Física da Radiología-F852. Aulas Cap. 16-1.

Mário Antônio Bernal Rodríguez [1]

[1] Departamento de Física Aplicada-DFA
Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP Local-DFA 68
email: mabernal@ifi.unicamp.br
url pessoal: www.ifi.unicamp.br\ ∼mabernal

Livro de texto fonte: J. T. Bushberg et al. The essential physics of medical imaging.

Resumo

1 Ultrassom
- Fundamentos Físicos
- Interação do ultrassom com a matéria
- Transductores

Resumo

1 Ultrassom

Fundamentos Físicos

Interação do ultrassom com a matéria

Transductores

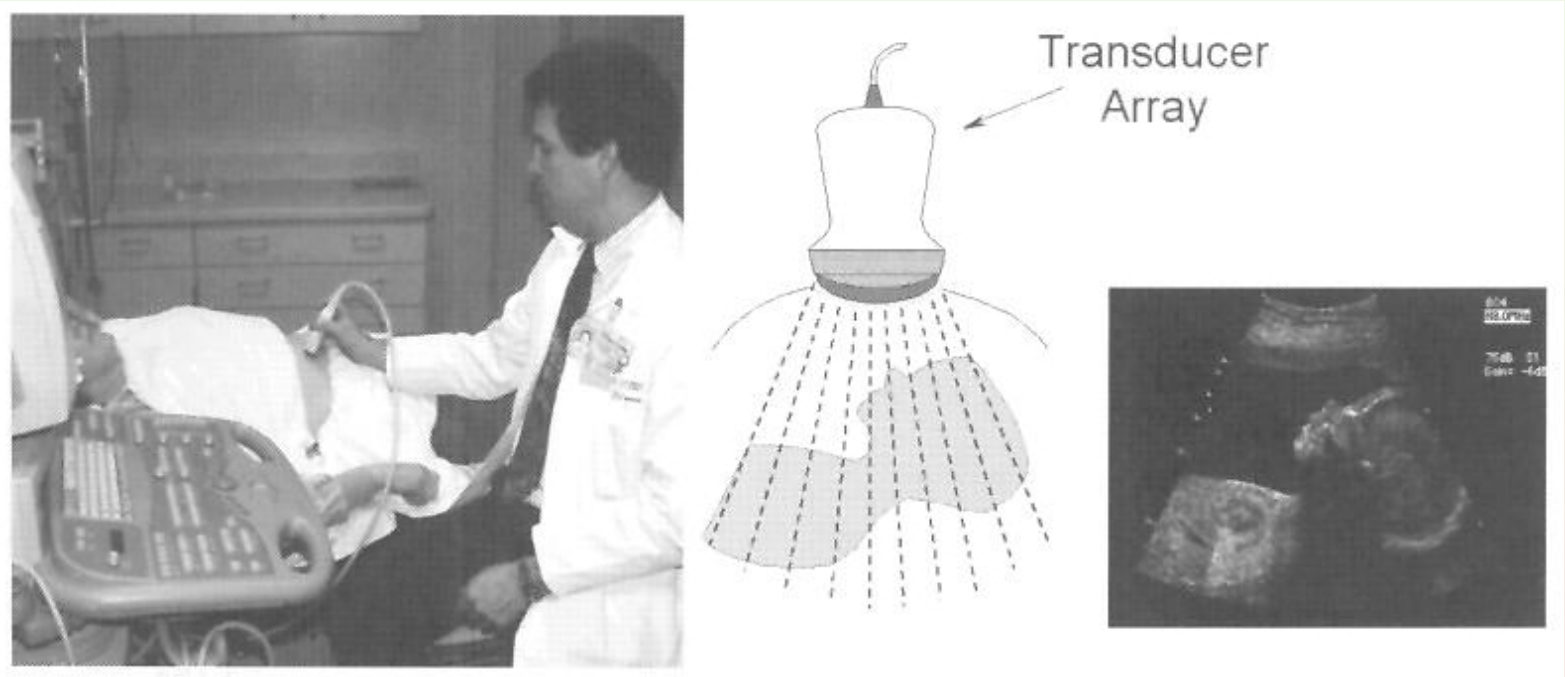
Introdução

Fundamentos

- Ultrassom: onda mecânica com frequência maior da que o ser humano poder ouvir
- É usado para fazer imagem tomográfica do seres vivos
- Surgiu logo depois da Segunda Guerra Mundial
- Tem alta resolução espacial e produz imagens em tempo real, 2D, 3D e 4D

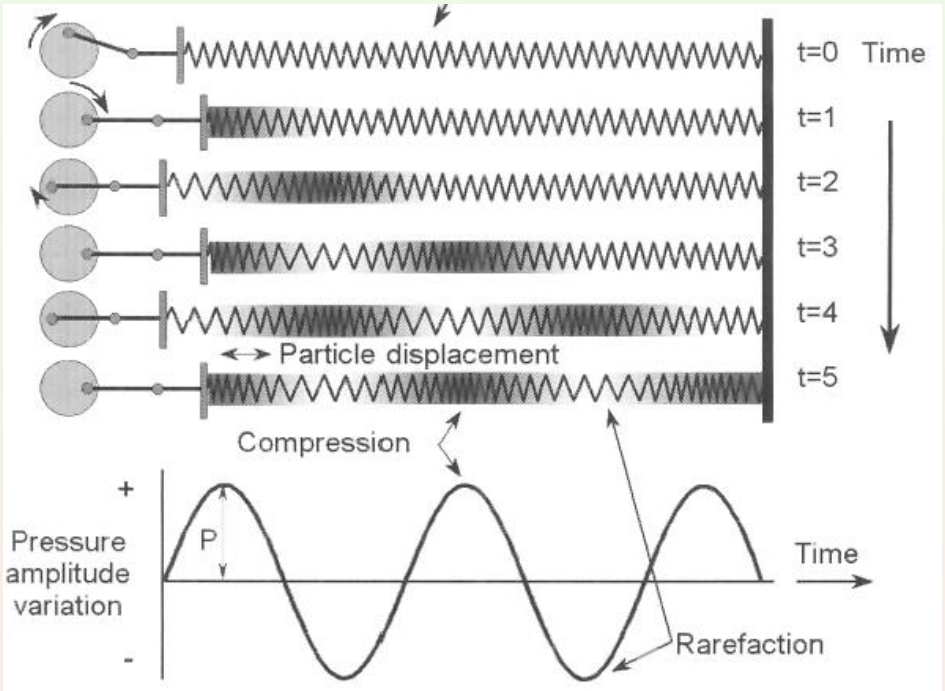
Ultrassom

Uso médico do ultrassom



Onda mecânica

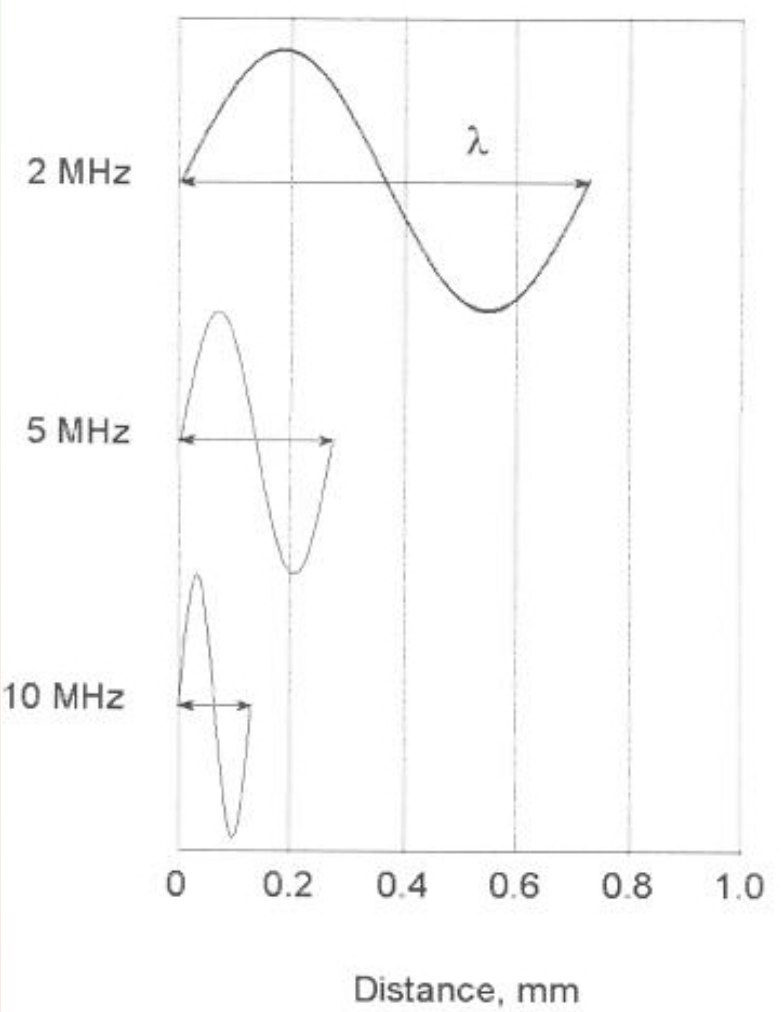
Simulação de onda mecânica



- A densidade ou pressão varia harmônicamente em cada ponto do espaço. A onda é viajante: $\propto e^{i(\bar{k}\cdot\bar{x}-wt)}$

Onda mecânica

Diagrama de ondas



Parâmetros físicos

- $v = \lambda f$: velocidade de fase da onda mecânica
- Esp. audível: 15 Hz<f<20 kHz
- Ultrassom: 2 MHz<f<10 MHz
- $v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$, B: módulo de compressão, ρ, densidade do meio
- Quanto menor é λ, melhor a resolução espacial mas menor a penetração

Onda mecânica

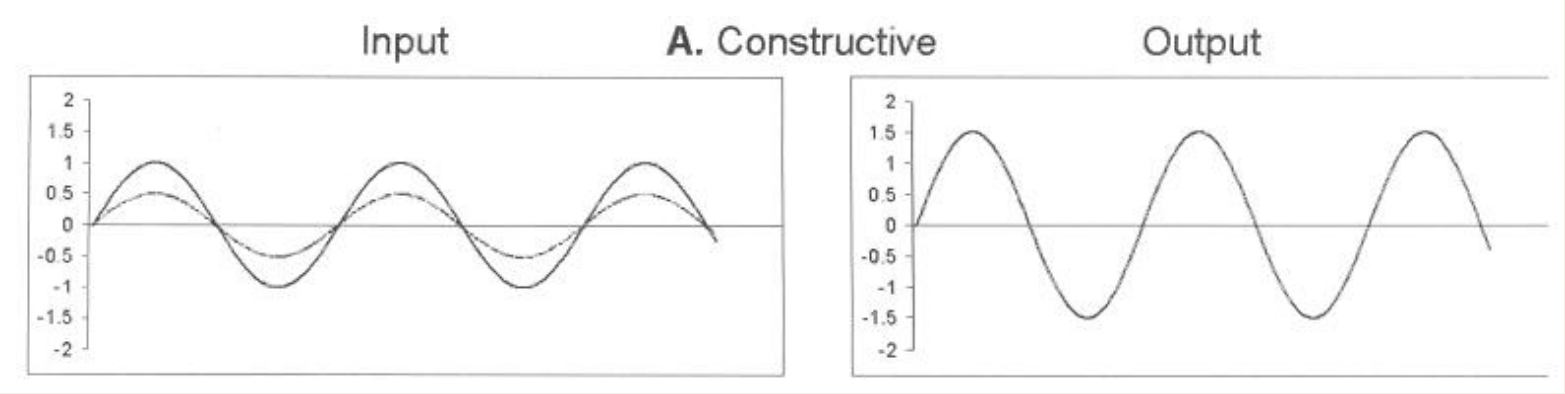
Velocidade de onda mecânica

TABLE 16-1. DENSITY AND SPEED OF SOUND IN TISSUES AND MATERIALS FOR MEDICAL ULTRASOUND

Material	Density (kg/m³)	c (m/s)	c (mm/μs)
Air	1.2	330	0.33
Lung	300	600	0.60
Fat	924	1,450	1.45
Water	1,000	1,480	1.48
Soft tissue	1,050	1,540	1.54
Kidney	1,041	1,565	1.57
Blood	1,058	1,560	1.56
Liver	1,061	1,555	1.55
Muscle	1,068	1,600	1.60
Skull bone	1,912	4,080	4.08
PZT	7,500	4,000	4.00

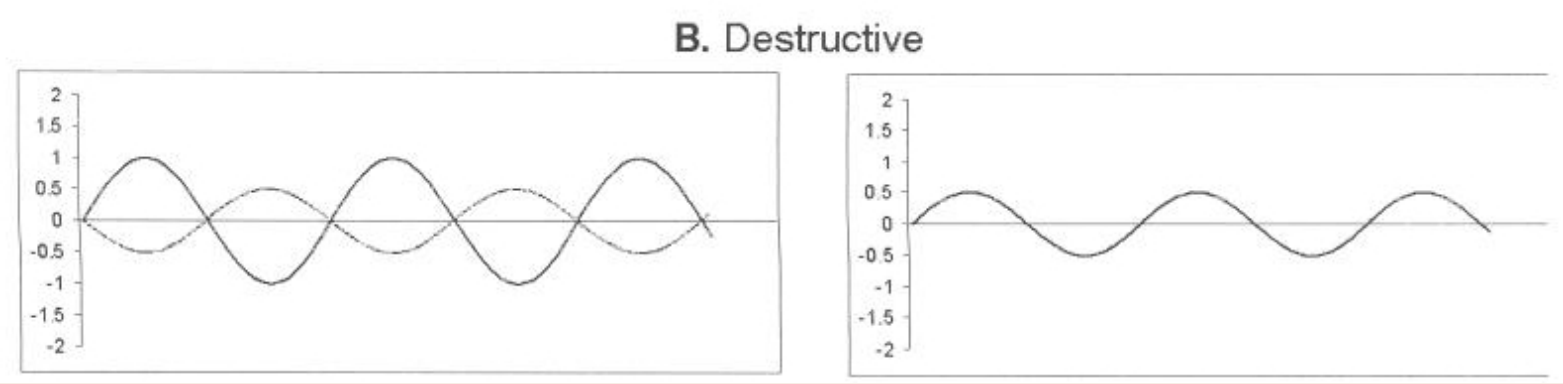
Interferência de ondas coerentes

Construtiva



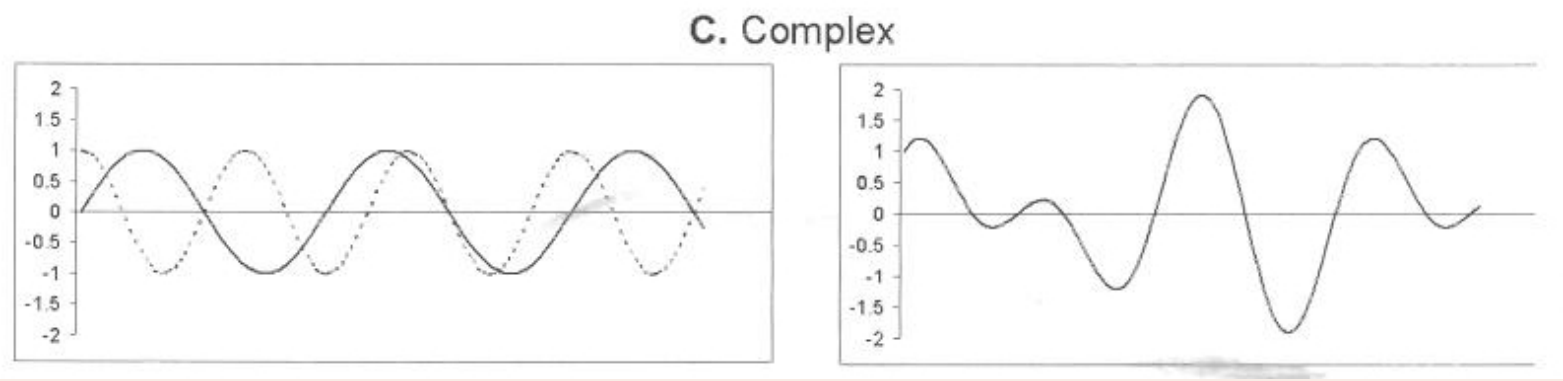
Interferência de ondas coerentes

Destrutiva



Interferência de ondas incoerentes

Complexa



Paramêtros físicos

Pressão, intensidade e decibeles

- A onda pode ser descrita a través das variações da pressão no meio
- $P(x,t) = P_0 e^{i(\bar{k}\cdot\bar{x} - wt)}$, típicamente $P_0 \propto 1MPa$ em ultrassom
- Intensidade: $I \propto P^2$
- Intensidade relativa (db)= $10log(\frac{I_2}{I_1})$
- Intensidade relativa (db)= $20log(\frac{P_2}{P_1})$
- Half value thickness: espessura de tecido que reduz a intensidade em 3 dB (50%)

Paramêtros físicos

Pressão, intensidade e decibeles

TABLE 16-2. DECIBEL VALUES, INTENSITY RATIO, AND PRESSURE AMPLITUDE RATIOS

Decibels (dB)	Intensity Ratio		Pressure Amplitude Ratio	
	I_2/I_1	Log (I_2/I_1)	P_2/P_1	Log (P_2/P_1)
0	1	0	1	0
3	2	0.3	1.414	0.15
6	4	0.6	2	0.3
12	16	1.2	4	0.6
20	100	2	10	1
40	10,000	4	100	2
60	1,000,000	6	1000	3
–3	0.5	–0.3	0.707	–0.15
–6	0.25	–0.6	0.5	–0.3
–20	0.01	–2	0.1	–1
–40	0.0001	–4	0.01	–2

Resumo

1 Ultrassom

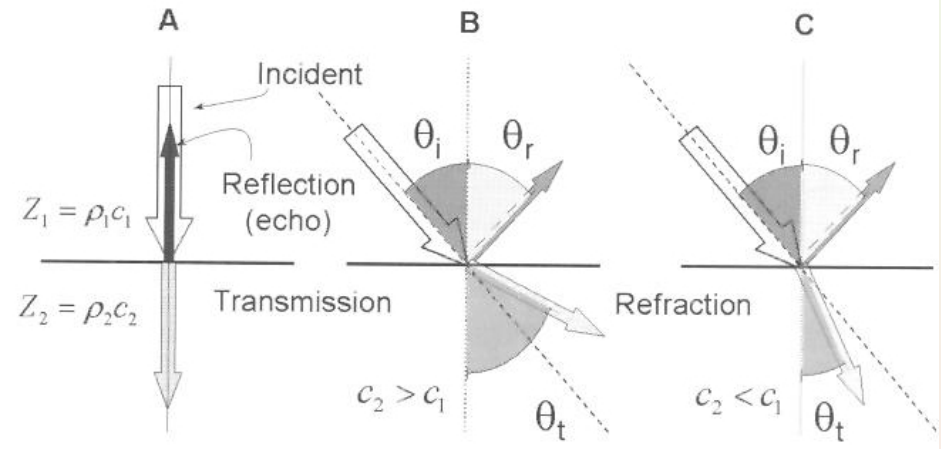
Fundamentos Físicos

Interação do ultrassom com a matéria

Transductores

Cruzamento de interfaces

Diagrama

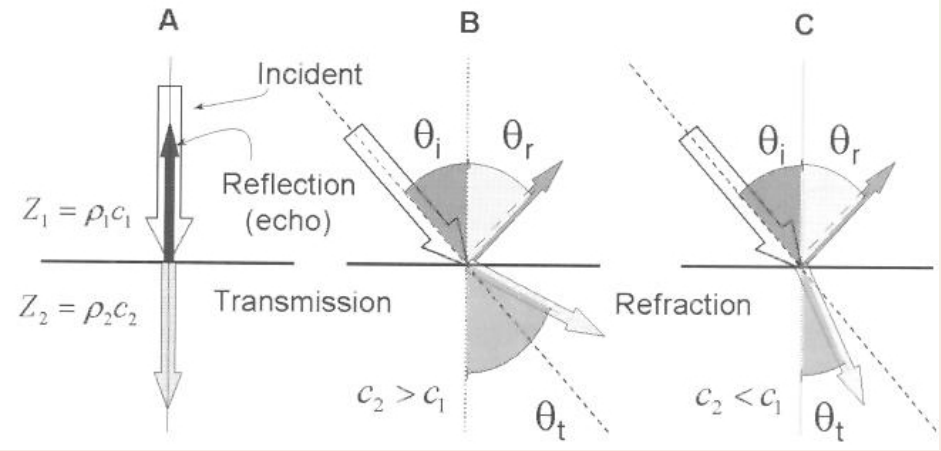


Fundamentos

- As propriedades acústicas do meio determinam o transporte da onda mecânica nele.
- Impedância acústica: $Z = \rho v = \sqrt{\rho B}$
- A reflexão e refração ocorre na fronteira entre duas zonas com diferentes impedâncias acústicas

Cruzamento de interfaces

Diagrama

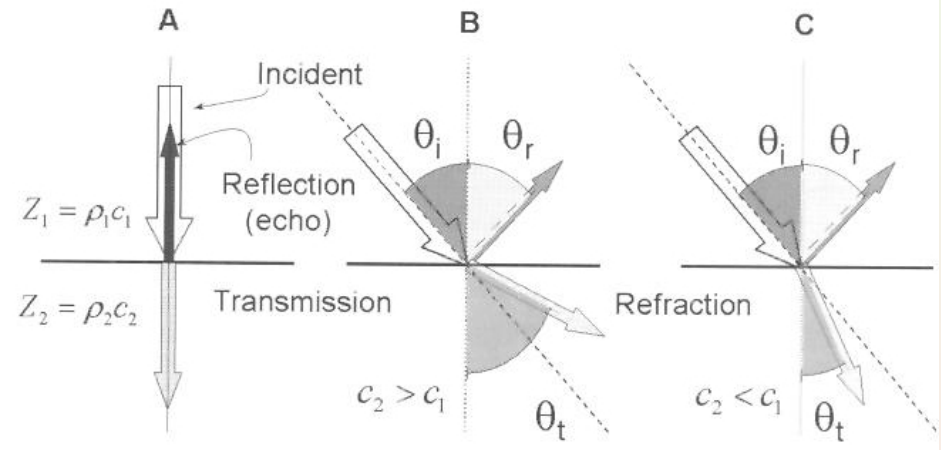


Fundamentos

- A onda mecânica segue a lei Snell (da óptica)
- Absorção da onda$\rightarrow$ calor
- Coeficiente de reflexão $R = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}\right)^2$
- Coeficiente de trasmissão $T = 1 - R$
- $R_{gordura \rightarrow msculo} = 0.015$

Cruzamento de interfaces

Diagrama



Fundamentos

- A onda mecânica segue a lei Snell (da óptica)
- Absorção da onda$\rightarrow$ calor
- Coeficiente de reflexão por intensidade $R_I = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}\right)^2$
- Coeficiente de trasmissão $T = 1 - R$
- $R_{gordura \rightarrow msculo} = 0.015$

Espalhamento

Reflexão

TABLE 16-4. PRESSURE AND REFLECTION COEFFICIENTS FOR VARIOUS INTERFACES

Tissue Interface	Pressure Reflection	Intensity Reflection
Liver–kidney	–0.006	0.00003
Liver–fat	–0.10	0.011
Fat–muscle	0.12	0.015
Muscle–bone	0.64	0.41
Muscle–lung	–0.81	0.65
Muscle–air	–0.99	0.99

$$R_P = \frac{P_r}{P_i} = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}\right)$$

Espalhamento

Fundamentos

- A amplitude da onda espalhada depende da densidade volumétrica de centros espalhadores, a diferença de impedância acústica entre as regiões e o tamanho dos centros espalhadores.
- Hiperecoico: grande amplitude de onda espalhada, muito brilhante (alta densidade de centros espalhadores, alta Z e centros grandes)
- Hipoecoico: baixa amplitude de onda espalhada, pouco brilhante (viceversa)
- Altas frequências aumentam o echo de espalhamento sobre o echo de reflexão

Atenuação da onda

Coeficientes de atenuação

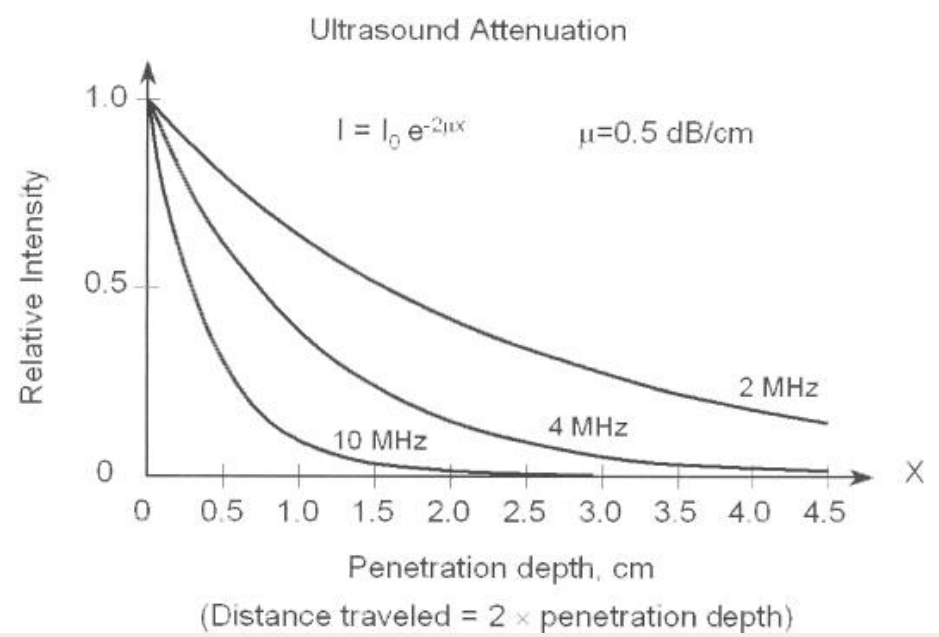
TABLE 16-5. ATTENUATION COEFFICIENTS FOR SELECTED TISSUES AT 1 MHZ

Tissue Composition	Attenuation coefficient (1 MHz beam, dB/cm)
Water	0.0002
Blood	0.18
Soft tissues	0.3–0.8
Brain	0.3–0.5
Liver	0.4–0.7
Fat	0.5–1.8
Smooth muscle	0.2–0.6
Tendon	0.9–1.1
Bone, cortical	13–26
Lung	40

- Ocorre por absorção e espalhamento
- Atenuação$\propto$frequência. Aproximadamente 0.5 dB/(cm MHz)

Atenuação da onda

Penetração da onda



Caracaterísticas

- Atenuação exponencial
- A atenuação aumenta com a frequência (mais espalhamento e dissipação de energia) Nota: fazer exemplos das pags. 482 e 483.

Resumo

1 Ultrassom

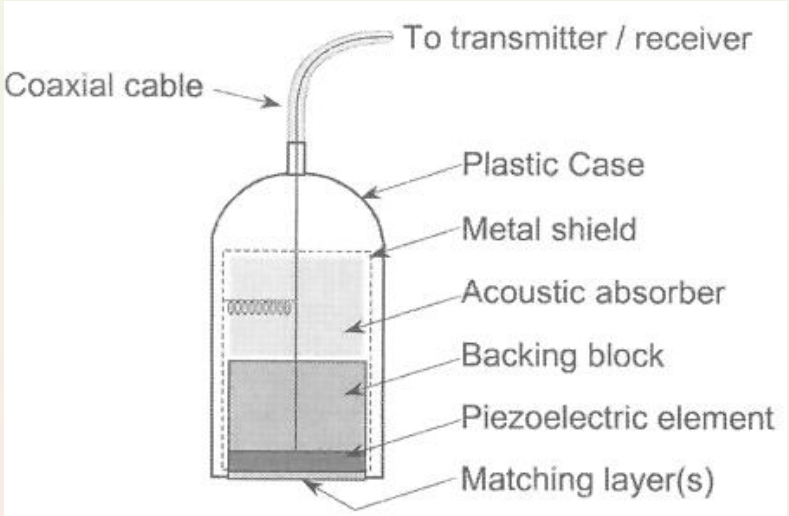
Fundamentos Físicos

Interação do ultrassom com a matéria

Transductores

Transductor

Desenho

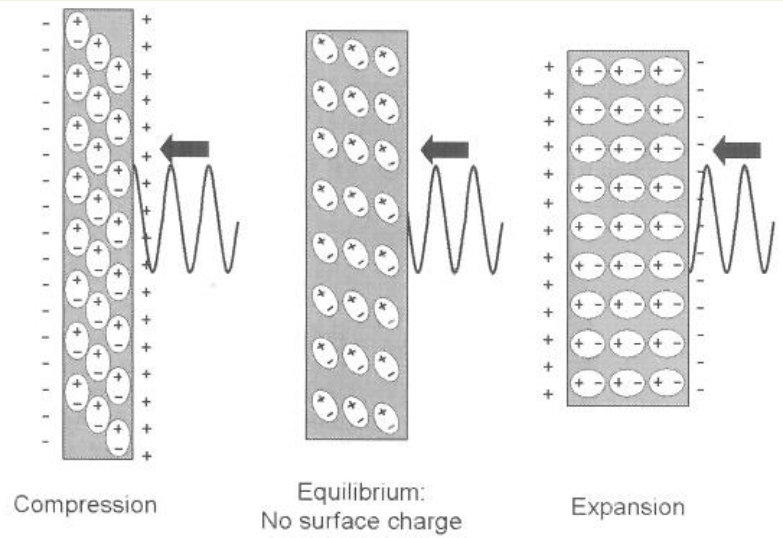


Características

- Elementos cerâmicos com características eletromecânica. Naturais e artidiciais.
- Usados en aparelhos médicos: titano-zirconato de chumbo (PZT) tratados com campos elétricos e altas temp.
- Converte energia elétrica em mecânica (produção de onda mecânica) e viceversa (detecção de onda mecânica)

Matrerial pizoelétrico

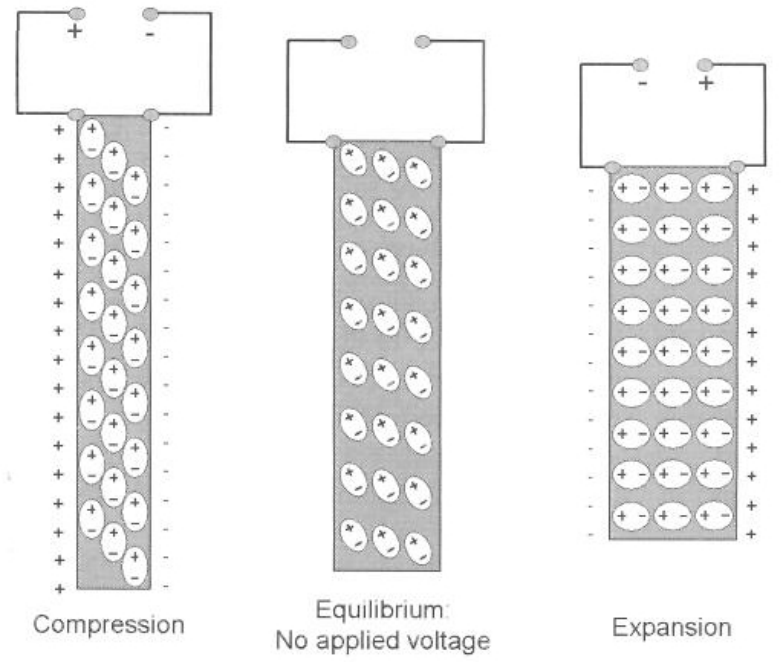
Propriedades



- Estrutura cristalina com dipolos elétricos.
- Produzem cargas de polarização superficiais quando comprimidos o dilatados
- A diferença de potencial muda de sinal quando passa de compressão a dilatação

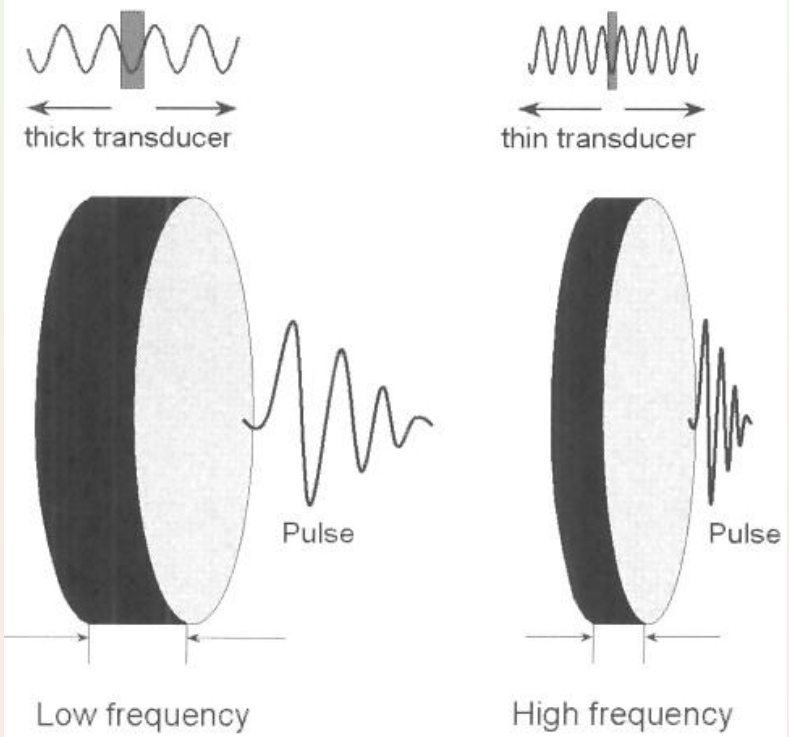
Matrerial pizoelétrico

Propriedades



- Quando aplicado uma diferença de potencial, produz-se uma deformação mecânica

Transdutores por ressonância

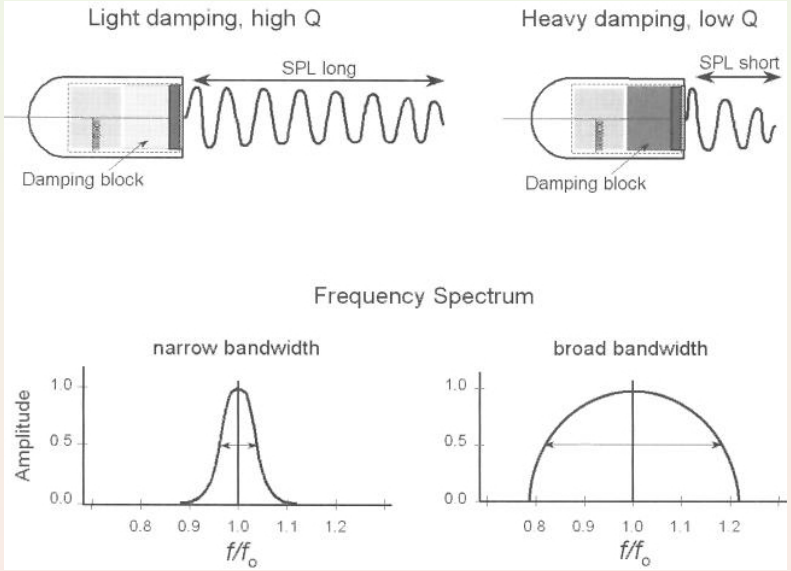


Funcionamento

- A espessura do cristal influi na frequência do pulso emitido. Ele determina o λ das ondas estacionárias. A de menor frequência tem $\lambda = 2 \times espessura$
- Um pulso de $\sim 1\mu$s e 150 V é enviado ao transdutor para contraê-lo

Transdutor

Largura de banda

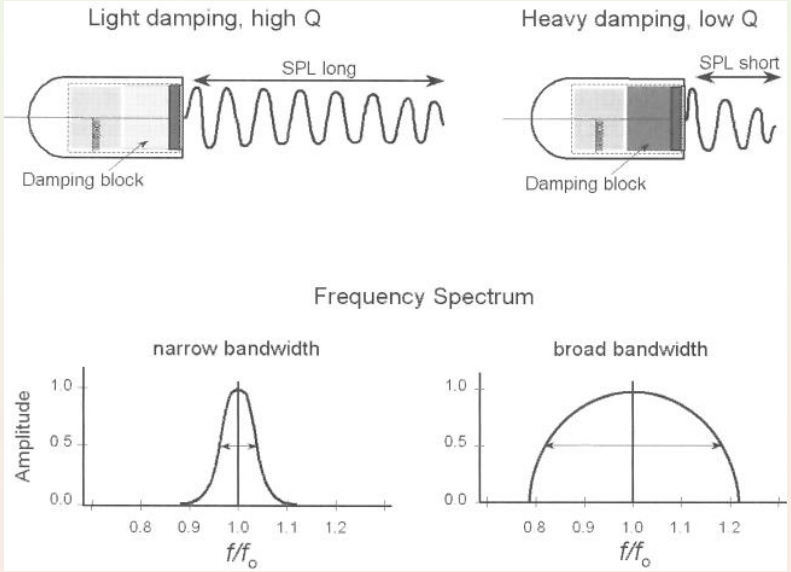


Bloco amortecedor

- Absorve a onda retro-emitida pelo material pizoelétrico
- A absorção da onda "contamina"o pulso emitido com outras componentes de frequência, incrementando a largura de banda
- Maior amortecimento, menor duração do pulso
- $Q = \frac{f_0}{Largura\ de\ banda}$

Transdutor

Largura de banda

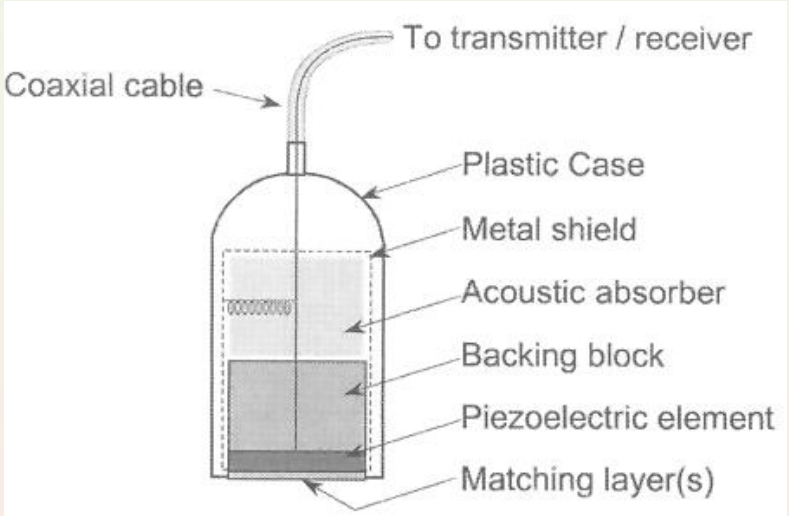


Cumprimento do pulso

- Precisa-se de um pulso espacialmente curto para ter boa resolução espacial axial
- O Doppler precisa de largura de banda estreita para ter precisão na medição da velocidade do fluxo

Transdutor

Diagrama

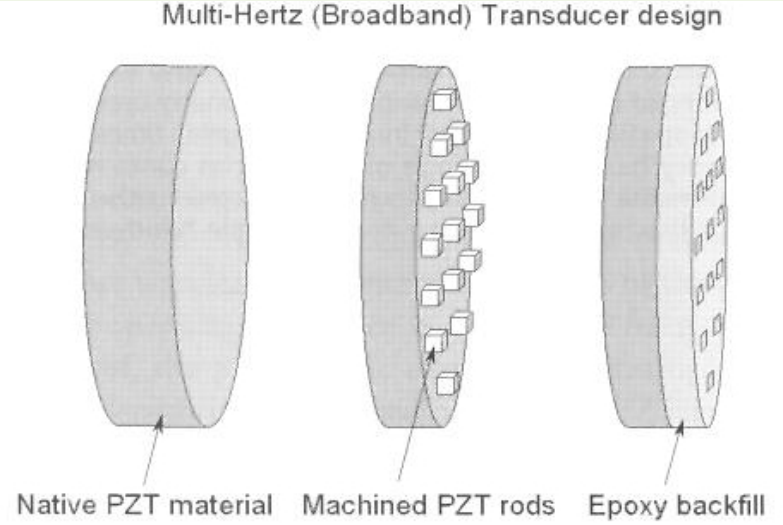


Lâmina de acoplamento

- Permite acoplar impedância do pizoelétrico com o tecido.
- Além disto, é usado um gel com Z similar ao tecido.

Transdutor não ressonante

Desenho

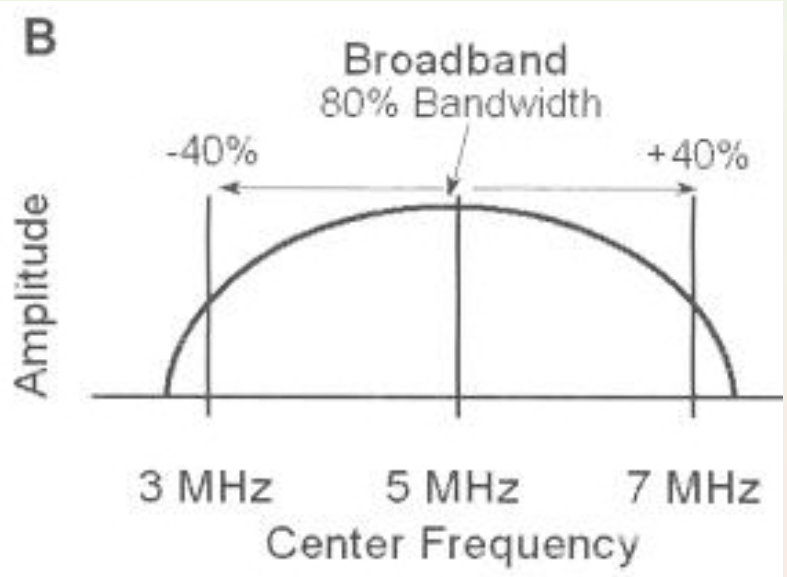


Caracterísiticas

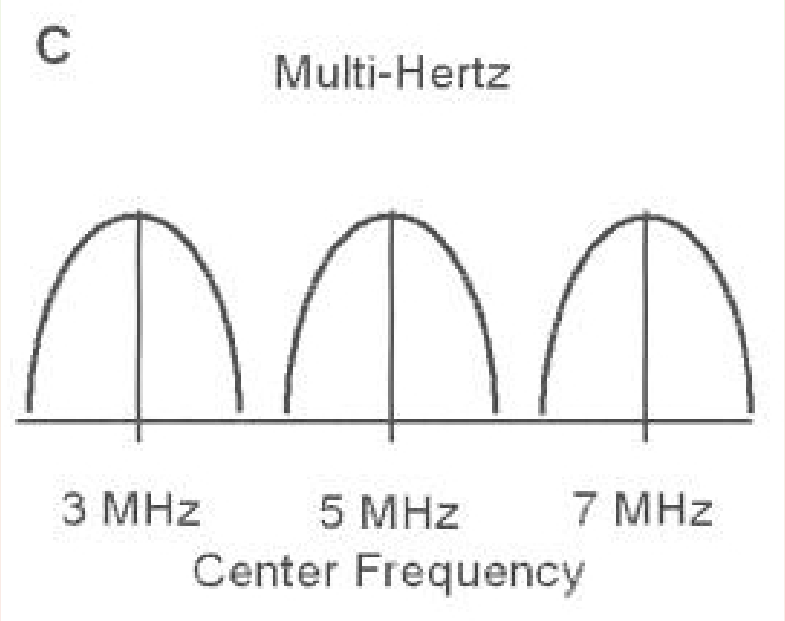
- Permitem o modo de multi-frequências
- Largura de banda ampla

Transdutor não ressonante

Ampla largura de banda

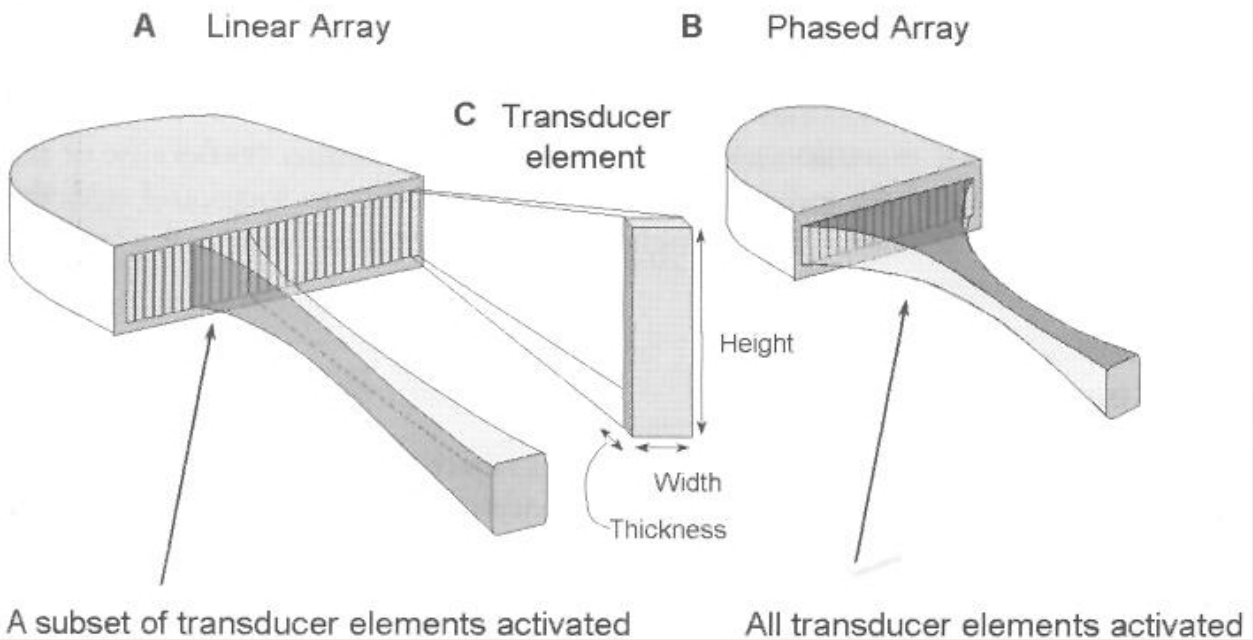


Recepção multi-frequência



Arranjos de transdutores

Desenho



- Fig. A: 256-512 transdutores
- Fig. B: 64-128 transdutores
- O feixe pode ser enfocado com o transdutor em fase