão	Propagação	Ressonância	Estrutural	Funcional	Projetiva	Tomográfica
Equipamento	Raio-X	x			x		x				x		x	
	TAC	x			x		x				x			x
	PET		x		x			x				x		x
	SPECT		x		x			x				x		x
	Ecografia								x		x	x	x	
	Ecodoppler								x			x	x	
	MRI			x		x				x	x			x
	fMRI			x		x				x		x		x

Aplicações da Imagem Médica

**Tenha em conta os diferentes aspetos classificativos de cada equipamento de imagem*

Caso clínico	Raio-X	TC	Ecografia	RM
Vigilância da gravidez (desenvolvimento fetal)				
Estudo de neoplasia (cancro) da mama				
Suspeita de cálculo renal				
Vigilância da massa cerebral				
Estudo de traumatismo crânio-encefálico				
Suspeita de acidente vascular cerebral (AVC)				
Diagnóstico de fratura da tíbia				
Suspeita de rutura de ligamentos				

Aplicações da Imagem Médica

**Tenha em conta os diferentes aspetos classificativos de cada equipamento de imagem*

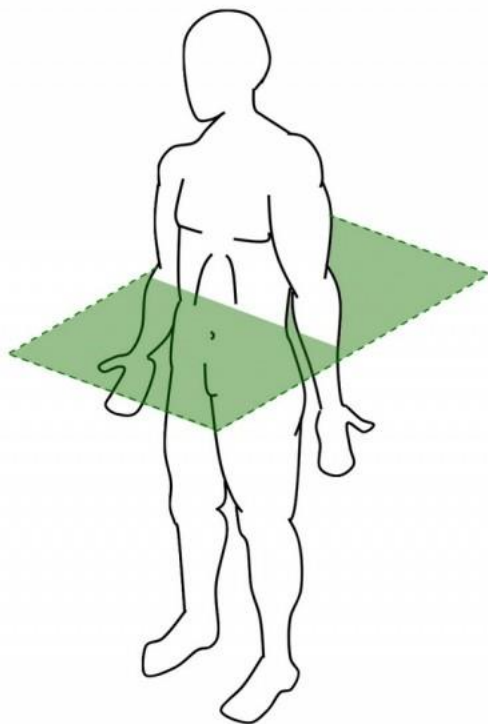
Caso clínico	Raio-X	TC	Ecografia	RM
Vigilância da gravidez (desenvolvimento fetal)			X	
Estudo de neoplasia (cancro) da mama	X		X	
Suspeita de cálculo renal	X	X	X	
Vigilância da massa cerebral				X
Estudo de traumatismo crânio-encefálico		X		
Suspeita de acidente vascular cerebral (AVC)		X		
Diagnóstico de fratura da tíbia	X			
Suspeita de rutura de ligamentos				X

Imagem Médica

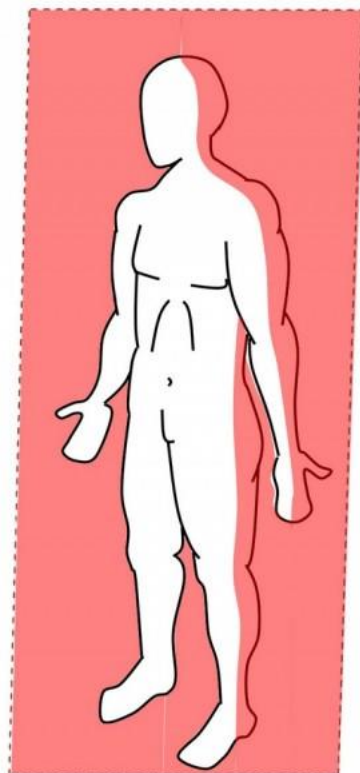
Características

- Resolução espacial
- Resolução temporal
- Contraste
- Relação sinal-ruído
- Relação contraste-ruído

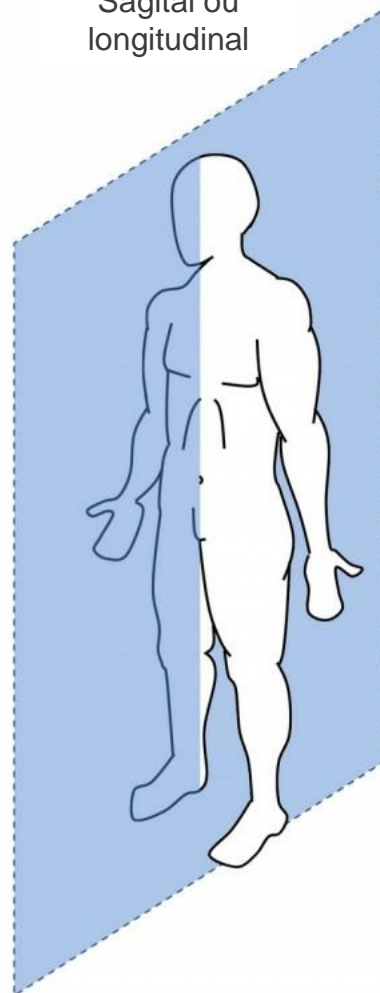
Transversal ou
axial



Frontal ou
coronal



Sagital ou
longitudinal



Orientação

As imagens médicas são adquiridas/analizadas em diferentes planos em relação à posição corporal.

Estes planos seguem orientações standard permitindo uma linguagem independente do equipamento ou profissional.

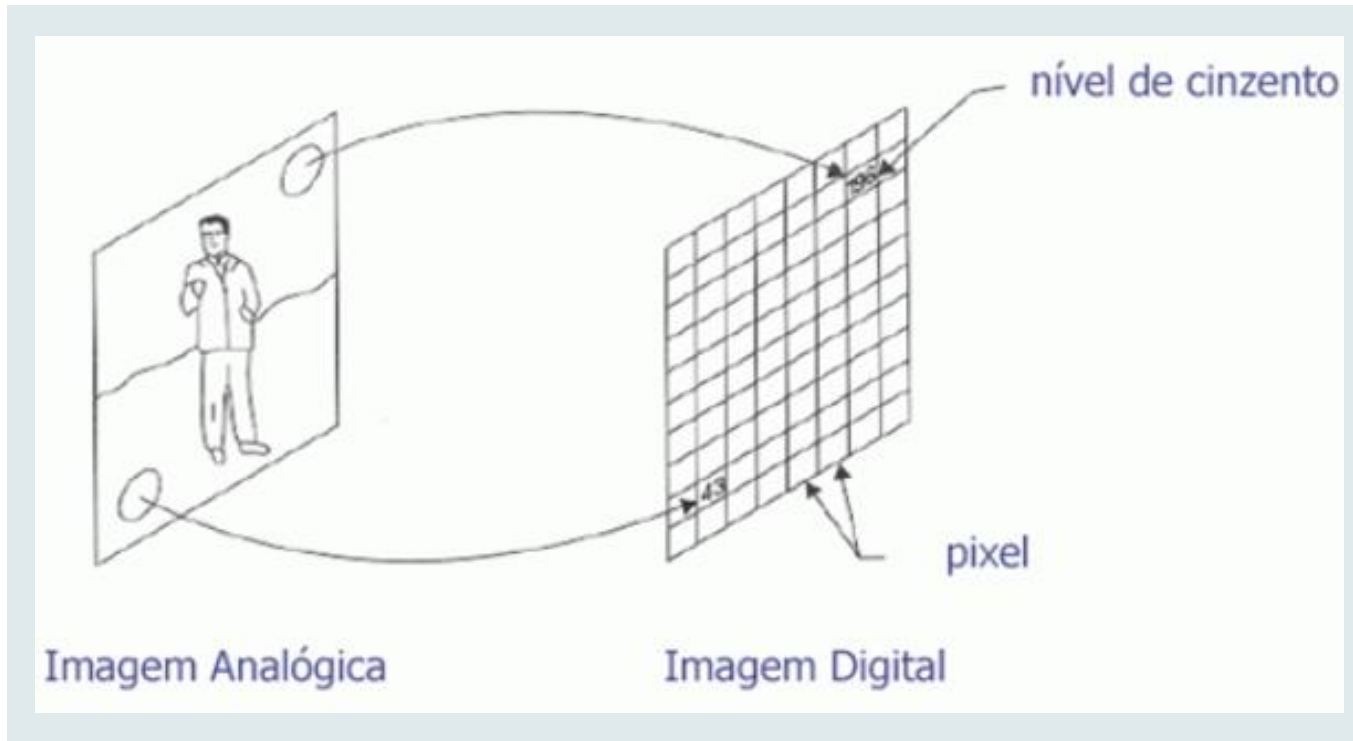


Imagem
analógica vs.
digital

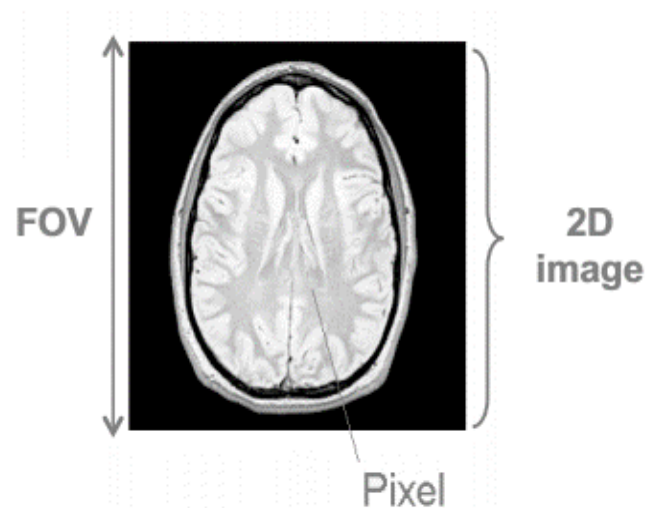
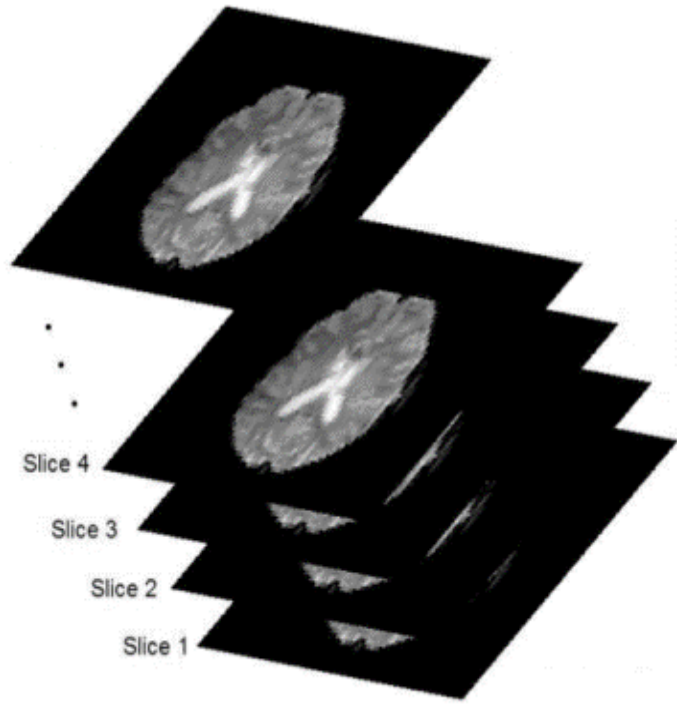
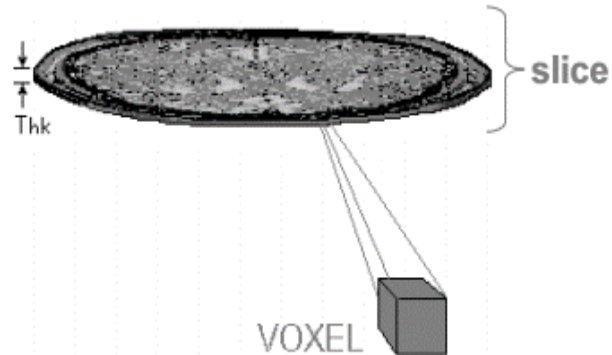
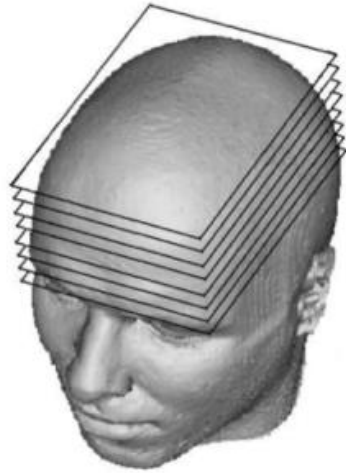


Imagem 3D

Corte ou fatia (*slice*)

Volume

Voxel vs. pixel

FOV (*field-of-view* ou campo de visão)

Espessura da fatia (*thickness*)

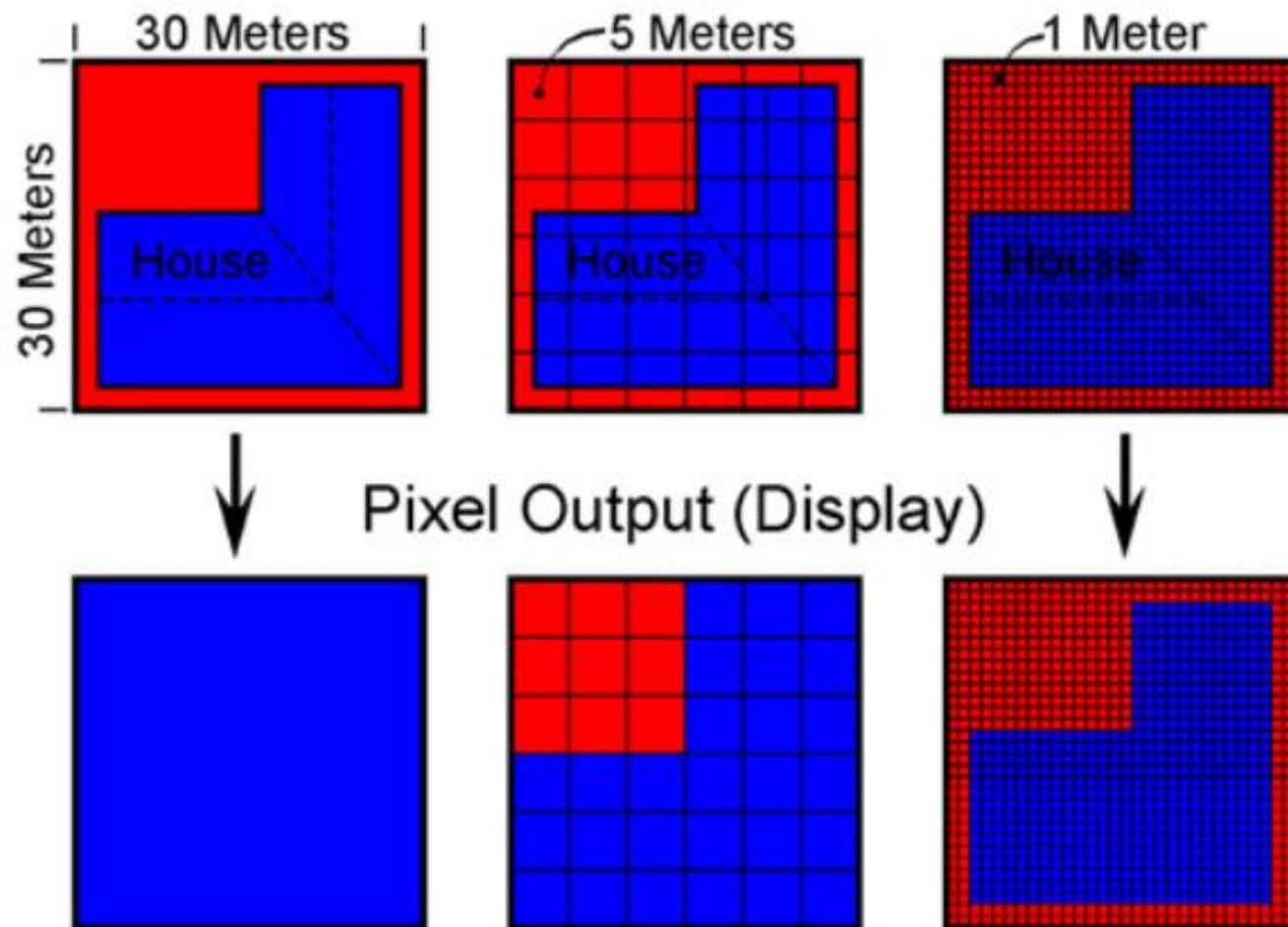


Resolução espacial

Distância mínima entre dois pontos numa imagem.

É aproximadamente igual ao tamanho do pixel (quando a resolução do ecrã é igual à resolução espacial do equipamento).

Depende não só do equipamento utilizado, mas também dos parâmetros de aquisição.

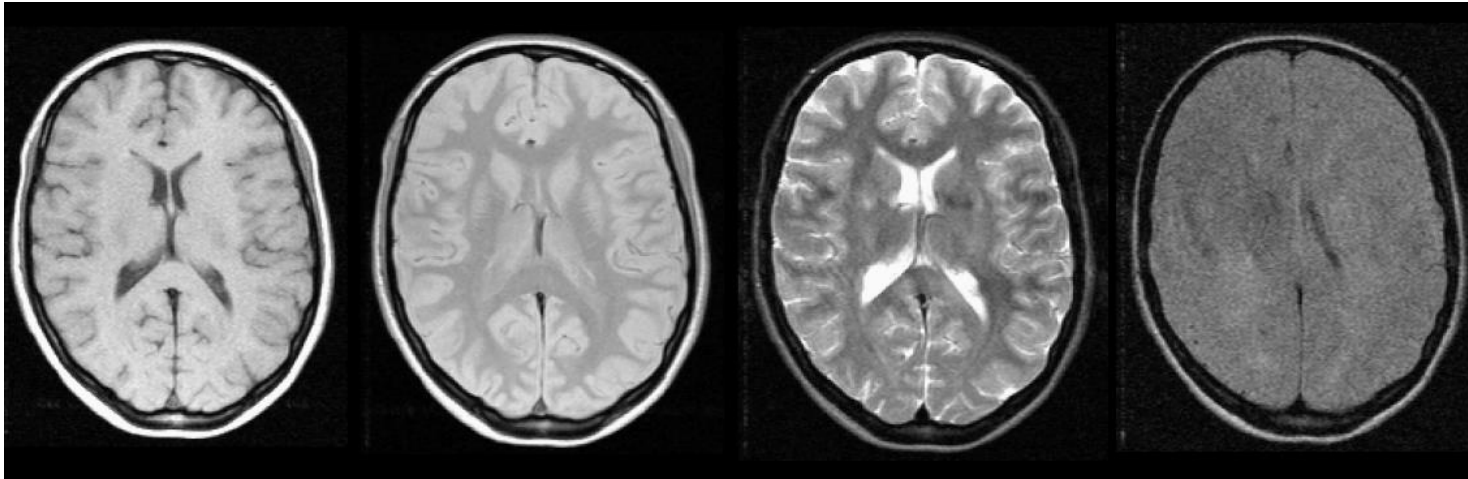


Resolução espacial

Distância mínima entre dois pontos numa imagem.

É aproximadamente igual ao tamanho do pixel (quando a resolução do ecrã é igual à resolução espacial do equipamento).

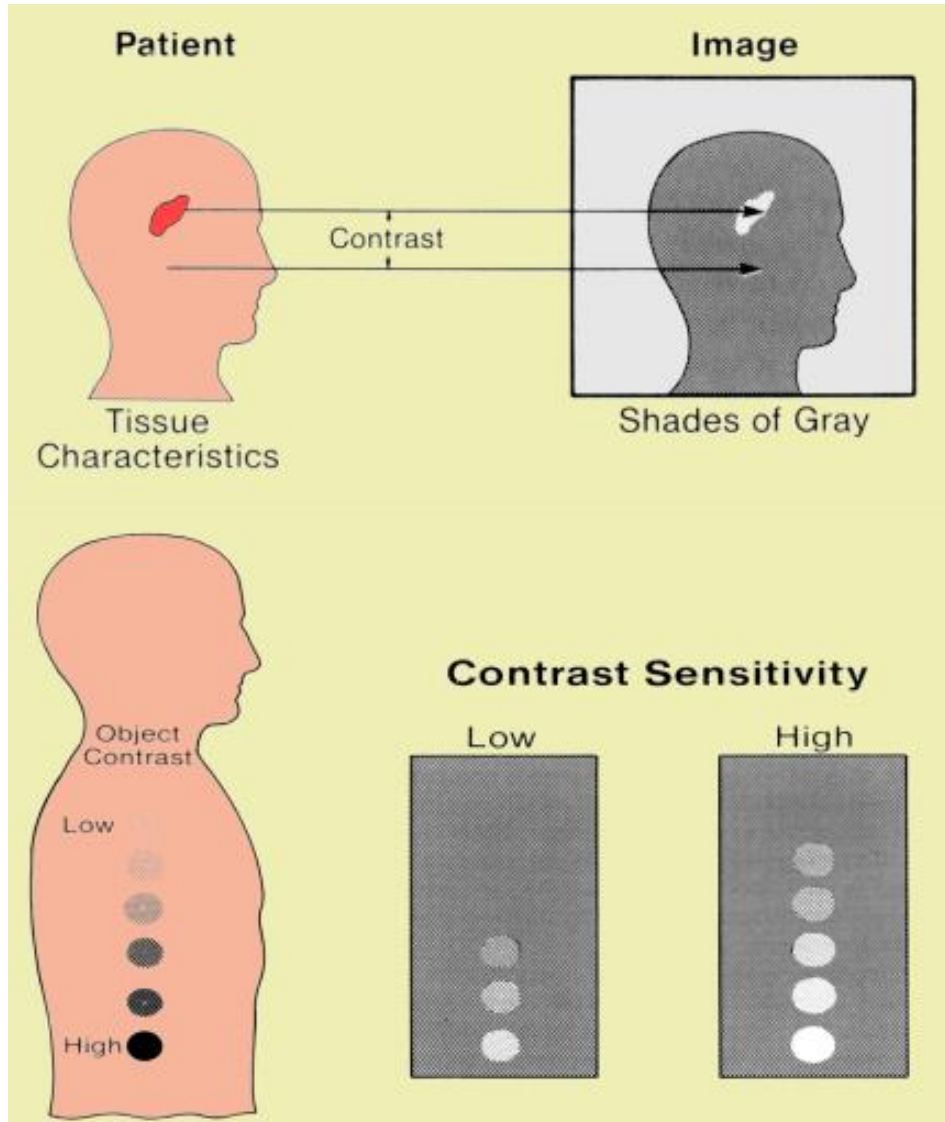
Depende não só do equipamento utilizado, mas também dos parâmetros de aquisição.



Contraste

Diferença na intensidade da imagem que permite a distinção entre dois objetos ou entre um objeto e o ruído de fundo.

Depende das características do tecido a analisar e do equipamento de aquisição.



Contraste

Diferença na intensidade da imagem que permite a distinção entre dois objetos ou entre um objeto e o ruído de fundo.

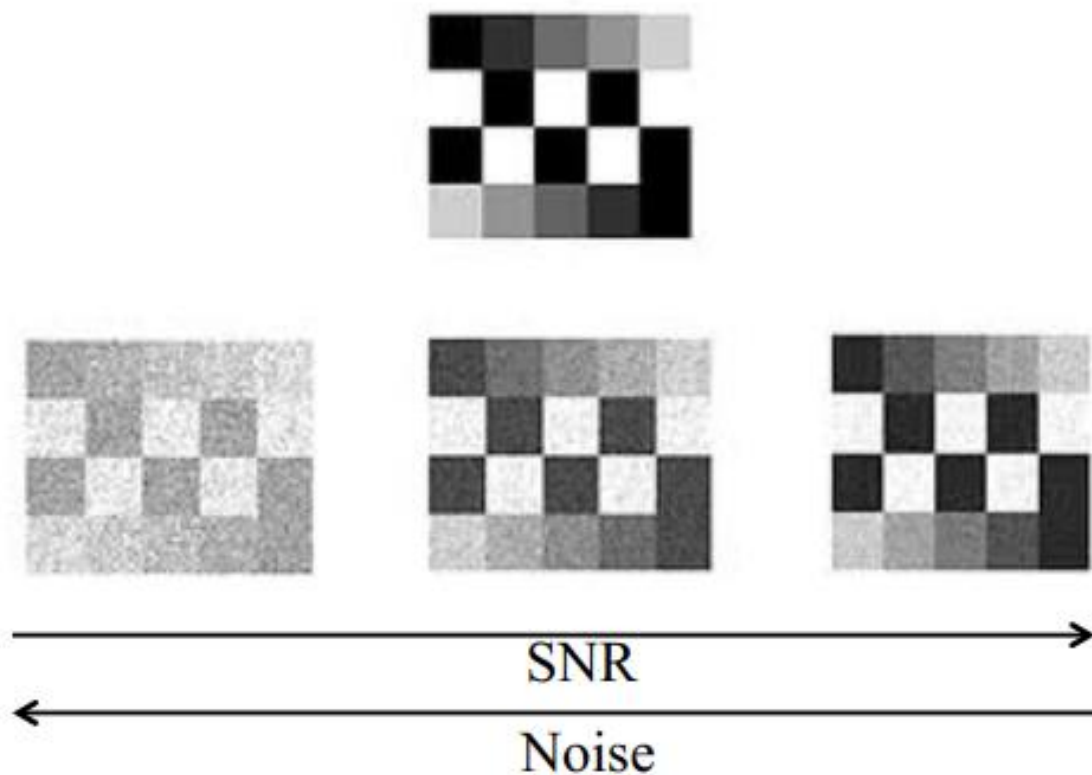
Depende das características do tecido a analisar e do equipamento de aquisição.

Em geral o processo imagiológico, qualquer que seja, não reproduz fielmente o objeto. Introduz-se sempre ruído, perda de definição e/ou distorção geométrica. Estes efeitos podem ou não dificultar/impedir o fim em vista.

→ A quantidade relevante de ruído caracteriza-se pela relação sinal-ruído (SNR) e outras quantidades associadas.

→ A perda de definição caracteriza-se pela função de espalhamento do ponto (PSF) e outras quantidades associadas.

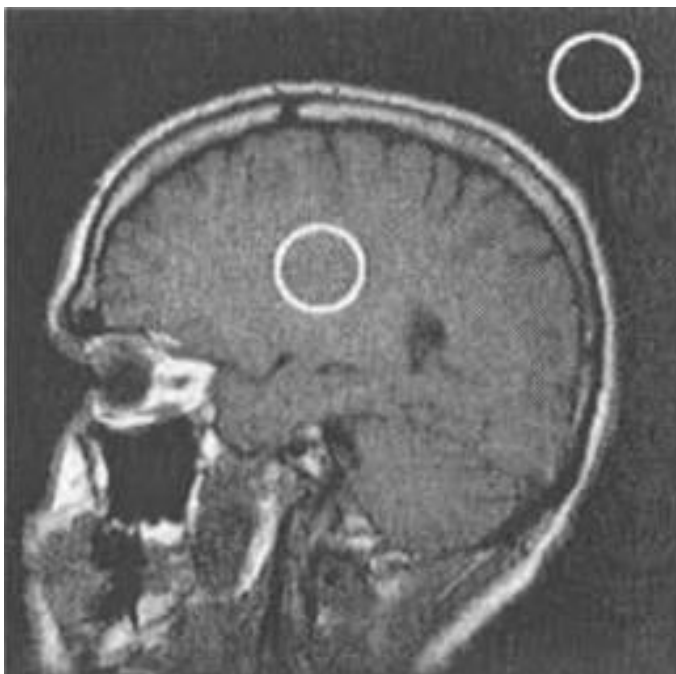
→ Não existe uma medida global para avaliar a distorção geométrica.



Relação sinal-ruído

SNR: *Signal to Noise Ratio*

Traduz a precisão com que o sinal foi medido e a quantidade relevante de ruído numa imagem.



$$SNR = \frac{\mu}{\sigma}$$

$$SNR = \sqrt{\mu}$$

Relação sinal-ruído

Em imagem médica é calculada como a razão entre o valor médio do sinal e o desvio padrão da medida.

Pode variar muito em diferentes pontos da imagem.

Alguns processos, como a imagiologia de emissão, são afetados pela estatística de contagem, que segue uma distribuição de *Poisson*. Para estes casos o SNR equivale à raiz da média do sinal.



Relação Contraste-Ruído

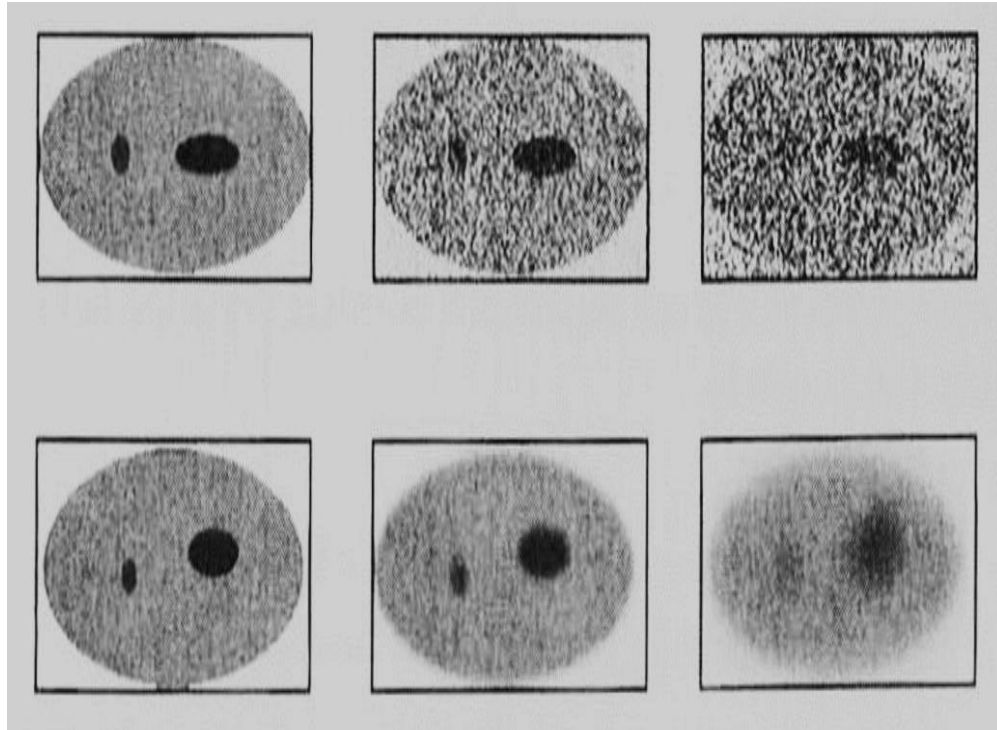
CNR: *Contrast to Noise Ratio*

É a razão entre a diferença de sinal entre regiões adjacentes que se pretendem distinguir e o desvio padrão da medida.

Para discriminar duas regiões/sinais não precisamos apenas de um bom SNR.

O CNR permite estimar a precisão com que podemos discriminar duas regiões de interesse.

$$C = \frac{|S_A - S_B|}{\sigma_o}$$



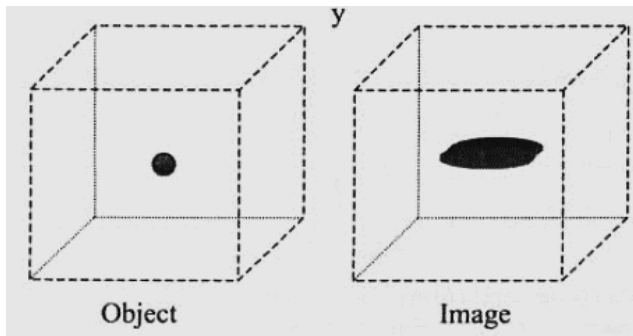
Relação Contraste-Ruído

CNR: *Contrast to Noise Ratio*

O reconhecimento de objetos de pequenas dimensões é bastante afetado pelo ruído.

No entanto, também sofre se a imagem perder resolução.

$$C = \frac{|S_A - S_B|}{\sigma_o}$$



Função de espalhamento do ponto

PSF: *Point Spread Function*

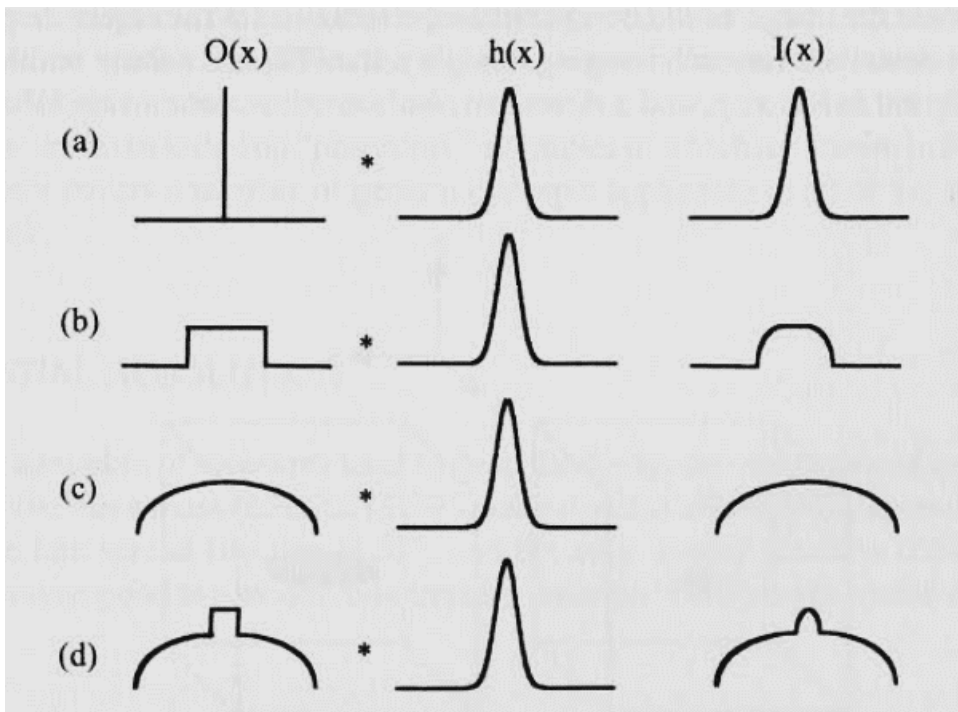
Perda de definição de um objeto quando traduzido numa imagem.

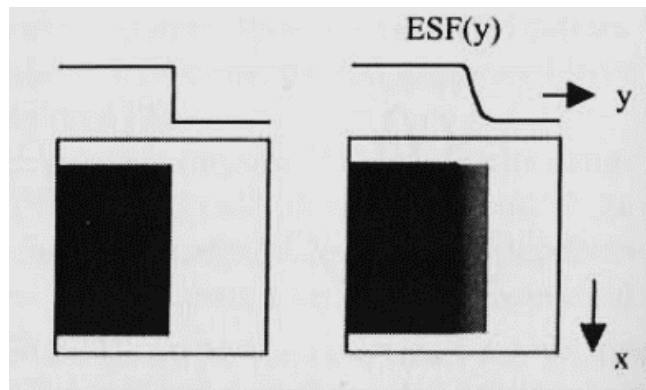
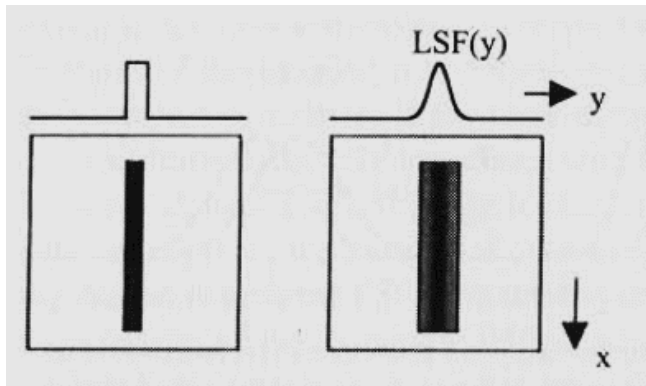
Só depende do sistema e não do objeto.

Se $O(x,y,z)$ for o objeto que se pretende visualizar, $I(x,y,z)$ a imagem recolhida e $h(x,y,z)$ a PSF existe a relação

$$I = O \otimes h$$

onde \otimes é a operação matemática de convolução.





Funções de espalhamento da linha e da aresta

LSF: *Line Spread Function*

ESF: *Edge Spread Function*

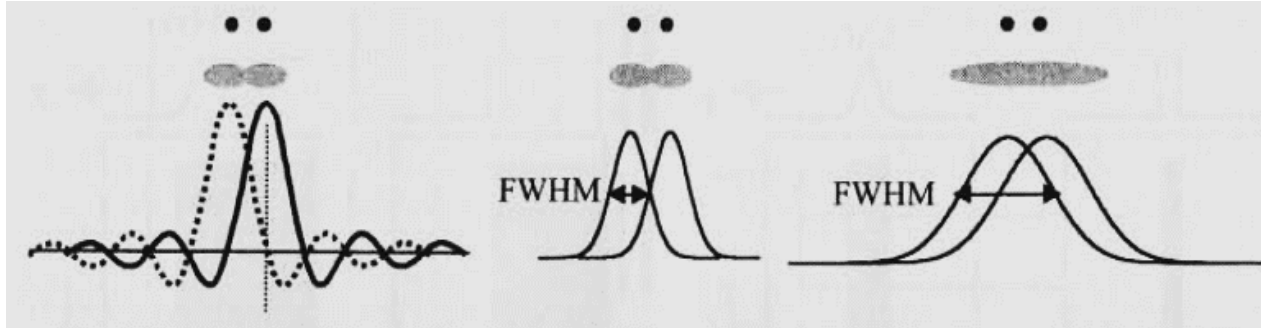
$$LSF(y) = \int h(x, y) dx$$

$$ESF = LSF \otimes \Pi$$

$$h = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right)}$$

$$LSF(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}}$$

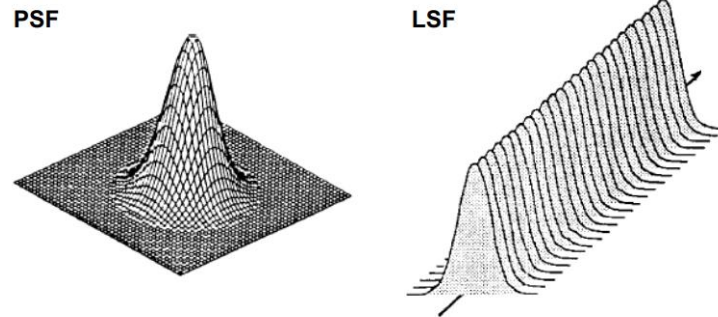
Se a imagem for em 2 dimensões é comum especificar a LSF e a ESF (menos frequente).



Cálculo da resolução da imagem

Se a PSF for uma gaussiana (modelação mais comum):

$$FWHM = 2.36 \sigma$$



A resolução da imagem (resolução espacial) é a menor distância a que se podem distinguir na imagem objetos distintos.

Convencionalmente, a resolução espacial é igual à largura total a meia altura (FWHM) da PSF (ou da LSF no caso de se tratar de linhas).

Resolução ~ FWHM (2D)

Resolução ~ FWHM em cada direção (3D)

Características da Imagem Médica

**Tenha em conta os aspetos de qualidade de cada equipamento de imagem*

Considere uma tomografia computadorizada com FOV horizontal de 40 cm e uma matriz de aquisição de 512x512. Qual o tamanho do pixel?

Em imagiologia a largura total a meia altura da função de espalhamento do ponto é uma medida de que característica da imagem?

Uma região uniforme de uma imagem tem valor médio de sinal de 0.1 unidades e uma variância de 0.0025 unidades. Qual é a relação sinal-ruído nesta região?

Até sexta!

*Bibliografia disponível na plataforma