

## **Medida da atenuação e da velocidade acústica em simuladores de tecidos biológicos;**

Neste experimento será examinado: a velocidade de propagação e a atenuação da onda ultrassônica em diferentes meios materiais.

### **Teoria**

Em materiais homogêneos e isotrópicos as ondas de ultrassom se propagam em linha reta. Em materiais sólidos a propagação pode ser longitudinal ou transversal, i.e., a direção de vibrações mecânicas pode ser paralela ou perpendicular à direção de propagação da onda. A propagação da onda em líquidos e gases é praticamente longitudinal, porque não há nenhuma estrutura sólida que poderia causar vibrações na direção perpendicular.

Os principais processos que caracterizam a atenuação da energia acústica ultra-sônica no interior do tecido biológico são:

- Espalhamento
- Absorção;

Ambos os processos contribuem na caracterização da redução da amplitude de uma onda ultrassônica propagando através de um meio. A atenuação é descrita por uma função exponencial. A atenuação de uma onda acústica que se propaga em um determinado meio leva à modificação da equação da linearidade de Euler. A amplitude de vibração das partículas vai sendo

atenuada à medida que a radiação se aprofunda no tecido devido a suas propriedades visco-elásticas.

A equação abaixo é específica para excitação harmônica senoidal, em que  $p$  é a velocidade instantânea das partículas e  $p_0$  é a velocidade inicial,  $\omega$  é frequência angular e  $k$  o número de onda.

$$p(x, t) = p_0 e^{-\mu x} e^{j(\omega t - kx)} \quad (1)$$

O coeficiente de atenuação  $\mu$  é dado pela soma do coeficiente de espalhamento ( $\mu_e$ ) e o coeficiente de absorção ( $\mu_a$ ).

$$\mu = \mu_e + \mu_a \quad (2)$$

### **Espalhamento da Onda Ultrassônica em Materiais Biológicos**

A natureza do espalhamento é dependente da relação entre a dimensão do alvo e o comprimento da onda. Estruturas dentro de tecido que podem espalhar o feixe ultrassônico podem ser desde a célula ( $\sim 10 \mu m$ ) até os contornos dos órgãos. O comprimento de uma onda ultrassônica numa frequência de 5 MHz em tecido mole é de aproximadamente 0,3mm. Diferentes tipos de espalhamento ocorrem em diferentes níveis de estrutura. Classificando o espalhamento pela dimensão linear da estrutura ( $a$ ) relativo ao comprimento da onda  $\lambda$  tem-se:

1 – Para estruturas muito maiores que o comprimento de onda  $a \gg \lambda$ , tais como: Diafragma, veias, tecido mole, osso, cistos, etc, o espalhamento ocorre devido à reflexão e refração e é o que mais atenua o feixe ultrassônico dentro do corpo humano. Para esta condição, o espalhamento não depende da frequência.

2 – Nas estruturas com dimensões equivalentes ao comprimento da onda  $a \cong \lambda$ , o espalhamento da onda é predominante e ocorre por difração. Sua contribuição na atenuação do feixe acústico é considerada moderada. A região onde ocorre este tipo de espalhamento é denominada de região estocástica e sua

dependência com a frequência é variável. Por exemplo, no tecido hepático, o coeficiente de atenuação varia com a segunda potência da frequência.

3 – Nas estrutura com dimensão muito menor que o comprimento de onda  $a \ll \lambda$ , como por exemplo, o sangue, predominantemente os eritrócitos, o espalhamento é mais fraco que nas duas outras condições acima e varia com a quarta potência da frequência.

Para baixas frequências, o espalhamento responde por algo em torno de 10 -15% da atenuação total. A estrutura do tecido causa o espalhamento para muitos ângulos. Ambos, absorção e espalhamento, são dependentes da frequência.

### **Reflexão e Refração em uma Superfície Plana**

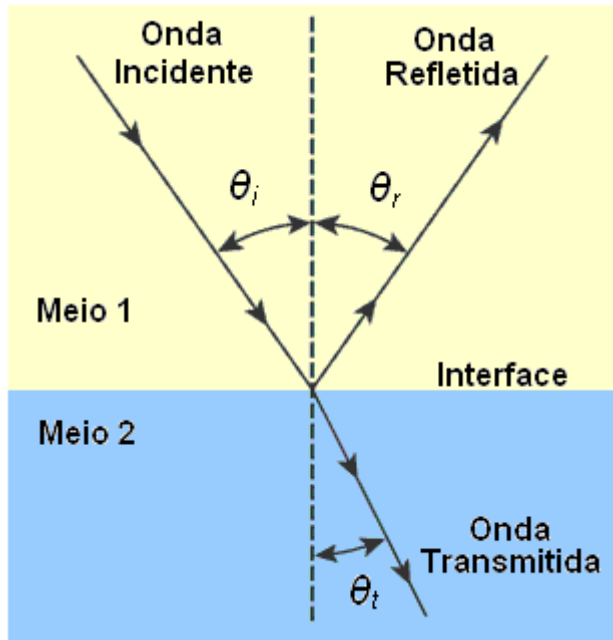
Quando uma onda se encontra na interface de dois meios diferentes, ela pode ser parcialmente refletida. A onda refletida retorna em uma direção negativa, através do meio incidente, com a mesma velocidade com a qual ela se aproximou da interface. A onda transmitida continua a mover-se no meio na direção positiva. Da mesma forma que em óptica, as leis geométricas da reflexão são aplicadas, e os ângulos de incidência e reflexão são iguais no mesmo plano para uma onda longitudinal. Entretanto, se o comprimento da onda ultrassônica é comparável com, ou maior que, as dimensões do objeto refletor, as leis geométricas da óptica, neste caso se aplicam. Entretanto, assumido que o comprimento da onda é pequeno comparada com as dimensões da interface, e considerada plana e perpendicular ao plano de propagação, a reflexão é dita ser especular.

Na figura 1 os sufixos  $i$ ,  $r$  e  $t$  referem às ondas incidente, refletida e transmitida. Como em óptica,

$$\theta_i = \theta_r$$

E, na ordem para manter a coerência da forma da onda, ou seja, pela aplicação da lei de Snell, em que  $c_1$  e  $c_2$  são, respectivamente as velocidades das ondas no meio 1 e no meio 2.

$$\text{Sen}\theta_i / \text{Sen}\theta_r = c_1 / c_2 \quad (2)$$



**Figura 1** Mostra o comportamento da onda incidente na fronteira entre dois meios.

A taxa da amplitude das ondas refletidas ( $P_r$ ) e transmitidas ( $P_t$ ) numa interface com diferentes impedâncias é dada por:

$$\frac{p_r}{p_i} = \frac{Z_2 \cos\theta_i - Z_1 \cos\theta_t}{Z_2 \cos\theta_i + Z_1 \cos\theta_t} \quad (3)$$

e

$$\frac{p_t}{p_i} = \frac{2Z_2 \cos\theta_i}{Z_2 \cos\theta_i + Z_1 \cos\theta_t} \quad (4)$$

Em uma incidência normal,  $\theta_i = \theta_t = 0$ , as equações (3) e (4) se tornam:

$$\frac{p_r}{p_i} = \frac{(Z_2 - Z_1)}{(Z_2 + Z_1)} \quad (5)$$

e

$$\frac{p_t}{p_i} = \frac{2Z_2}{(Z_2 + Z_1)} \quad (6)$$

Se  $Z_1 = Z_2$ ,  $p_r/p_i = 0$ , logo não tem reflexão de onda.

Se  $Z_1 > Z_2$ , a onda de pressão refletida está em fase com a onda incidente.

As taxas de intensidades refletidas e transmitidas são dadas por:

$$\frac{I_r}{I_i} = \left( \frac{Z_2 \cos\theta_i - Z_1 \cos\theta_t}{Z_2 \cos\theta_i + Z_1 \cos\theta_t} \right)^2 \quad (7)$$

e

$$\frac{I_t}{I_i} = \frac{4Z_2 Z_1 \cos\theta_i \cos\theta_t}{(Z_2 \cos\theta_i + Z_1 \cos\theta_t)^2} \quad (8)$$

Em uma incidência normal,  $\theta_i = \theta_t = 0$  a equação (7) e (8) se tornam:

$$\frac{I_r}{I_i} = \left( \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right)^2 \quad (9)$$

$$\frac{I_t}{I_i} = \frac{4Z_2Z_1}{(Z_2 + Z_1)^2} \quad (10)$$

Se  $Z_2 \gg Z_1$  ou  $Z_2 \ll Z_1$ ,  $I_r/I_i = 1$ , correspondendo à reflexão total na interface.

A tabela abaixo mostra as taxas de reflexão da pressão e da intensidade para incidência normal nas principais interfaces no tecido biológico.

A impedância acústica para uma onda plana se propagando em meio fluido é definida pela equação

$$Z = \rho c \quad (11)$$

## Medida da Velocidade do Som

O tempo,  $t_a$ , gasto para atravessar a distância  $d$  através da água é  $t_a = d/c_a$  sendo  $c_a$  a velocidade do som na água. Quando o cilindro está presente o tempo,  $t_m$ , para atravessar o novo caminho é  $t_m = d/c_m$ . A mudança no tempo da fonte para o receptor é então

$$\Delta t = t_a - t_m = d \left( \frac{1}{c_a} - \frac{1}{c_m} \right) \quad (12)$$

Resolvendo para a velocidade no material  $c_m$ , tem-se:

$$c_m = \frac{c_a}{1 - c_a \Delta t / d} \quad (13)$$

Note que, se a variação de tempo  $\Delta t$  é positivo implica que  $c_m > c_a$

### **Medida do Coeficiente de Atenuação ( $\alpha$ )**

Um método convencional de medir a atenuação acústica em um determinado material é medindo a pressão acústica transmitida e refletida no mesmo, imerso em água.

O coeficiente de atenuação da água é da ordem de 0,0002 dB/cm/MHz sendo um valor muito baixo quando comparado aos das amostras biológicas. Portanto, pode-se ignorar a atenuação presente na água, assumindo como sendo um meio não dispersivo. Depois de medidos a amplitude do sinal com e sem a presença da amostra, a atenuação,  $\alpha$  em dB/cm pode ser expressa como sendo igual a:

$$\alpha = -\frac{20}{d} \log_{10} \left( \frac{A_o}{A} \right) \quad (14)$$

## **Procedimento Experimental**

### ***Equipamentos***

- Cuba acústica com os transdutores emissor e receptor (1,1 MHz) acoplados;
- O sistema Transmissor/Receptor acústico;
- Gerador de função;
- Osciloscópio;

- Amostras com diferentes impedâncias e espalhadores acústicos: Um disco de acrílico, um de PVC, um de teflon (espessura = 1 cm; diam = 5 cm) e 6 amostras (espessura = 2,5 cm, diam = 7 cm) de parafina gel com diferentes concentrações de pós de vidro (0%-10%).

Montar o experimento de acordo com a figura 2. Conectar o gerador no transdutor de excitação e o transdutor receptor direto no osciloscópio.

- 1 – Configurar o gerador no modo Burst com 1 ciclo de uma onda quadrada e 10 ms de repetição, amplitude de 1 Volts e frequência de 1.1 MHz.
- 2 – Avaliar o pulso acústico (frequência central e comprimento). Observar que o perfil do pulso é característica das propriedades do transdutor e que a frequência avaliada é a natural da cerâmica.
- 3 – Inserir amostras entre o emissor e o receptor. Observar as variações no tempo e na amplitude do pulso transmitido e preencher a tabela.
- 4 – A partir desses dados da tabela, determinar:
  - A velocidade acústica para cada material (ver a **equação 12 e 13**);
  - A impedância acústica das amostras;
  - O coeficiente de atenuação para cada amostra (ver a **equação 14**).

**Discutir o relatório com relação à:**

- Variação da velocidade e da atenuação acústica nos diferentes materiais (teflon, Acrílico, PVC, parafina gel) ;
- Variação da velocidade e da atenuação acústica nas parafinas com diferentes concentrações de pó de vidro;

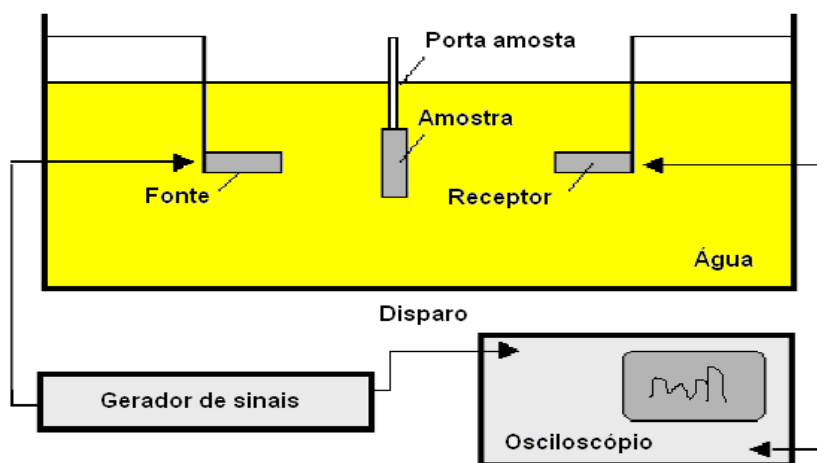
**OBS: A distancia  $d$  entre o transdutor emissor e receptor é de 10,15 cm**

<b>Amostra</b>	<b>Amp(Volts)</b>	<b>t (s)</b>
Sem amostra		
Acrílico (m= 27 g)		
PVC (m = 32 g)		

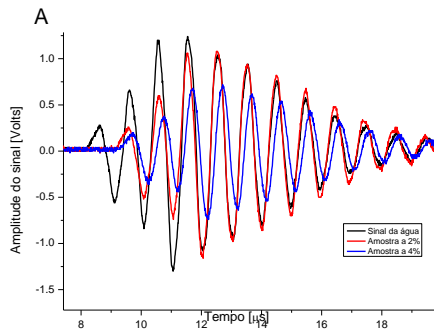


Teflon (m= 49)		
Parafina ( <b>m=85 g</b> )		
Parafina + 2% <b>pó de vidro</b>		
Parafina + 4% <b>pó de vidro</b>		
Parafina + 6% <b>pó de vidro</b>		
Parafina + 8% <b>pó de vidro</b>		
Parafina + 10% <b>pó de vidro</b>		

Amp = Amplitude pico a pico do pulso transmitido;  $t$  = tempo referente ao primeiro pico do pulso (ver de detalhes de  $t$  e de **Amp** figura 4)

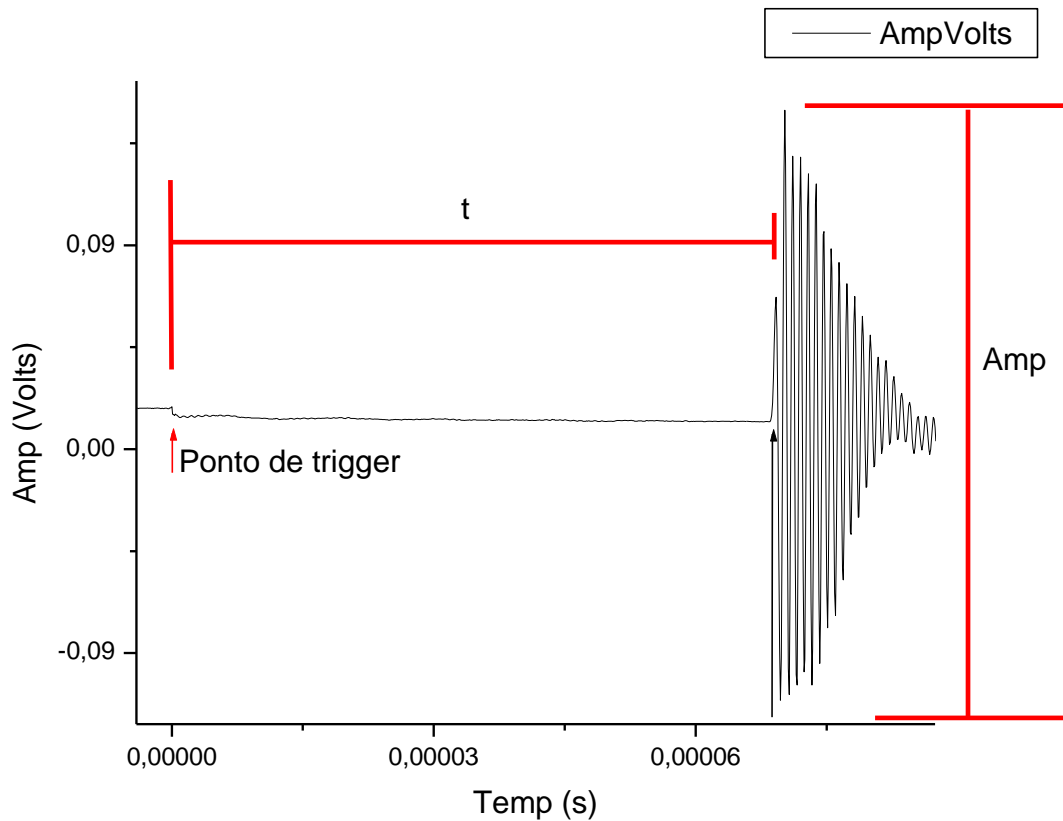


**Figura 2.** Esquema do aparato utilizado para realização das medidas da velocidade do som e do coeficiente de atenuação e meios materiais.



**Figura 3:** A) Ex. de sinais provenientes da transmissão do pulso ultrassônico pelas amostras com diferentes velocidades e atenuações.

A figura abaixo (fig 4) ilustra uma janela sinal típico do pulso de excitação entre o momento da excitação e a chegada do pulso no transdutor receptor.



**Figura 4:** Exemplo de uma medida do pulso de transmissão.

**Modelo do relatório:**

Relatório em grupo, contendo uma introdução, metodologia, resultado e discussão dos resultados. Discutir cada observação e fazer uma comparação entre o observado e a propagação da onda ultrassônica em tecidos biológicos.