

O que sabemos sobre ultra-som?

☞ Tipo de energia?

☞ Tipo de interação com o corpo humano?

☞ Alguma semelhança com radar?

☞ Invasivo?

☞ Ionizante?

☞ Projeção?

☞ Vantagens/Desvantagens/Limitações?

Devemos então abordar:

Como funciona?

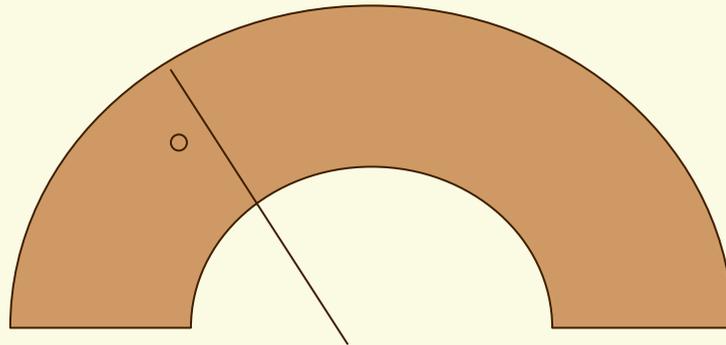
- Princípios físicos
- Sensores/transdutores

Limitações técnicas

Vantagens/desvantagens

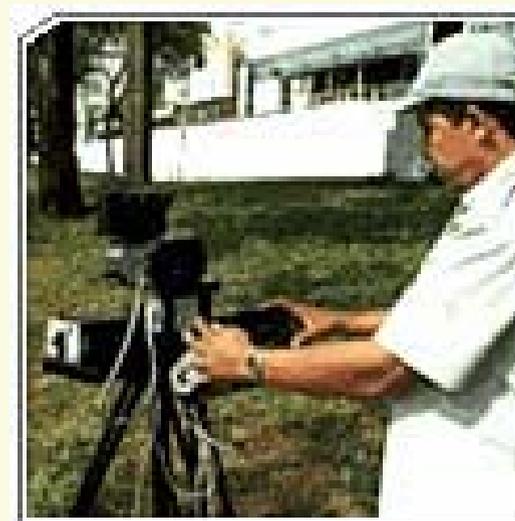
Aplicações clínicas

Radare em aeroportos, submarinos..



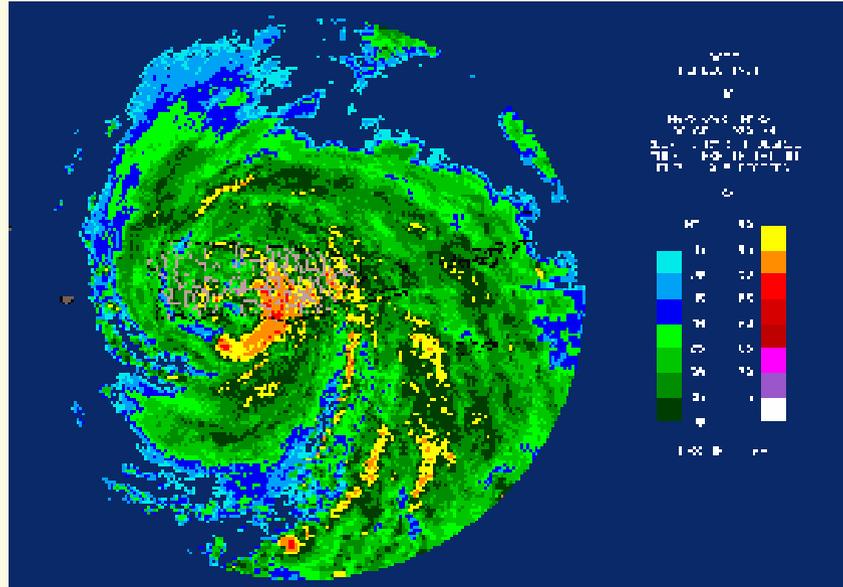
presença de objetos e morfologia

Radars no trânsito



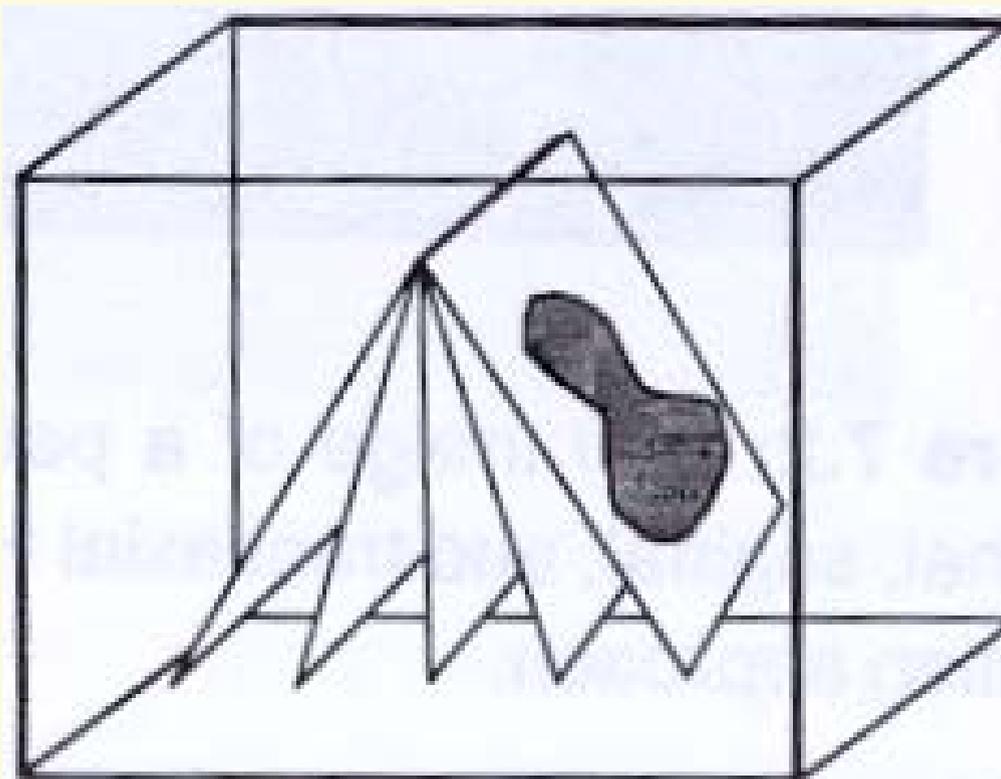
velocidade, movimento => como?

Radar meteorológico



- É tomográfico?
- morfologia e velocidade

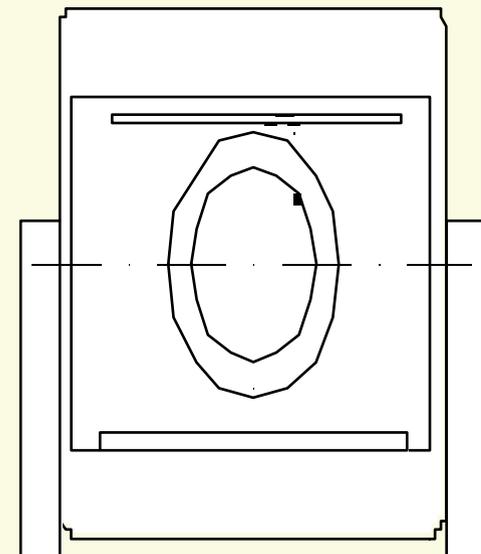
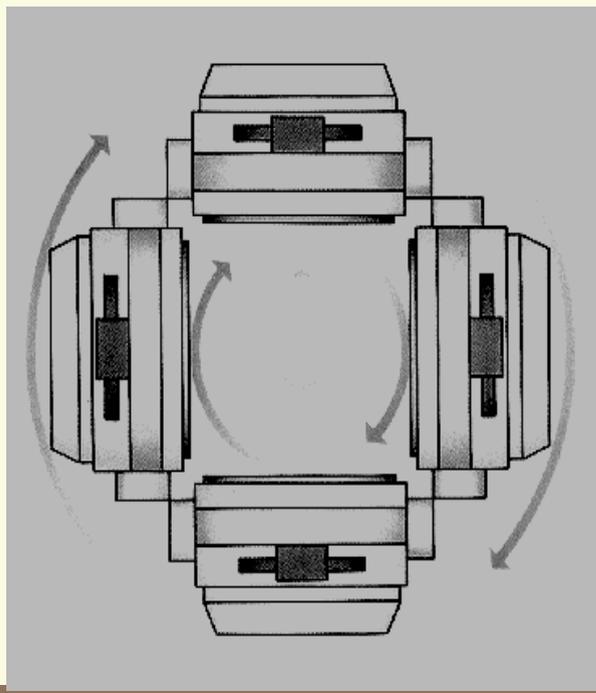
Corte tomográfico por reflexão



Ultra-som versus CT

Reconstrução tomográfica a partir das projeções

- CT, Spiral CT, fastCT
- SPECT
- PET



Ultra-som

- ☐ Custo/benefício muito bom
- + Energia utilizada não é ionizante
- + Exames não são invasivos
- + Inerentemente tomográfico: dinâmica
- + Exames realizados pelos próprios médicos especialistas.
- Ruído do tipo speckle (interferência de ondas)
- Informações “não” são metabólicas/funcionais

Som

 **Som** = ondas mecânicas longitudinais de compressão e rarefação do meio, com frequências entre 20 Hz e 20 kHz, capazes de sensibilizar o sistema auditivo humano.

- Humanos - 20 Hz ~ 20 kHz
- Cães - 15 Hz ~ 50 kHz
- Golfinhos - 150 Hz ~ 150 kHz
- Morcegos - 1 kHz ~ 120 kHz

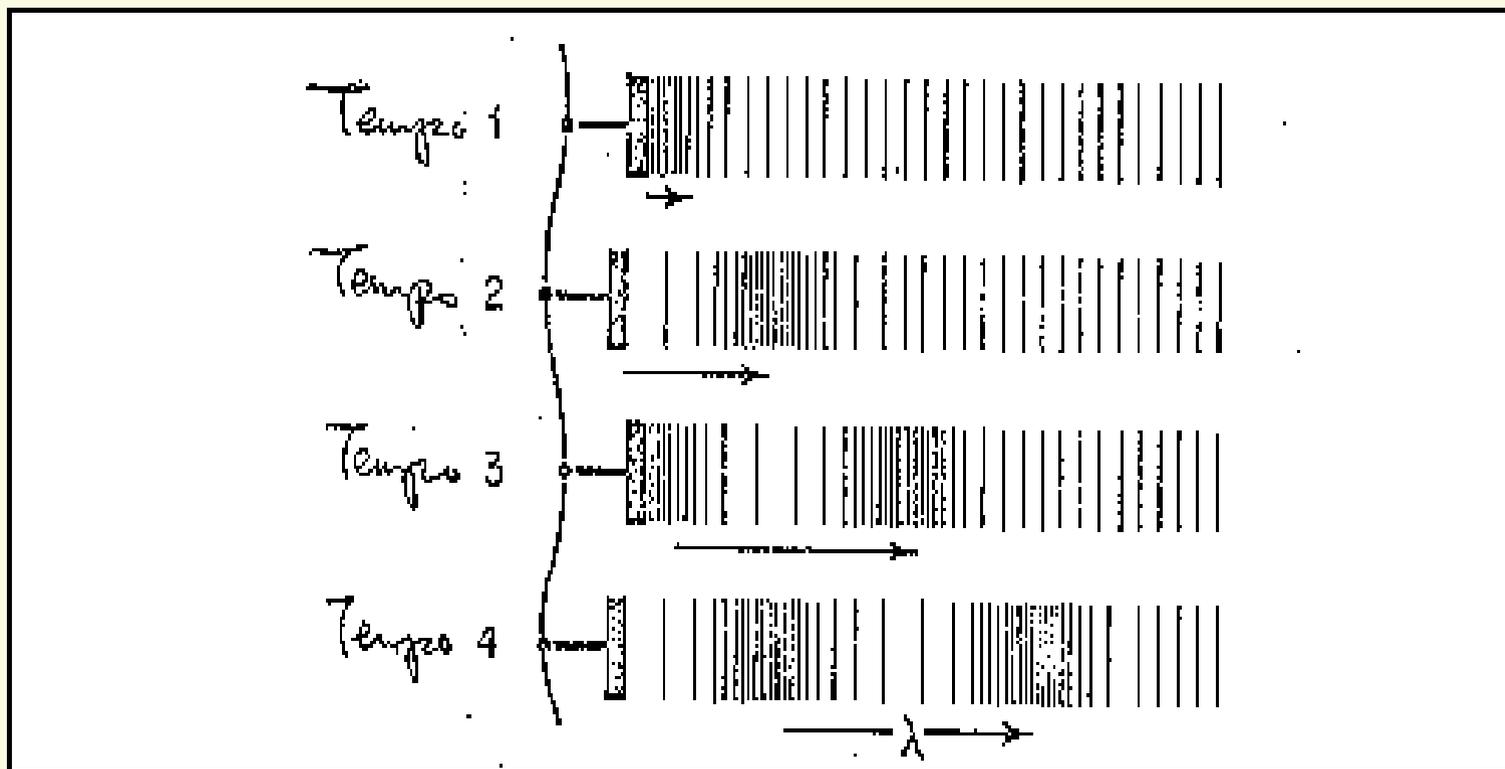
 **Infra-som** = ondas mecânicas com frequências abaixo de 20 Hz.

 **Ultra-som** = ondas mecânicas com frequências acima de 20 kHz.

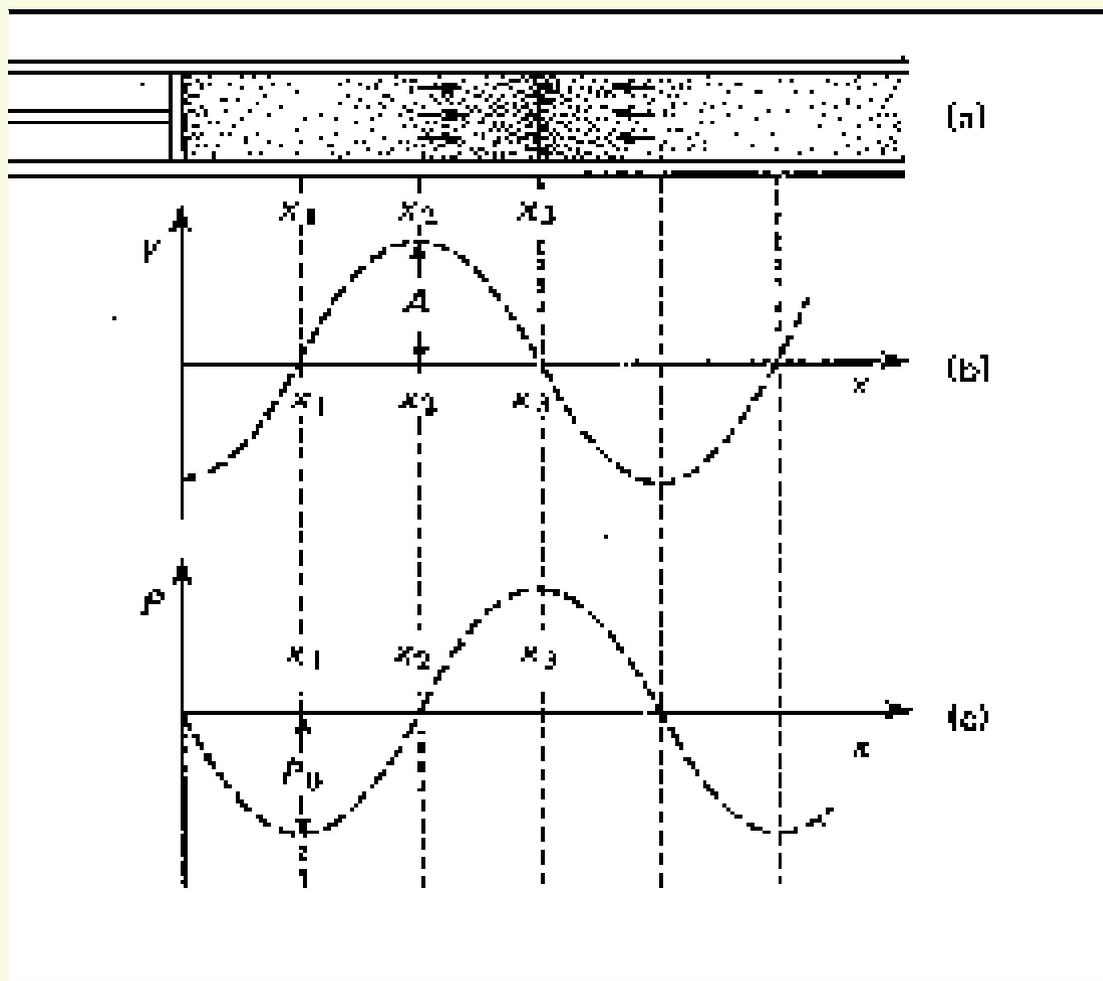
Princípios físicos: energia

- Reflexão
- Refração/transmissão
- $v = \lambda \cdot f$ (velocidade = comprimento x freq.)
- $v = \sim 1500$ m/s (média no corpo) [5.400 km/h]
- Percorre 50 cm (ida e volta) em 0.6 ms
- Se varrer 100 linhas \Rightarrow 60 ms \Rightarrow 20 imagens/s

Ondas de compressão e rarefação formando ondas sonoras



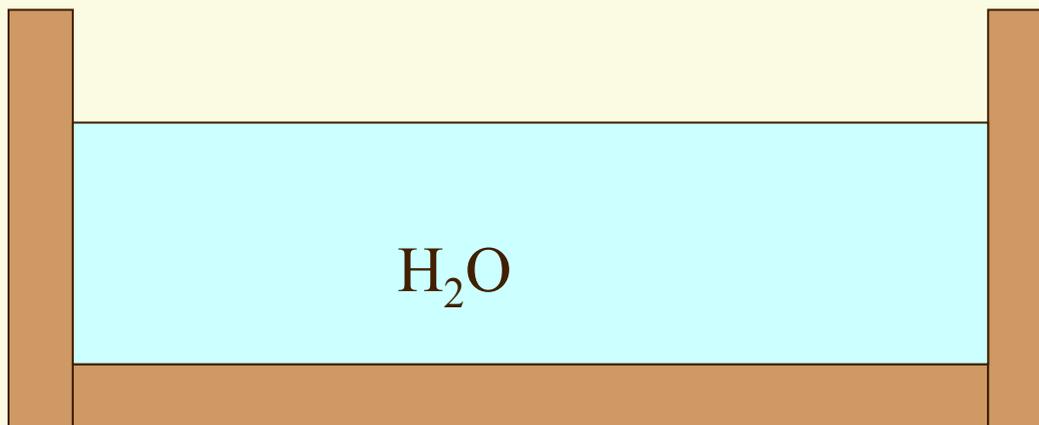
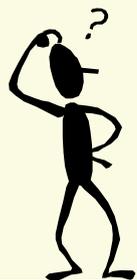
Onda sonora e curvas de variação do deslocamento e da pressão



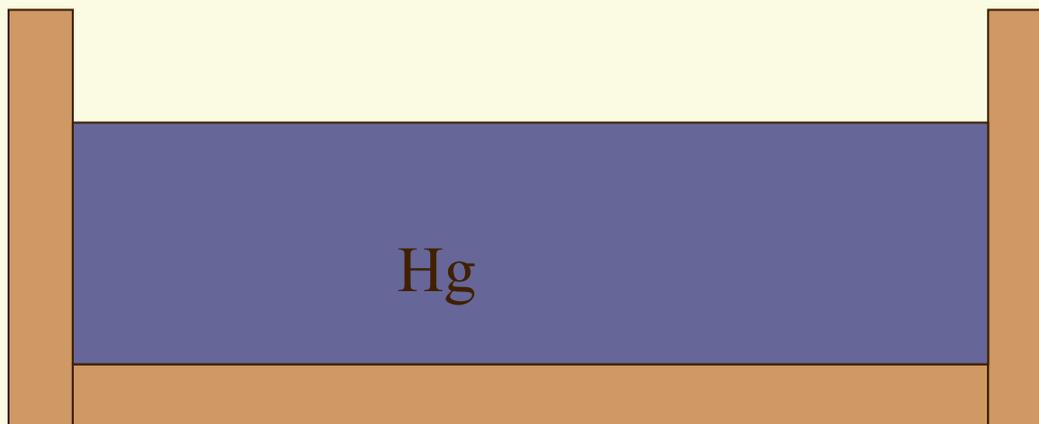
Princípios físicos

- Energia sonora:
 - Parte prossegue => penetra na matéria
 - Parte retorna (refletida) =>detetada pelo sensor
 - Parte é convertida em calor, ...
- Impedância acústica
- $v = \lambda \cdot f$ (velocidade=comprimento x freq.)
- $Z = \rho \cdot v$ (Impedância=densidade x veloc.)

Mergulhando em impedância diferente



Mergulhando em alta impedância



Reflexão, refração

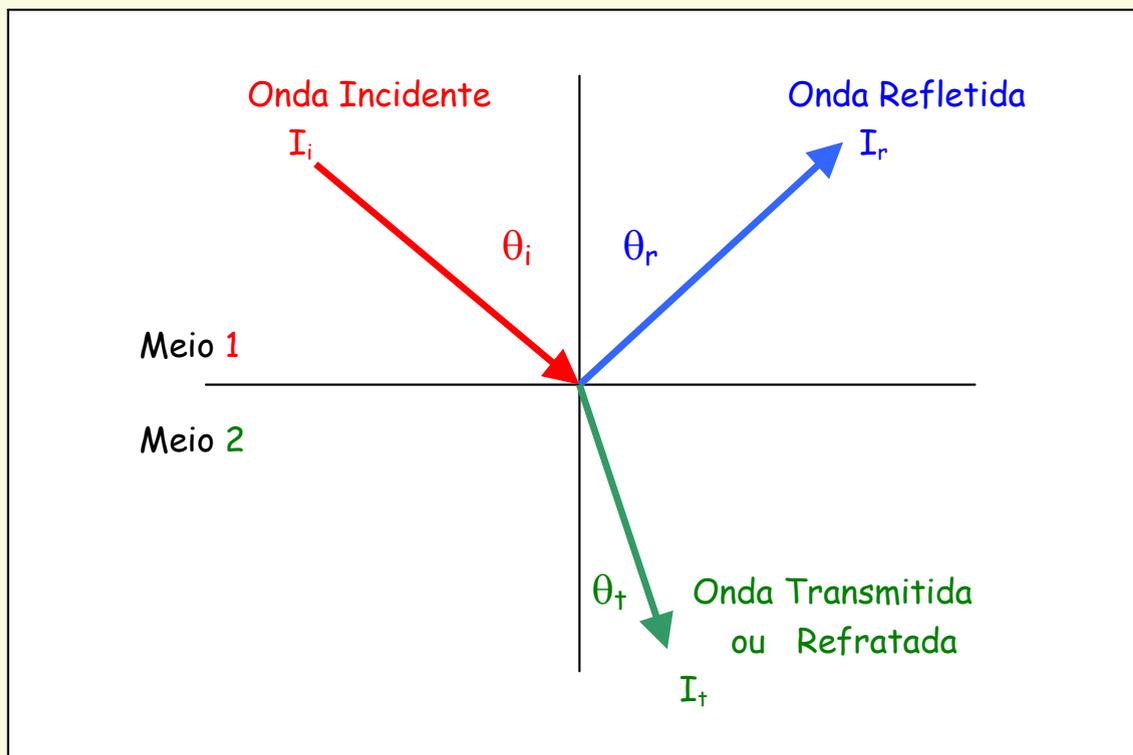
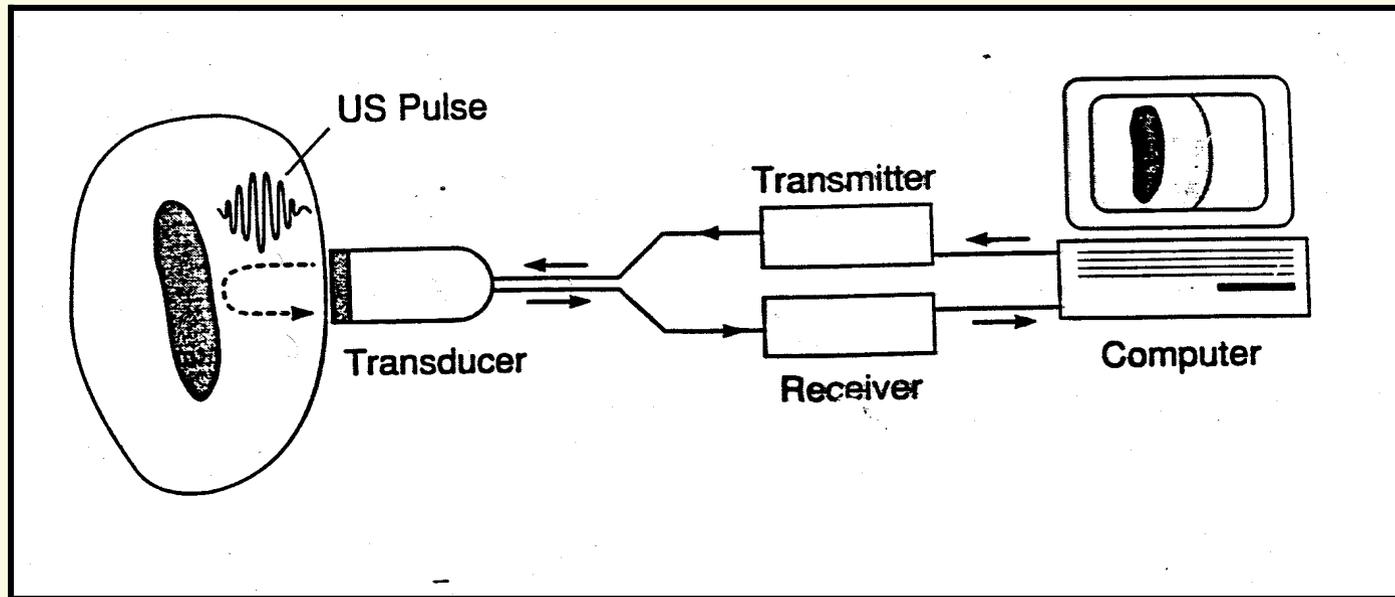
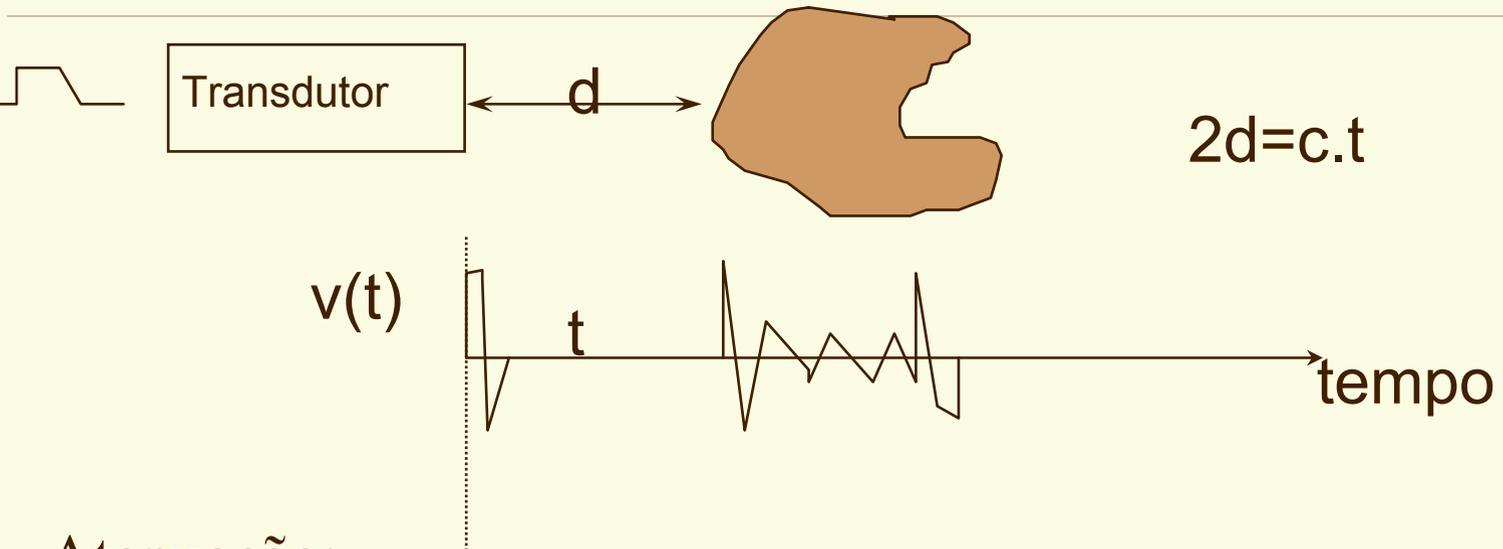


Figura 5 - Reflexão e refração (ou transmissão) de ondas na interface entre os meio 1 e 2

Transdutor: geração e recepção



Eco acústico: impedância



Atenuação:

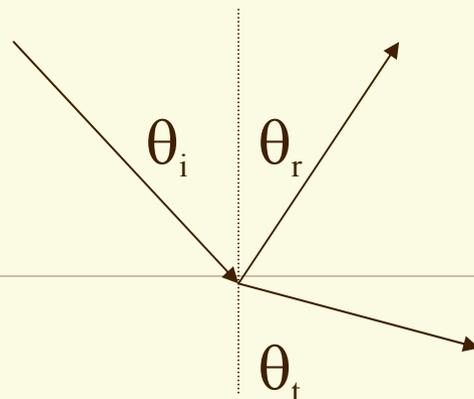
- absorção (calor)
- espalhamento

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

$\mu \sim \alpha$ frecuencia

O que está incorreto no $v(t)$?

Reflexão



1

2

Eq. Fresnel

$$R+T=1$$

$$R = \frac{I_r}{I_i} = \left(\frac{Z_2 \cdot \cos \theta_i - Z_1 \cdot \cos \theta_t}{Z_2 \cdot \cos \theta_i + Z_1 \cdot \cos \theta_t} \right)^2$$

$$T = \frac{I_t}{I_i} = \left(\frac{4Z_1 \cdot Z_2 \cdot \cos^2 \theta_i}{(Z_2 \cdot \cos \theta_i + Z_1 \cdot \cos \theta_t)^2} \right)$$

Lei de Snell

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_t} = \frac{v_1}{v_2}$$

Incidência normal

Impedância acústica ($.001\text{g/m}^2/\text{s}$) a
1 MHz:

- ar $\Rightarrow 0,0004$
- água $\Rightarrow 1,54$
- sangue $\Rightarrow 1,61$
- fígado $\Rightarrow 1,65$
- osso $\Rightarrow 6,00$
- rim $\Rightarrow 1,62$
- gordura $\Rightarrow 1,38$

$$\theta_i = \theta_t = 0^0$$

$$R = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right)^2$$

$$T = \frac{4Z_1 \cdot Z_2}{(Z_2 + Z_1)^2}$$

Energia refletida e transmitida

📄 Ar => água

$$R=0,9989$$

$$T=0,001$$

📄 Água => osso

$$R=0,35$$

$$T=0,65$$

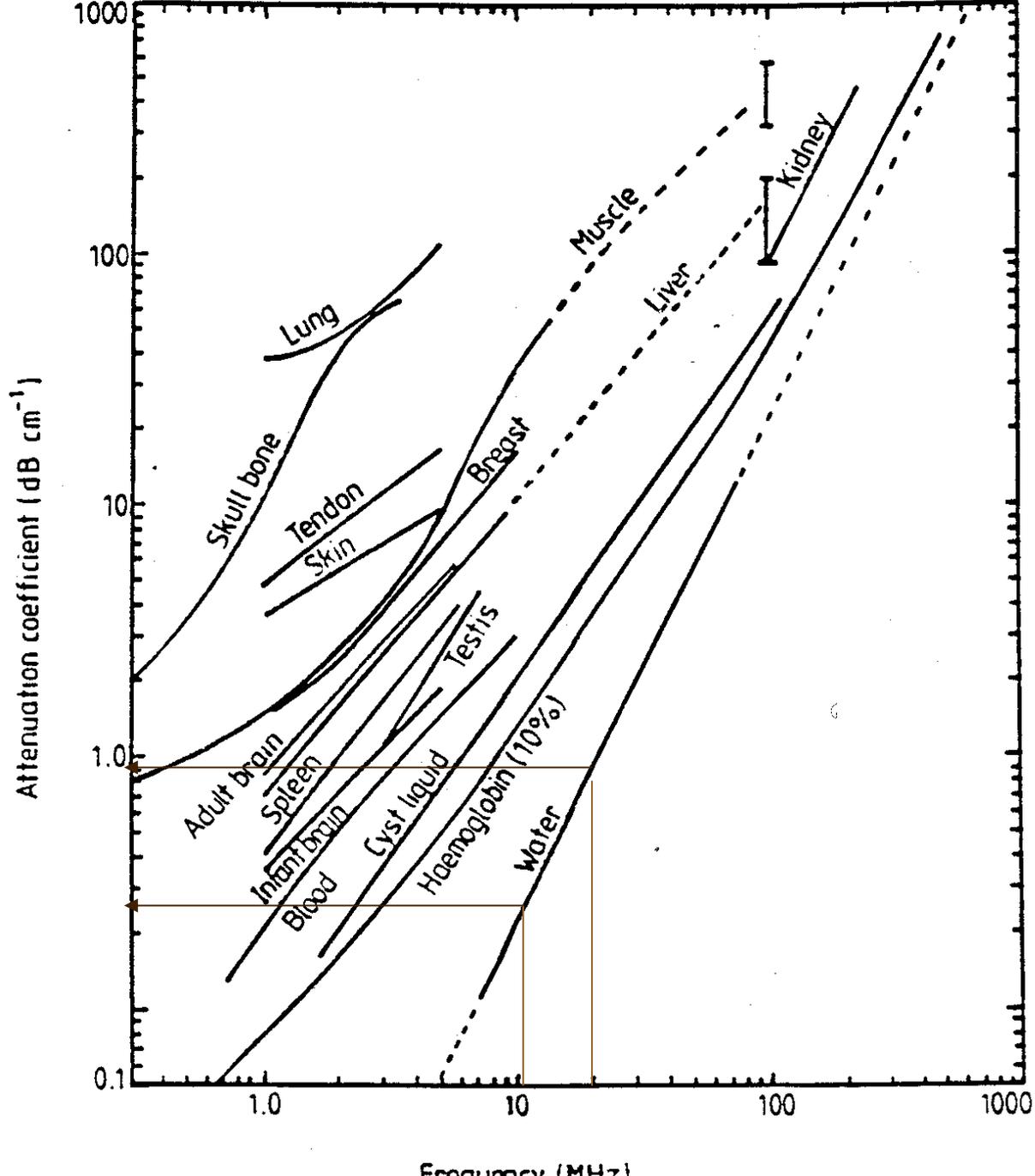
Princípios físicos: energia desperdiçada

Atenuação:

- absorção (calor)
- espalhamento

frequência $\uparrow \Rightarrow \mu \uparrow$

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

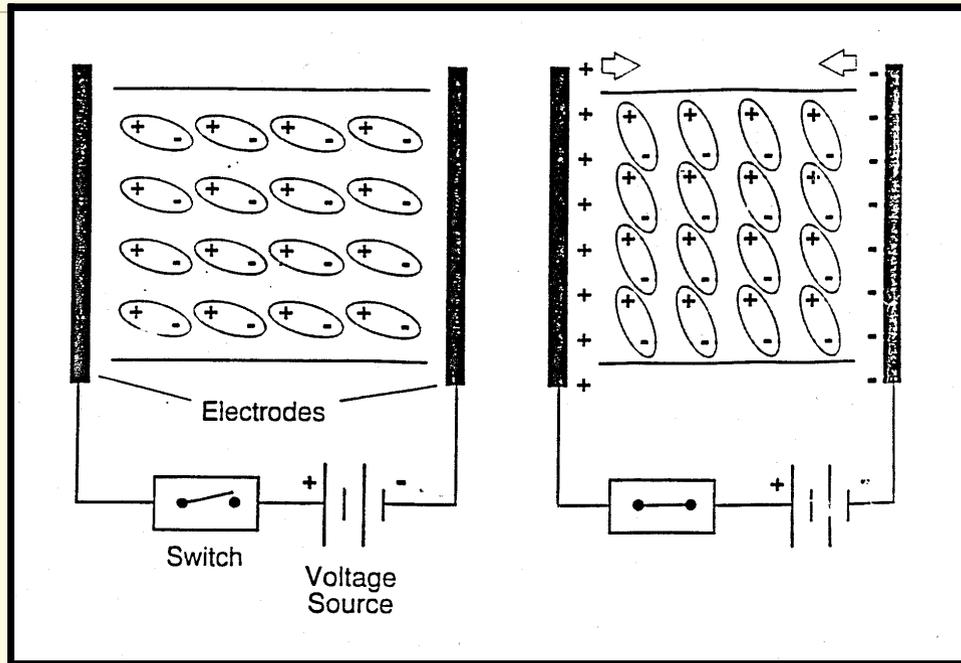


Aumento de 2 x em frequência ?

📄 No caso da água, a atenuação aumentou 3 x

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

Transdutor: Efeito piezoelétrico



Piezoelétricidade:

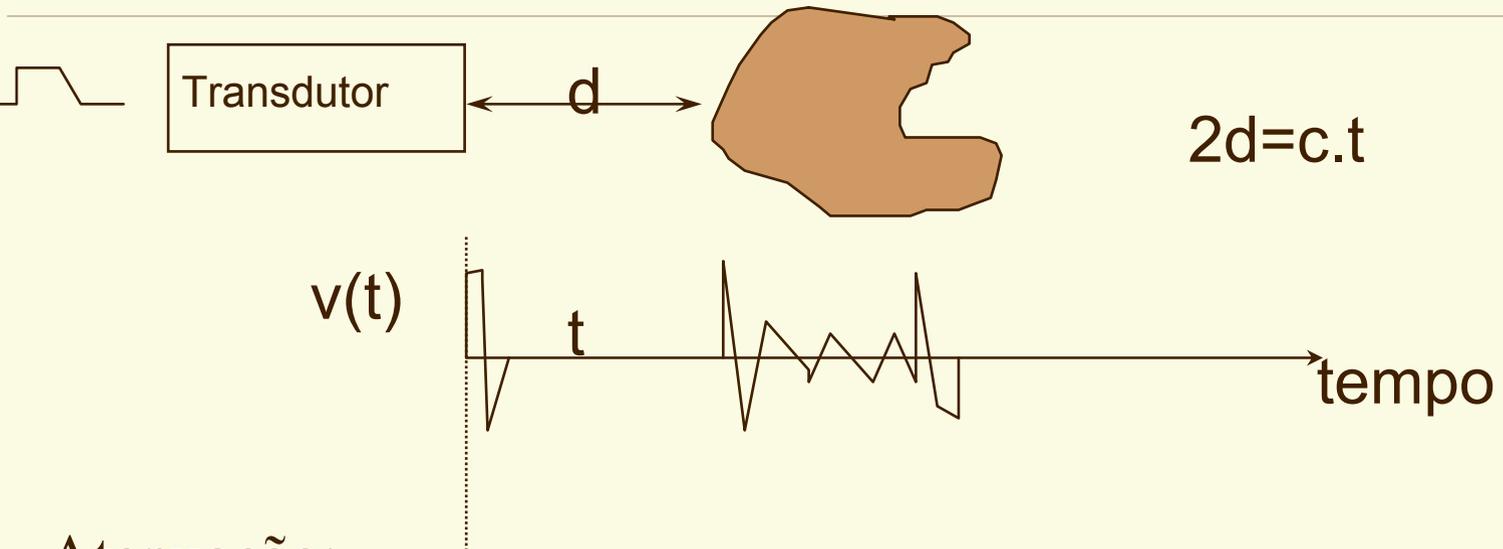
Tensão alternada produz oscilações nas dimensões do cristal, devido ao re-alinhamento das moléculas polarizadas

Princípios físicos: consolidação

- efeito piezo-elétrico: mecânica \Leftrightarrow elétr.
- espalhamento dentro das estruturas
- resolução espacial $\sim 1 \lambda = 1.5 \text{ mm}$ (@1MHz)
- $v = \sim 1500 \text{ m/s}$ (média no corpo)
- 20 - 50MHz p/ intra-arterial
- 100-200MHz p/ microscopia celular
- $v = \lambda \cdot f$
- $Z = \rho \cdot v$ (ρ :densidade)

Formando imagens

Eco acústico: impedância



Atenuação:

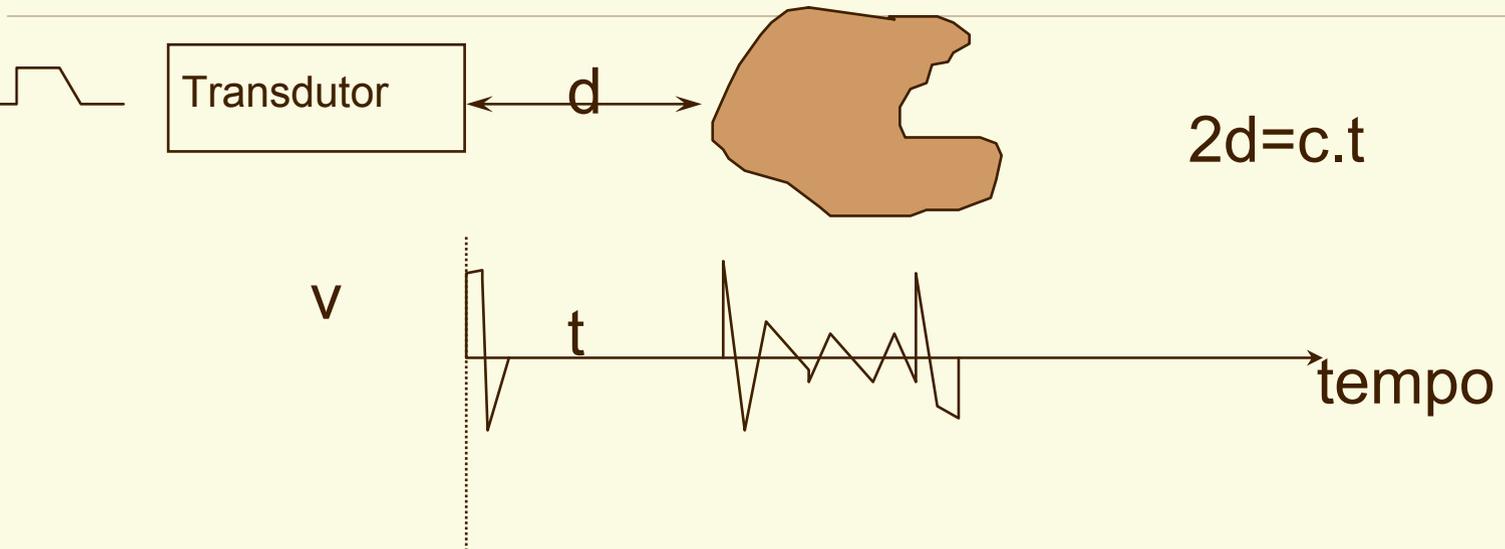
- absorção (calor)
- espalhamento

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

$\mu \sim \alpha$ frecuencia

O que está incorreto no $v(t)$?

modo A (Amplitude)



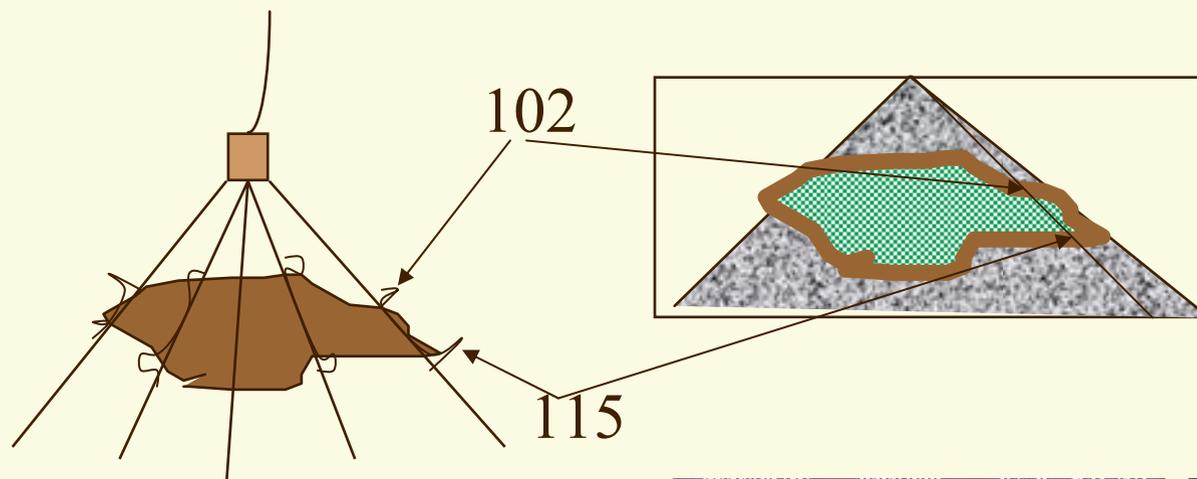
Atenuação:

- absorção (calor)
- espalhamento

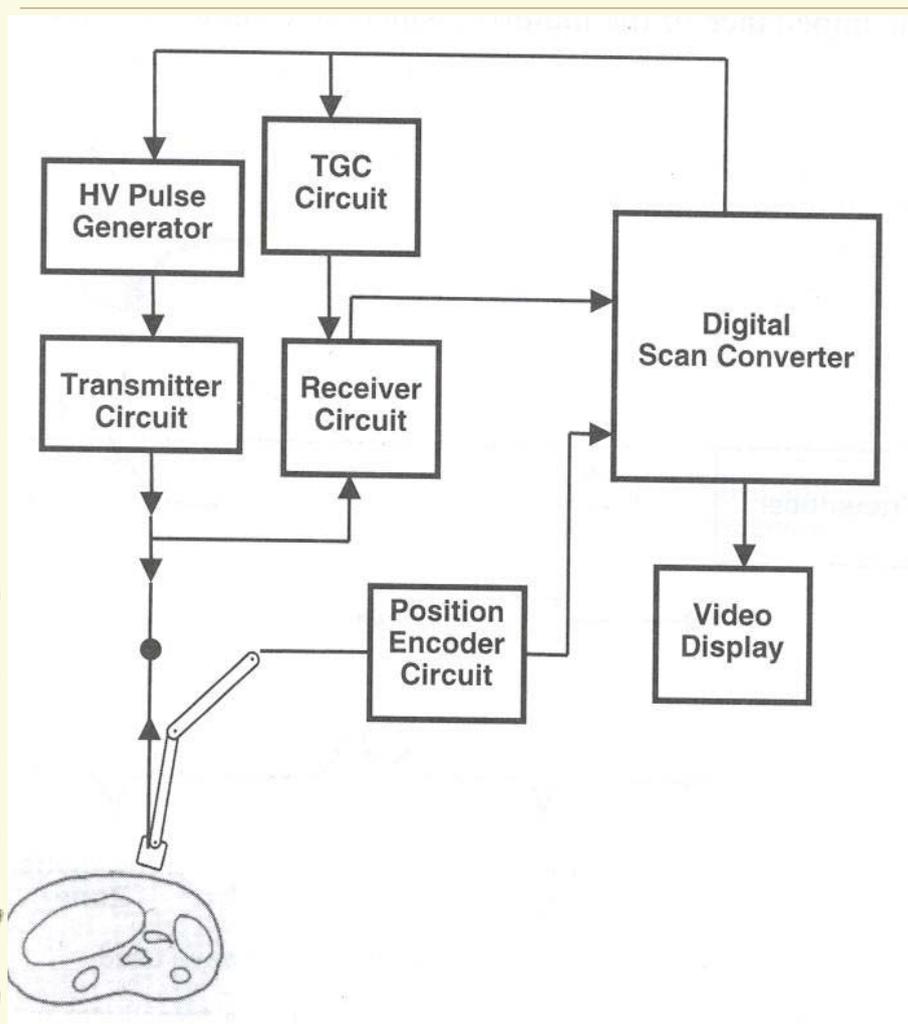
$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}$$

Modo B (Brilho)

modo A em tons de cinza com varredura



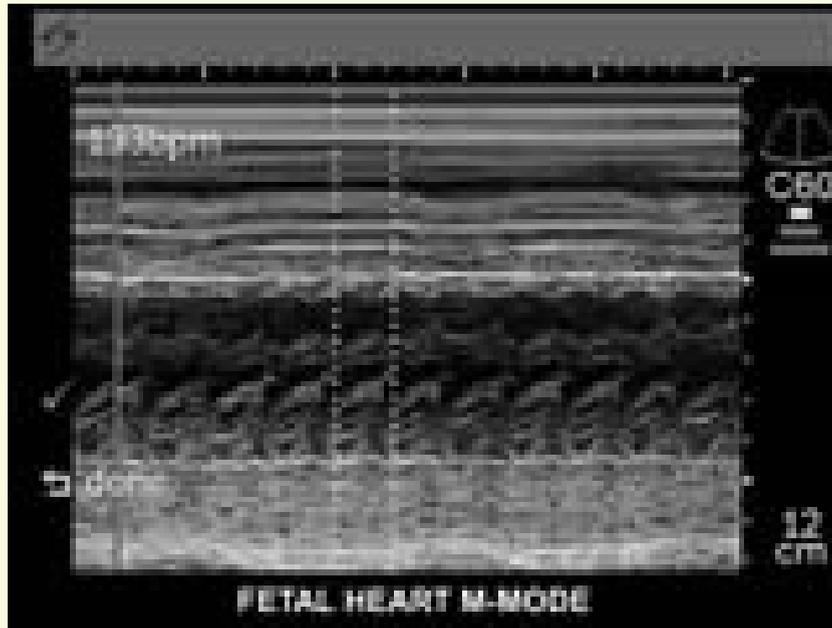
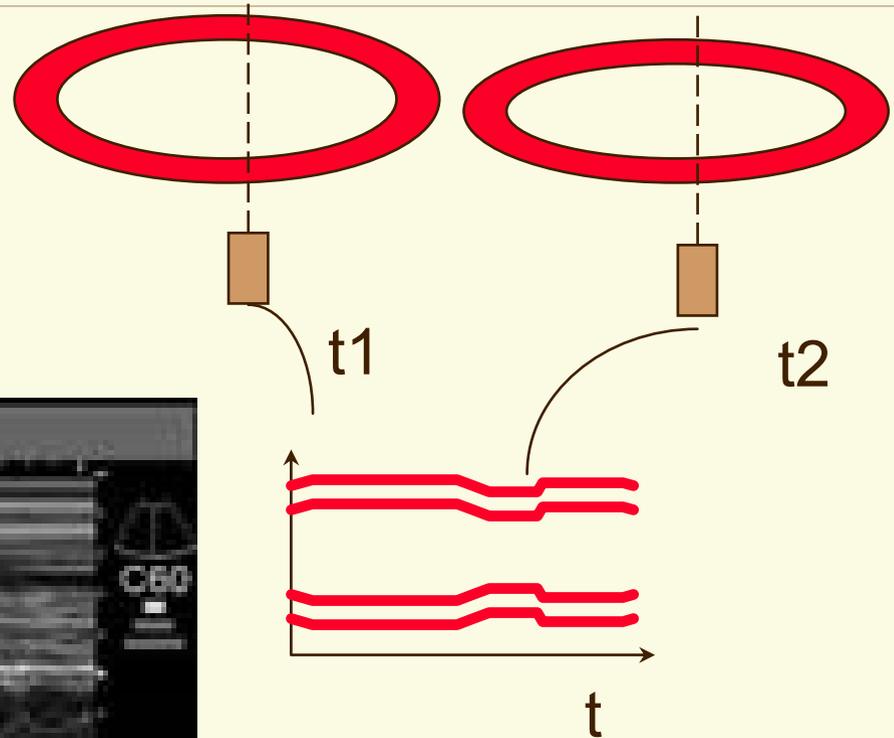
Modo B: diagrama funcional



- controle automático ganho (tempo)
- baixo ruído eletrôn.
- faixa dinâmica elevada
- janela de tempo (profund)
- conversão A/D: 20MHz
- 512 x 512 x 8bits
- 512 x 512 x 24bits (Doppler)
- posição de leitura
- imagem média, simples ou de máximos

Modo M (Movimento)

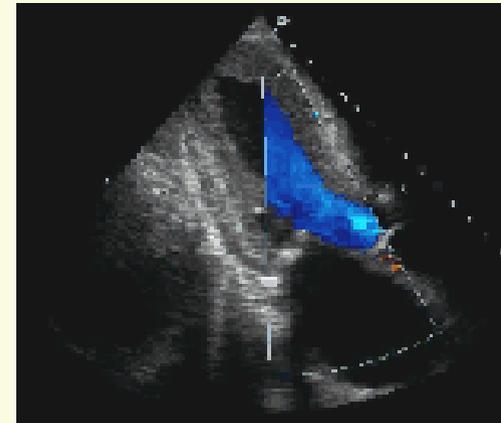
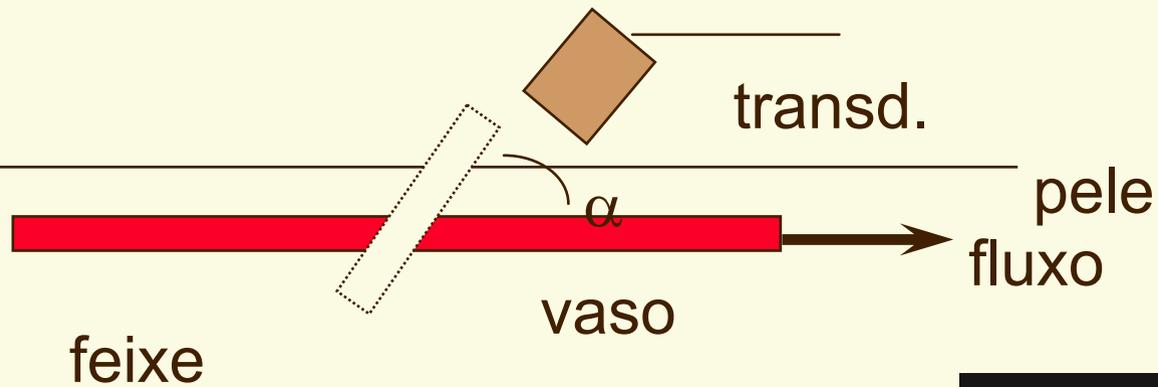
- modo A
dinâmico em
tons de cinza



Efeito Doppler

Fluxo e velocidade

$$\Delta f = 2 \frac{f_0}{c} \cdot \cos(\alpha) \cdot v$$

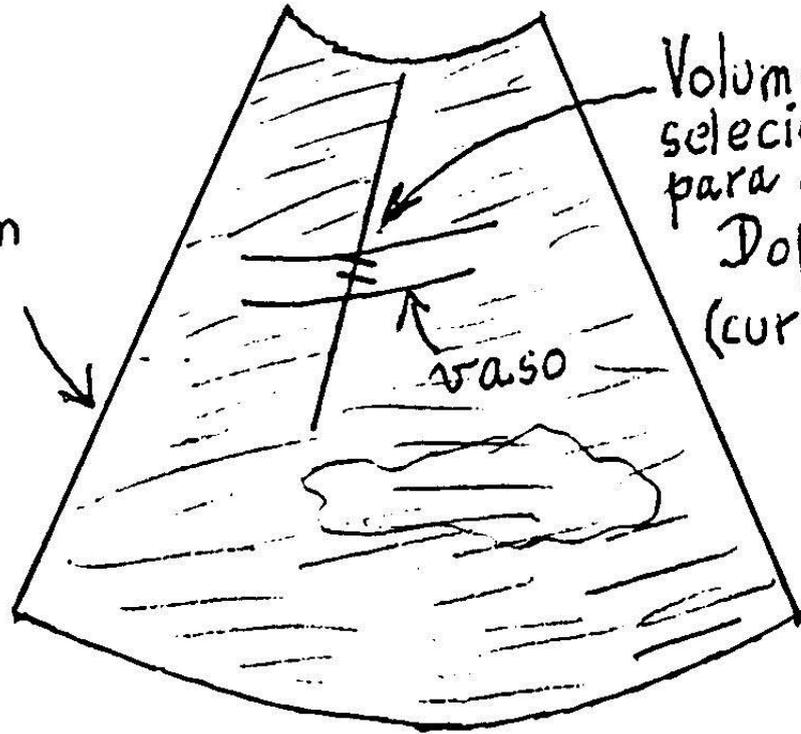


Velocidade absoluta ?

- Como obter o ângulo de incidência ?

Modo duplex

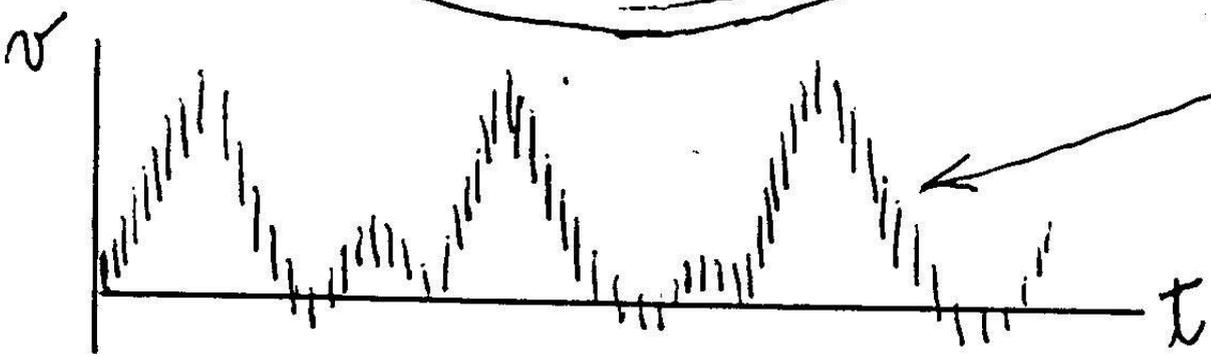
Imagem em modo-B



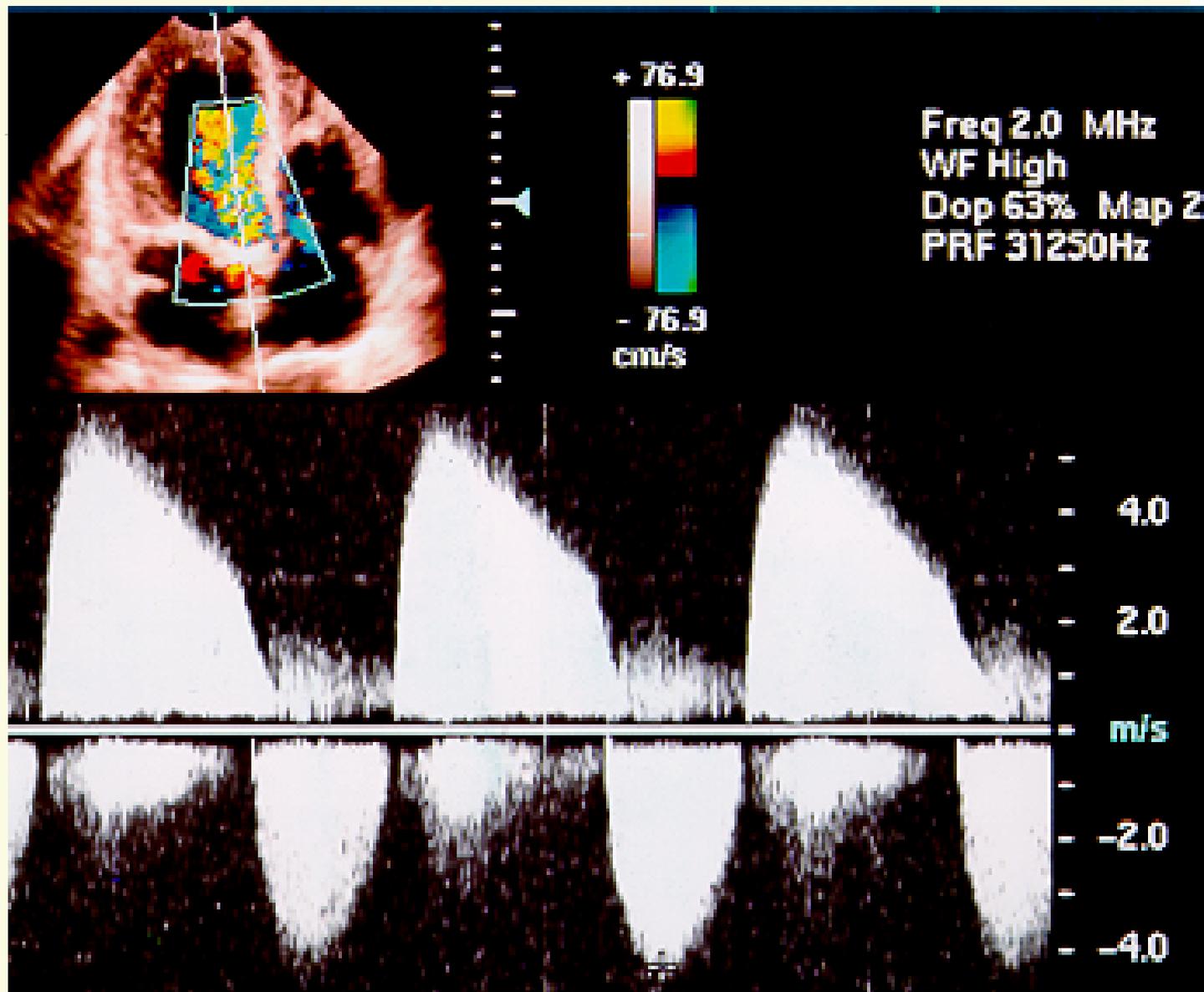
Volume selecionado para análise Doppler (cursores)

vaso

Monitor



Traço espectral



Ultra-som: degradação



Caract. do transdutor $B(t)$

Atenuação no caminho $A(t)$

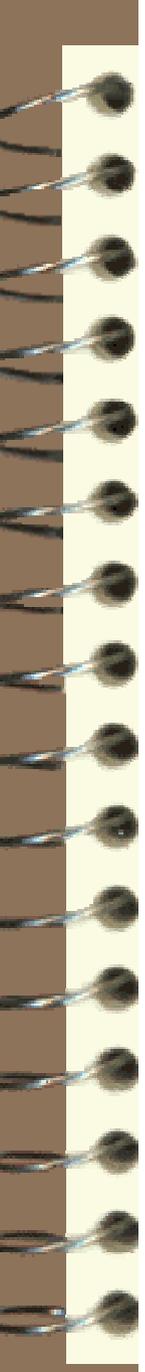
Espalhamento $E(t)$

Ruído : speckle

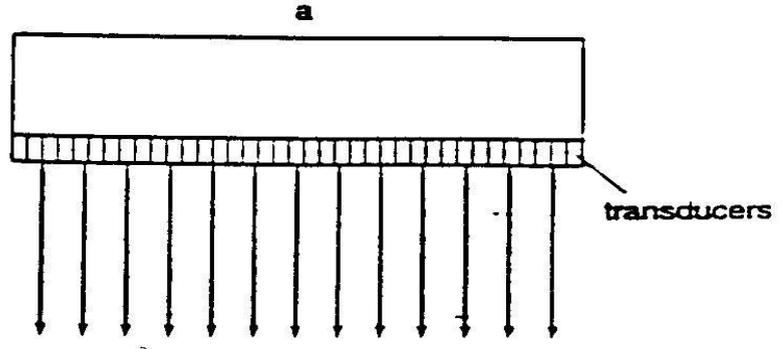
$$S(t) = T(t) \otimes B(t) \otimes A(t) \otimes E(t)$$

$$\frac{S(f)}{T(f)} = B(f) \cdot A(f) \cdot E(f)$$

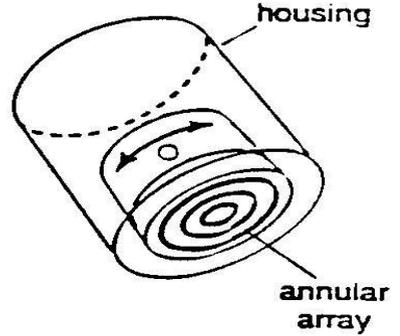
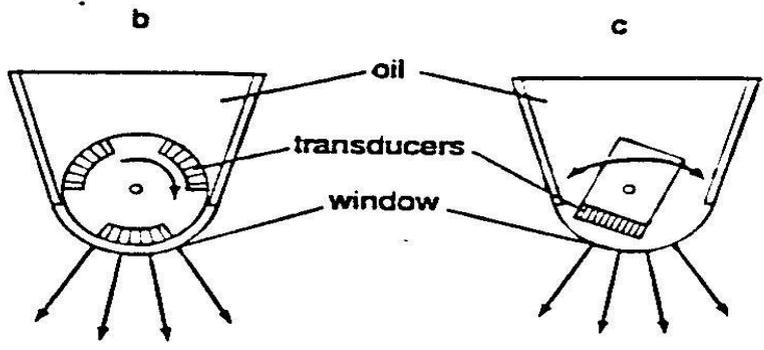
Transdutores: mais detalhes



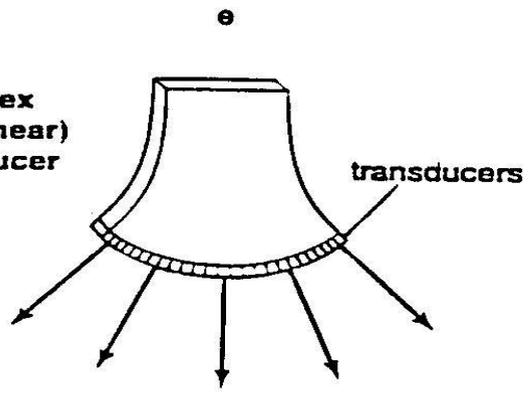
Linear array transducer



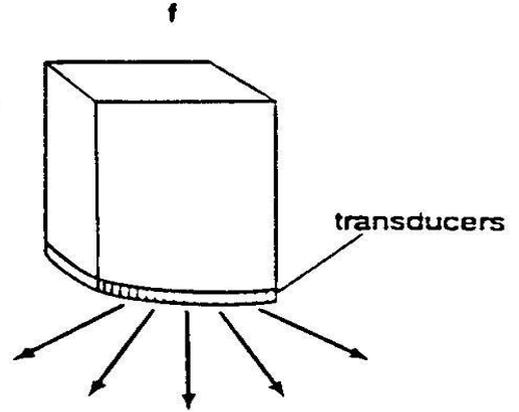
Mechanical transducers



Convex (curvilinear) transducer



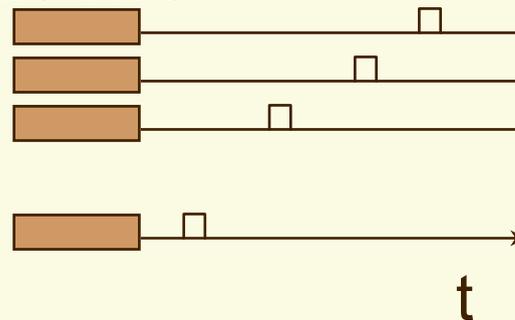
Phased array sector transducer



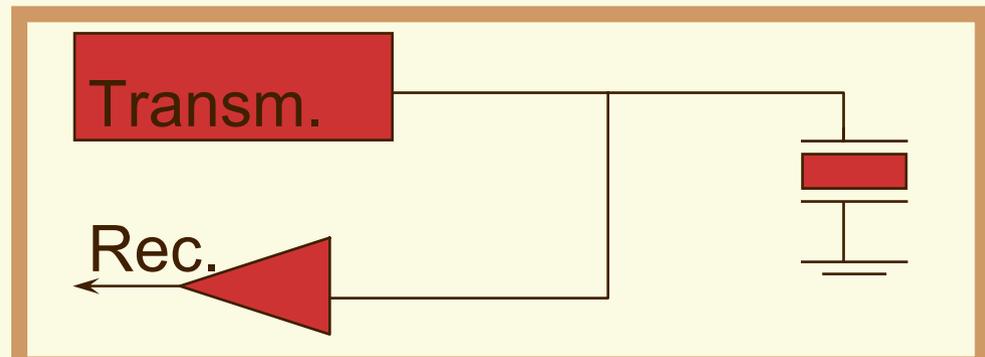
Ultra-som: transdutores

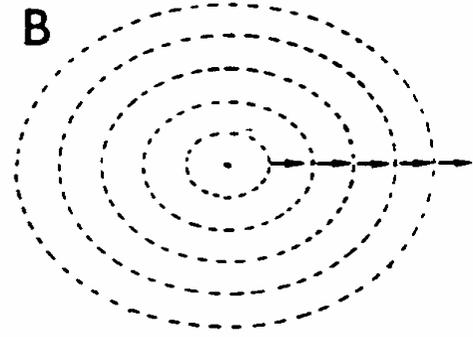
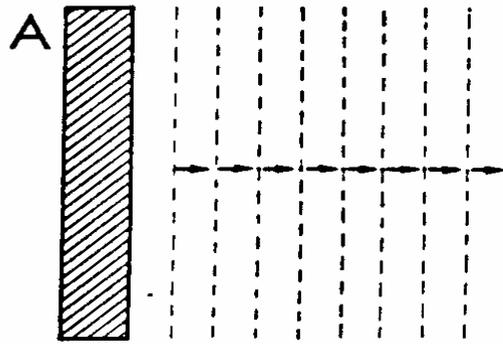
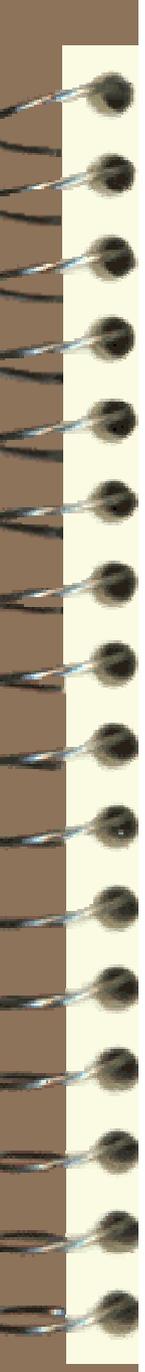
phased-arrays

- focar (guiar) região
- diferentes geometrias

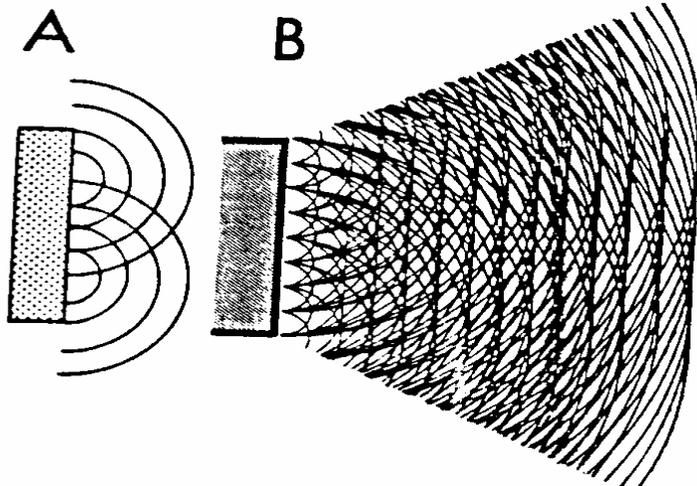


Foco





(a)



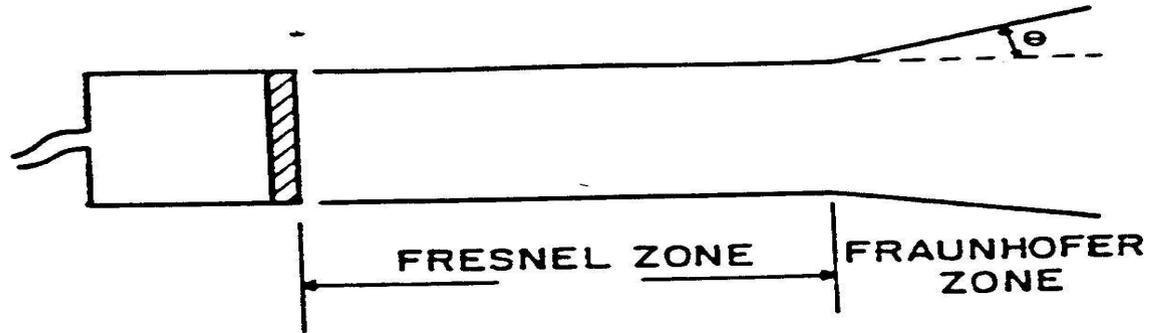
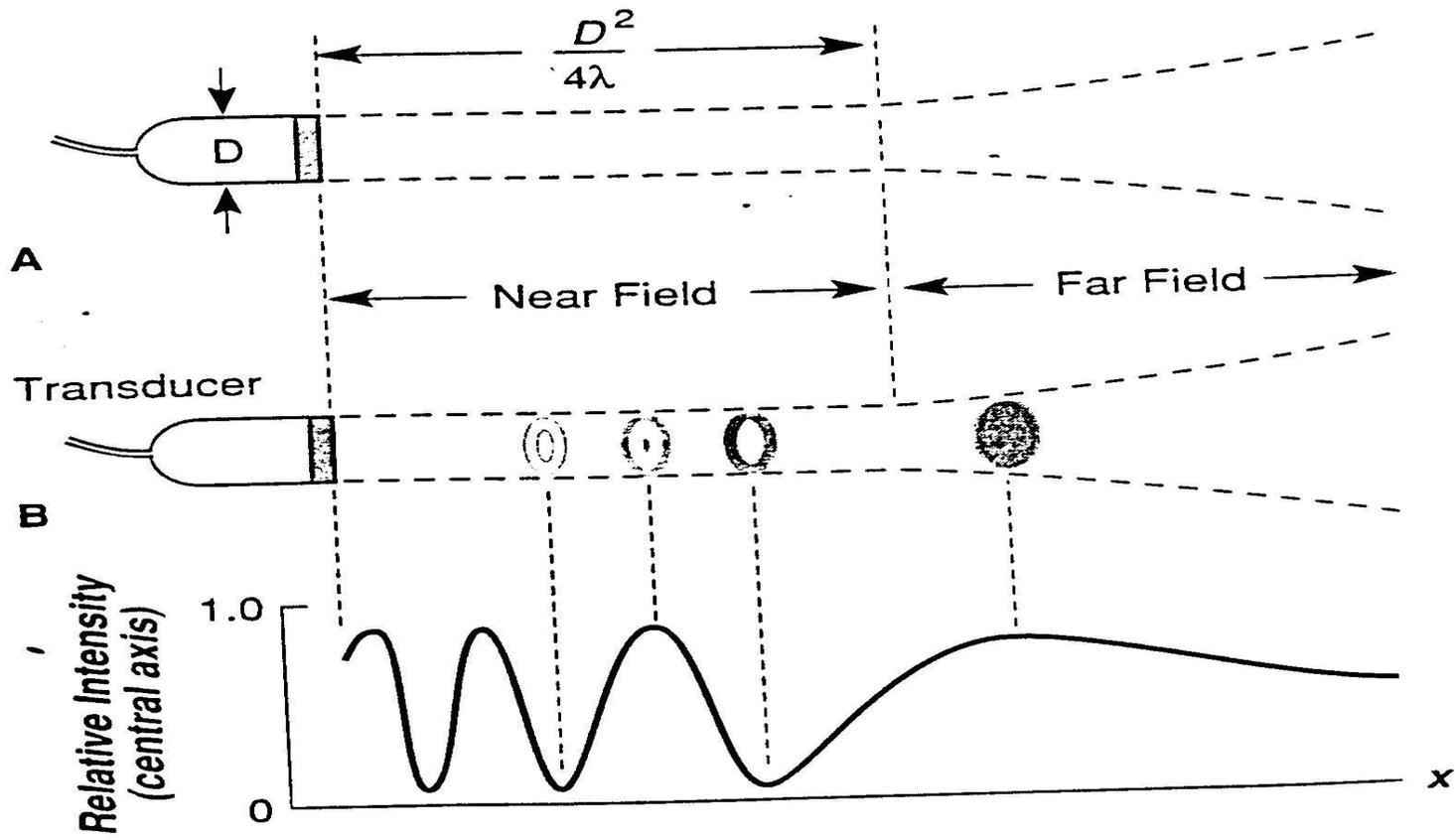


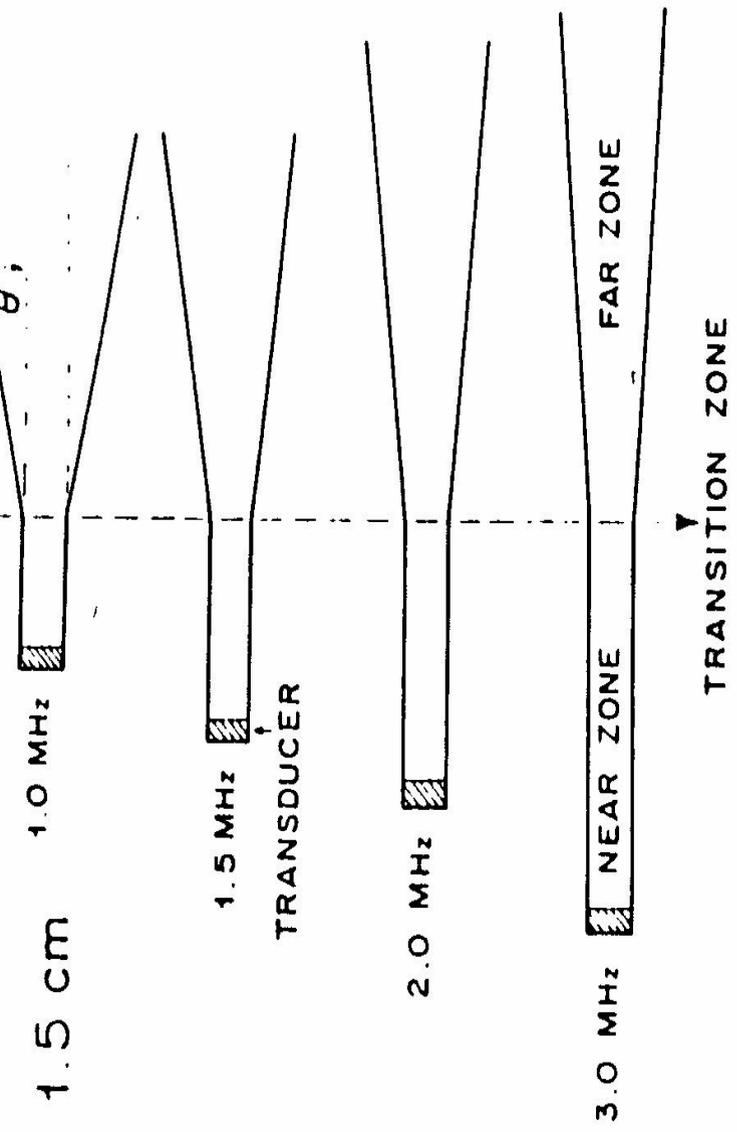
Figura 11 - Divergência de um feixe de US na região de Fraunhofer. O ângulo θ é o ângulo de divergência de Fraunhofer



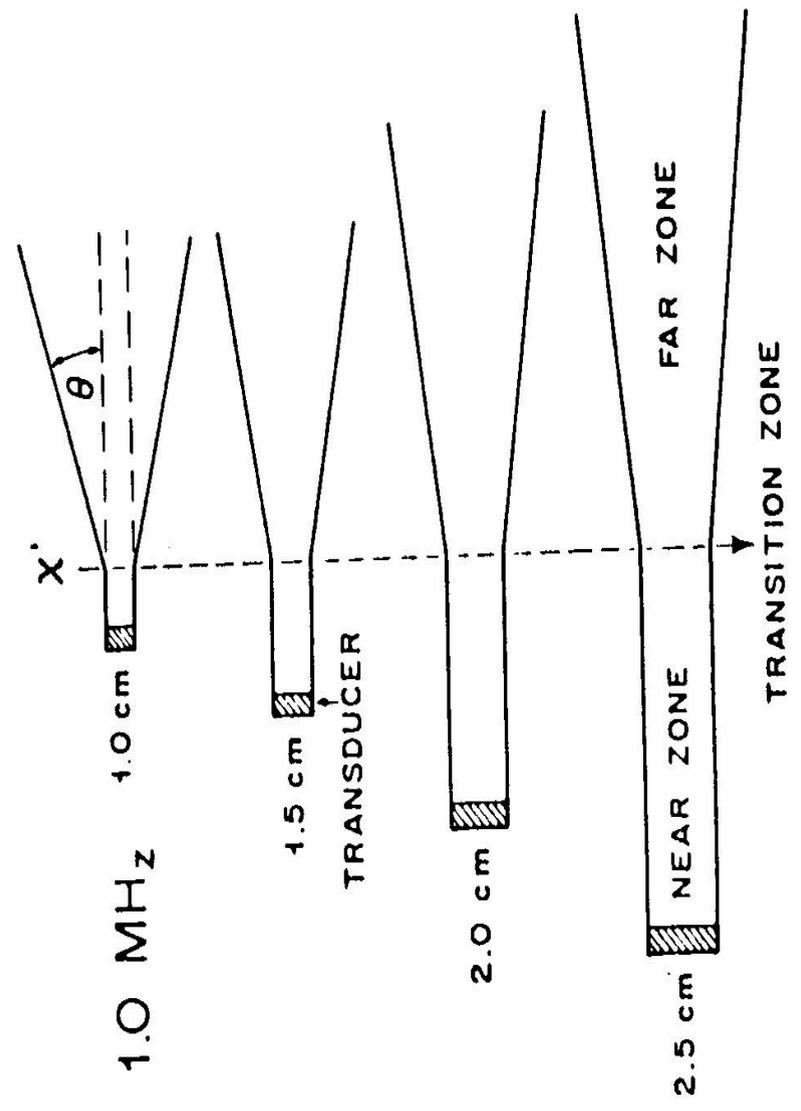
zona de Fresnel

 Para que um objeto seja "visível" pelo transdutor, ele precisa estar localizado na zona de Fresnel ou zona próxima.

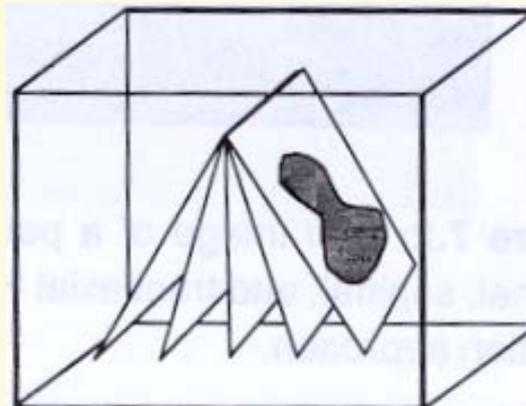
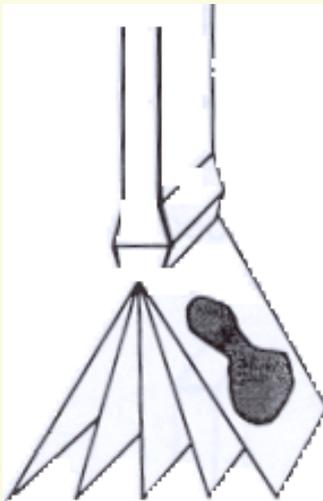
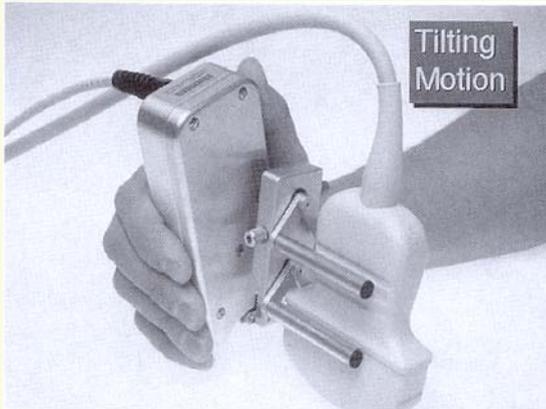
- deve-se diminuir a espessura do cristal para aumentar a sua "profundidade de campo", ou, alternativamente,
- aumentar o diâmetro D do cristal.

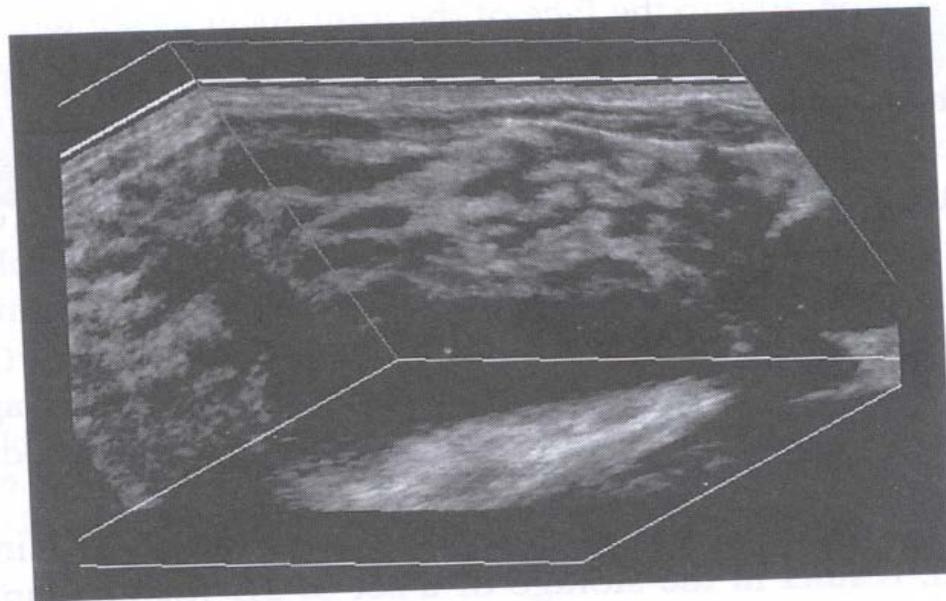


(a)



Ultra-som 3D: varr. Mec. tilt

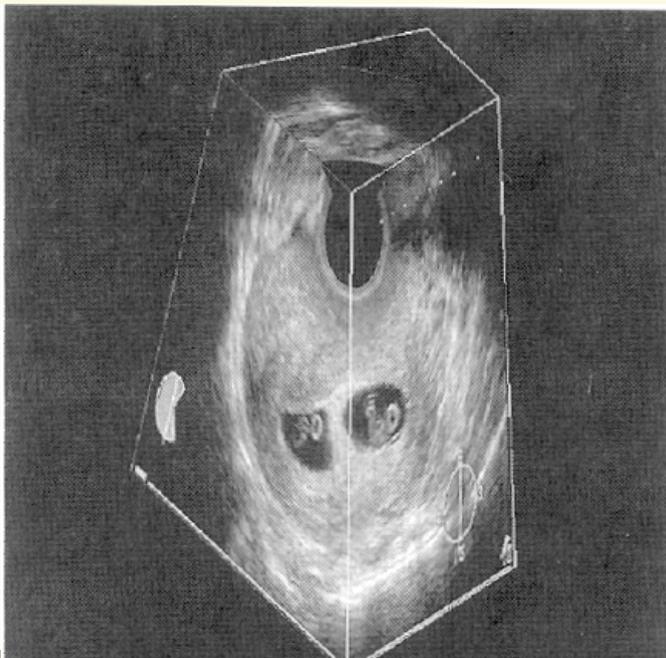
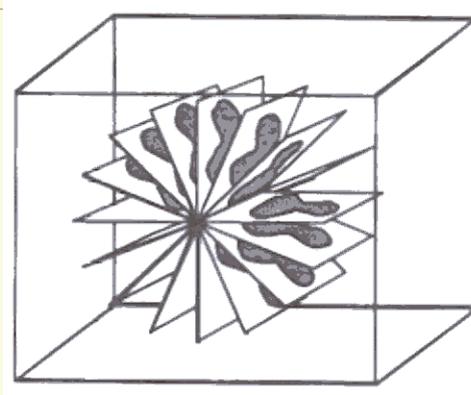
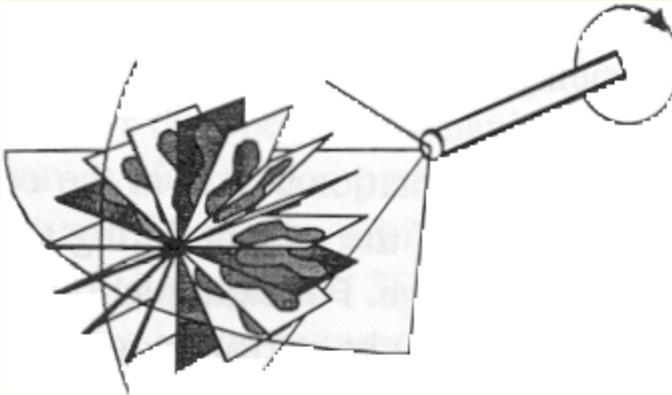




(c)

Figure 7.3: (a) Photograph of a tilt scanning mechanical assembly with a curvilinear transducer in place. (b) Schematic diagram showing the tilting scanning approach, in which a series of 2D images are collected as the transducer is tilted and then reconstructed into a 3D image. (c) 3D image of a patient with a poly-cystic breast. The image was obtained using the tilt scanning approach.

Scan rotacional



Three-dimensional image of a pregnant uterus with twins. The image has been "sliced" to reveal the two gestational sacs. This image was obtained by means of the **rotational scanning** approach using an endfiring endovaginal transducer (SPIE pres, Med Imag I).

Visualização 3D

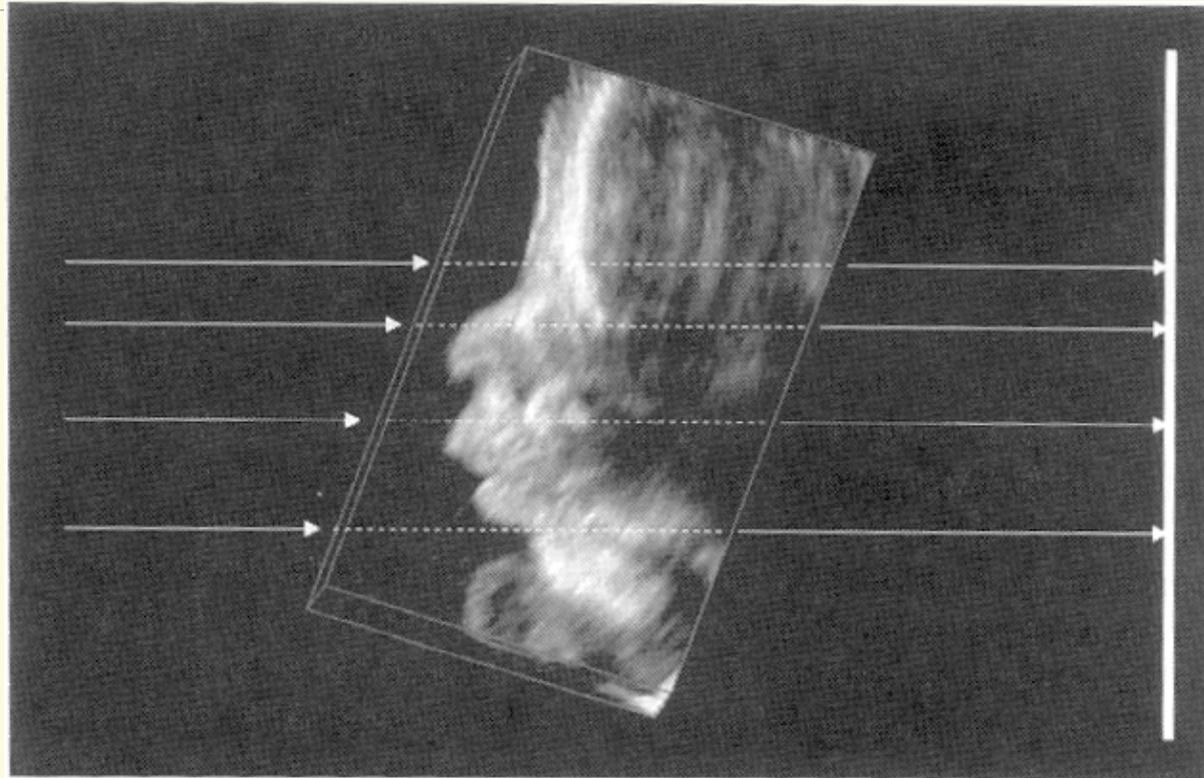
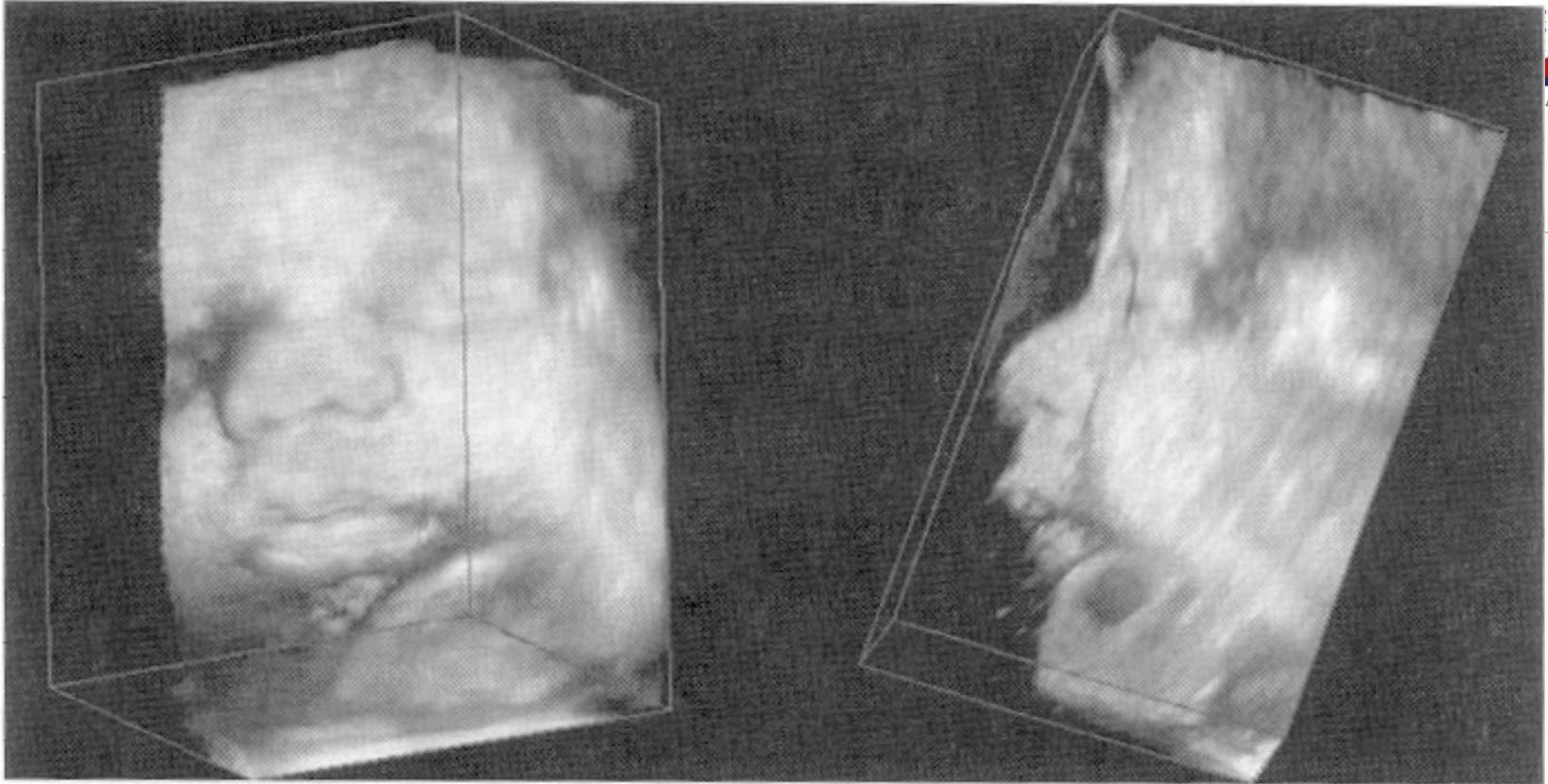
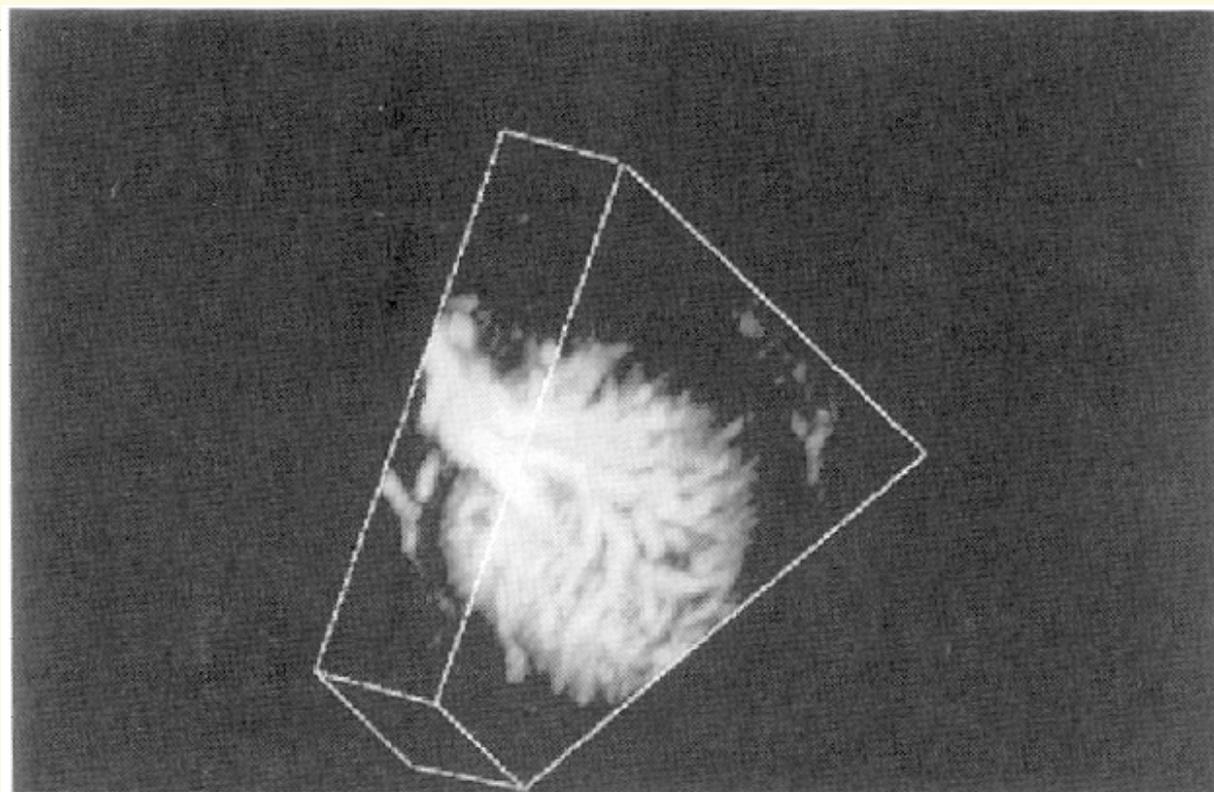


Image showing the **ray-casting approach**. An array of rays are cast through the 3D image projecting the 3D image onto a plane producing a 2D image. The rays can be made to interact with the 3D image data in different ways to produce different types of renderings (SPIE Press, Med Imag. I).



The 3D image of the fetal face has been rendered using a translucency-rendering algorithm with the ray-casting approach. In this image, the amniotic fluid has been made transparent, and tissues have been made transparent or opaque depending on the voxel intensity (SPIE Press, Medical Imaging).

Visualização 3D: MIP



The 3D image of the kidney has been rendered using a **MIP** {**maximum intensity projection**) algorithm with the ray-casting approach

Ultra-som: aplicações

 Estudo de estruturas dinâmicas em uma determinada posição.

- válvulas cardíacas no modo M

 Cortes tomográficos 2D

- cardíaca
- fetal
- abdominal, ...

Ultra-som: aplicações

Mapeamento colorido de fluxo (duplex)

- codificação do fluxo (doppler) em cores
- sobreposição em imagens 2D
- curva temporal do fluxo

Fluxo turbulento, refluxo, perfil de velocidade

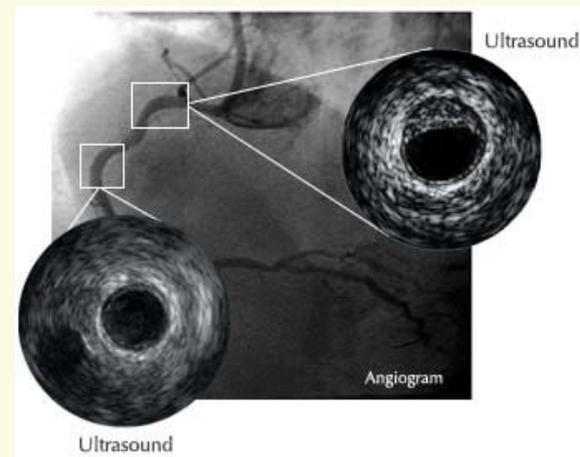
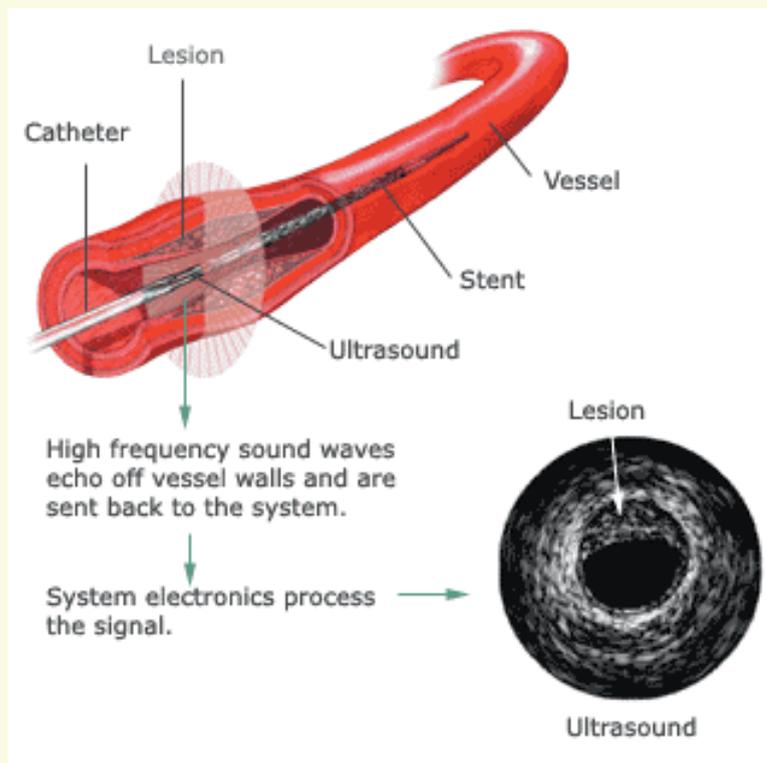
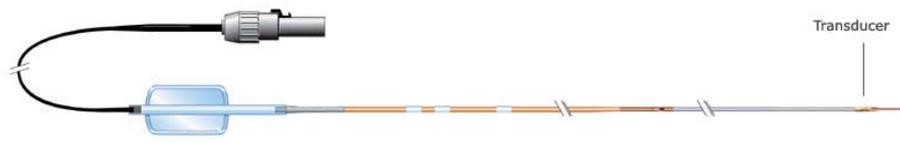
Contraste p/ US: micro-bolhas

IVUS - Intra Vascular Ultra Sound

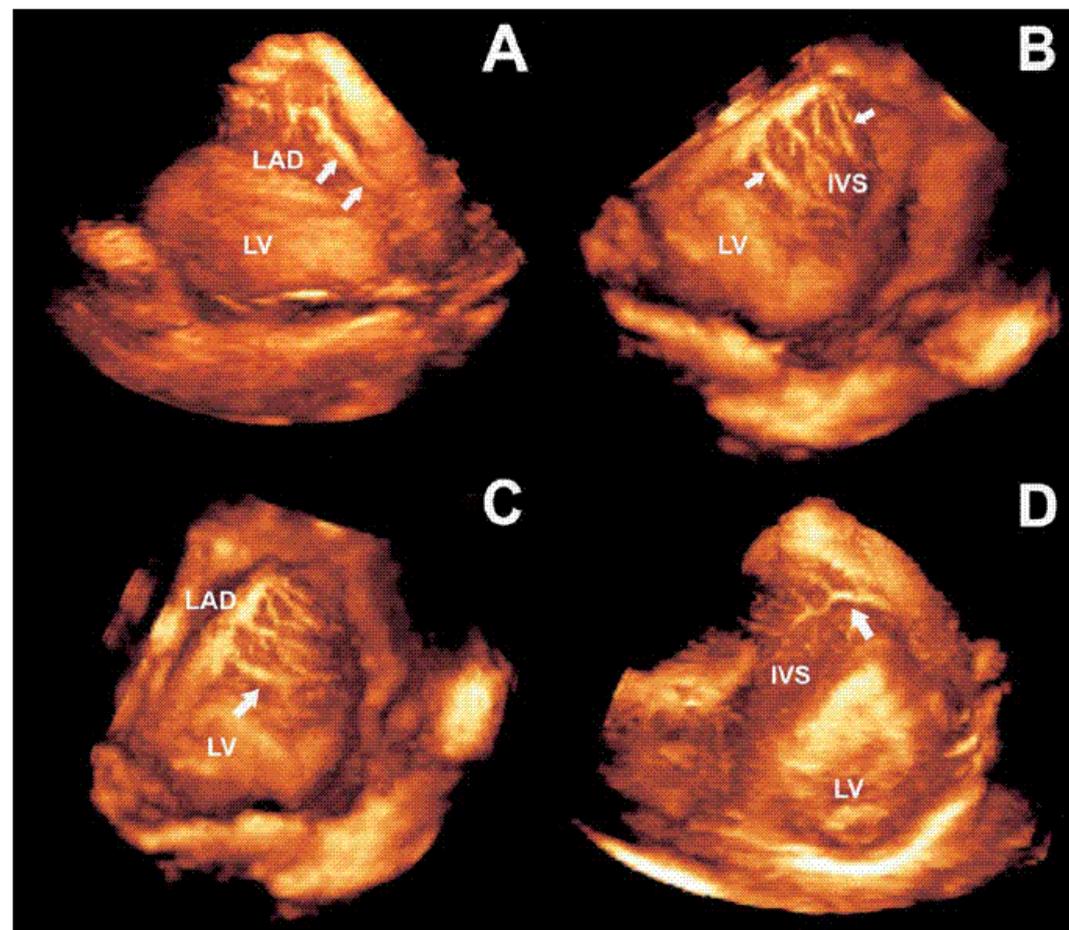
Ecocardiografia 2D e 3D

IVUS

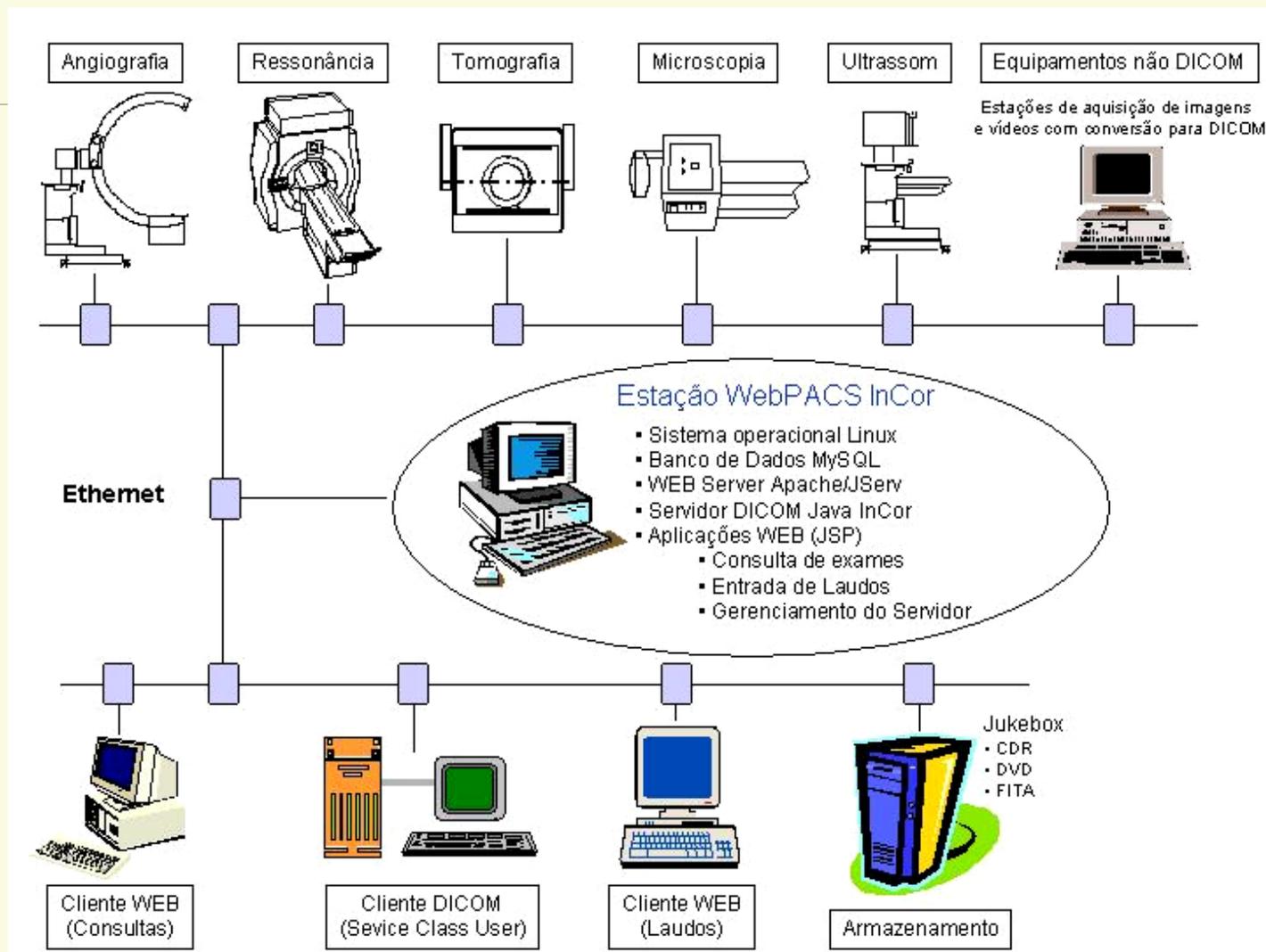
IVUS Diagnostic Catheter



Ecocardiografia 3D com microbolhas



PACS: Conectividade





Informações sobre o Paciente
 Nome: NIVALDO
 RGHC: 5177011D

Ajuste do Tempo de Aquisição
 Tempo Máximo de Aquisição: segundos

Informações Diversas
 Study ID: 1605200219130
 Aquisição atual:
 Número de Séries Adquiridas: 0
 (Não há informações disponíveis no momento)



Aquisições

- Paraesternal Longitudinal 
- Apical Quatro Câmaras 
- Paraesternal Transversal 
- Apical Duas Câmaras 

- Doppler Mitral Dinâmico
 - Doppler VSVE Dinâmico
 - Doppler Tricuspídeo Dinâmico
 - Doppler Pulmonar Dinâmico
-

Comparação de modalidades?

 Medicina Nuclear

 Ressonância Magnética

 Raio-X

Ultra-som

- ☐ Custo/benefício muito bom
- + Energia utilizada não é ionizante
- + Exames não são invasivos
- + Inerentemente tomográfico: dinâmica
- + Exames realizados pelos próprios médicos especialistas.
- Ruído do tipo speckle (interferência de ondas)
- Informações não são metabólicas, ou fisiológicas