

T7. Caracterização de materiais através de ultra-som

03-11-2021

Objetivos:

conhecer o potencial de medição proporcionado pela propagação de ondas acústicas em meios materiais, a partir de medidas de tempo de via

Utilizando duas sondas diferentes, estudar a influência da frequência de sinal na:

- determinação da velocidade do som no acústico
- atenuação de ultra-som em materiais (calcular constante de atenuação)
- determinação do poder de resolução

Introdução Técnica:

mísc 1: 1-007

mísc 2:

Ecografia - utilização de ondas mecânicas através de meios acústicos e receção, em condições controladas, de sinal refletido/transmitido na forma de um ecogramma.

Transdutor piezoelettrico - gera impulsos periódicamente. Após cada impulso para o modo de escuta convertendo ondas de pressão recebidas em sinal de tensão elétrica.

Calculo da constante de atenuação:

A longo da propagação, a onda sofre atenuação devido a vários fatores (reflexão e processos de absorção e espalhamento).

A lei de atenuação da intensidade da onda é a seguinte:

$$I = I_0 e^{-2\mu n'} \quad (1)$$

$$I_0 = \text{intensidade excitadora}$$
$$\mu = \text{coeficiente de atenuação}$$
$$n' = \text{caminho no meio}$$
$$\ln\left(\frac{I}{I_0}\right) = -2\mu n' \quad \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) = 2\mu n'$$

$$\therefore \ln\left(\frac{A_0}{A}\right) = \frac{\mu n'}{m}$$

Calculo da velocidade do som

Os transdutores têm uma camada protetora sobre a superfície ativa, que introduz um tempo adicional sobre o tempo de voo ao longo da amostra. Assim, temos um termo extra na equação do tempo de voo.

$$t = t_{2L} + \frac{2\alpha}{c} \quad (2)$$

t = tempo voo
 t_{2L} = tempo nondo demora a passar pela camada protetora
 α = caminho no meio
 c = velocidade do som

Para o cálculo de c conseguimos evitá-lo usando t_{2L} considerando o seguinte:

$$t_{2L} = t_1 - \frac{2\alpha_1}{c} = t_2 - \frac{2\alpha_2}{c}$$

$$\Rightarrow c = \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{t_1 - t_2} \quad (3)$$

A eq. (3) também elimina potenciais erros que advinham da reflexão na interface de entrada no material, onde o material é mais fraco.

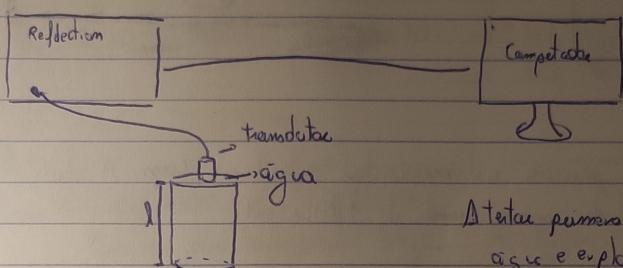
Método de impressão US:

A-Scan:
 -> vetor de valores de intensidade do eco US em função da profundidade
 -> pode ser identificado como um vencimento axial

B-Scan:
 -> imagem representativa de um corte secional da amostra em teste
 -> construído pelo efeito sequencial de um conjunto de A-Scan recolhidos sequencialmente no espaço

Método Experimental

- [1] Propriedades acústicas do acrílico a partir de software A-Scan
- medir o comprimento, l , dos 3 cilindros com menor altura



A tetar primeiro para uma jata de água e explorar as melhores formas de visualizar no software

- Ligar a sonda de 1 MHz à entrada "Probe (reflection)" e posicionar o reflector em "Reflection"
- No software, ajustar parâmetros para que a altura da pico preencha pelo menos 75% de janela.

Medir:

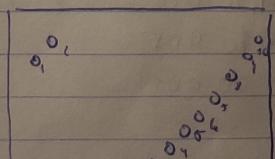
- período das ondas US refletidas
- largura do impulso quando o ganho é 50%
- tempo de voo
- medição para estimar μ
- ganho

→ Estimar c e T_{2L} → colocar no programa

→ Repete para 3 cilindros

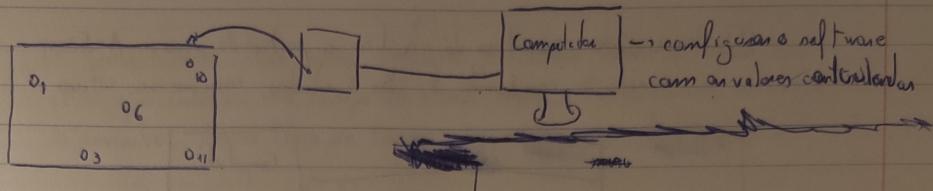
→ Repete o procedimento para a sonda de 2 MHz

- [2] Análise do desempenho dos transdutores



→ medir em diferentes ângulos direcionais e superfícies (água ou cerâmica)

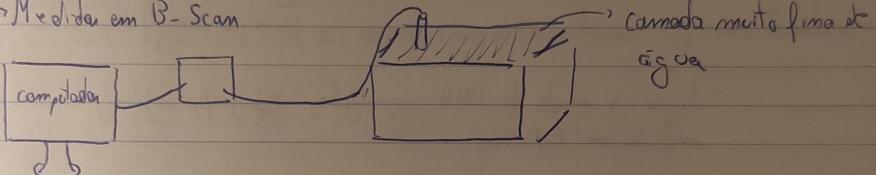
→ Medidas em A-Scan



- Medida + voz

- determinar as posições e dimensões das estruturas com A-Scan
- repetir as medidas com a taxa de 1MHz para

→ Medidas em B-Scan



→ ~~atirado de exp. med.~~
→ ~~atirado para exp.~~

⚠️, regular as medições de saída dos transdutores,

- . abrir o programa "measures ultra Echo" → menu options → paramètres → deselec a opção "time shift enabled".

| Atividade Experimental |

04/14/2021

Média 1 : 1 - 007

$$C_i = 2740,6 \text{ mm}^{-1}$$

Média 2 : 1 - 059

Comprimentos
cilindro 1 - ~~18,740~~ ^{misuratore} _{18,740 ± 0,005} mm
_{(18,725 ± 0,015) mm}
_{(18,760 ± 0,015) mm}

paralelepípedo
1. lado 2 - l ^{endo} ₂
_{(39,90 ± 0,05) mm}
_{(40,10 ± 0,05) mm}
_{(40,00 ± 0,05) mm}

1. lado 3 - l ^{endo} ₂
_{(80,50 ± 0,05) mm}
_{(80,45 ± 0,05) mm}
_{(80,45 ± 0,05) mm}

Paralelepípedo
d _{(40,55 ± 0,05) mm}
_{(40,50 ± 0,05) mm}
_{(40,60 ± 0,05) mm}

d _{(40,75 ± 0,05) mm}
_{(40,40 ± 0,05) mm}
_{(40,25 ± 0,05) mm}

d _{(40,50 ± 0,05) mm}
_{(40,20 ± 0,05) mm}
_{(40,28 ± 0,05) mm}

$$\begin{array}{l} \text{(comprimento)} \\ \text{Cilindro 4 - 47,9} \\ \left[\begin{array}{l} 120,5 \pm 0,025 \\ 120,5 \pm 0,025 \\ 120,5 \pm 0,025 \end{array} \right] \end{array}$$

7 - 29,4 - 16,0

28,9 - 14,9 - 14,9

$$\text{Bucaco 1: } d = 15,00 \pm 0,025 \text{ mm}$$

$$\text{Bucaco 10: } d = 61,50 \pm 0,025 \text{ mm}$$

$$60,80 \pm 0,025 \text{ mm}$$

61,175

$$\text{Bucaco 5: } d = 38,55 \pm 0,025 \text{ mm}$$

Análise

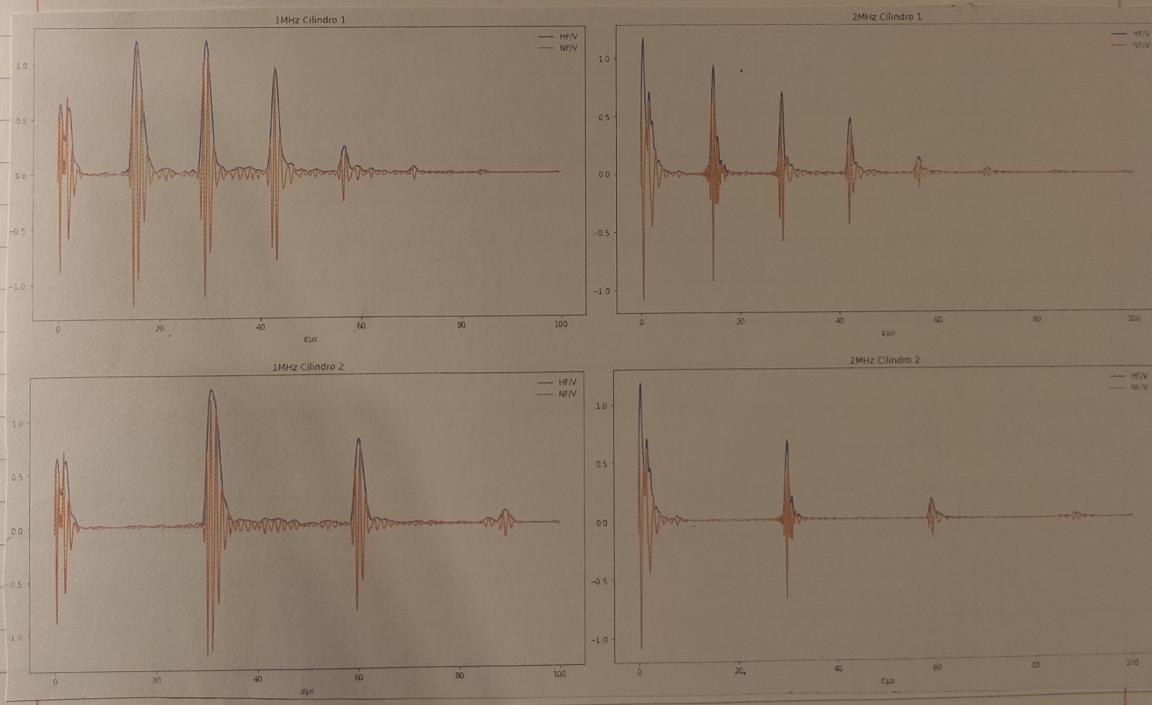
$$V_{\text{sono}} \text{ acústico} = 2730 \text{ m s}^{-1} \text{ [valor teórico]}$$

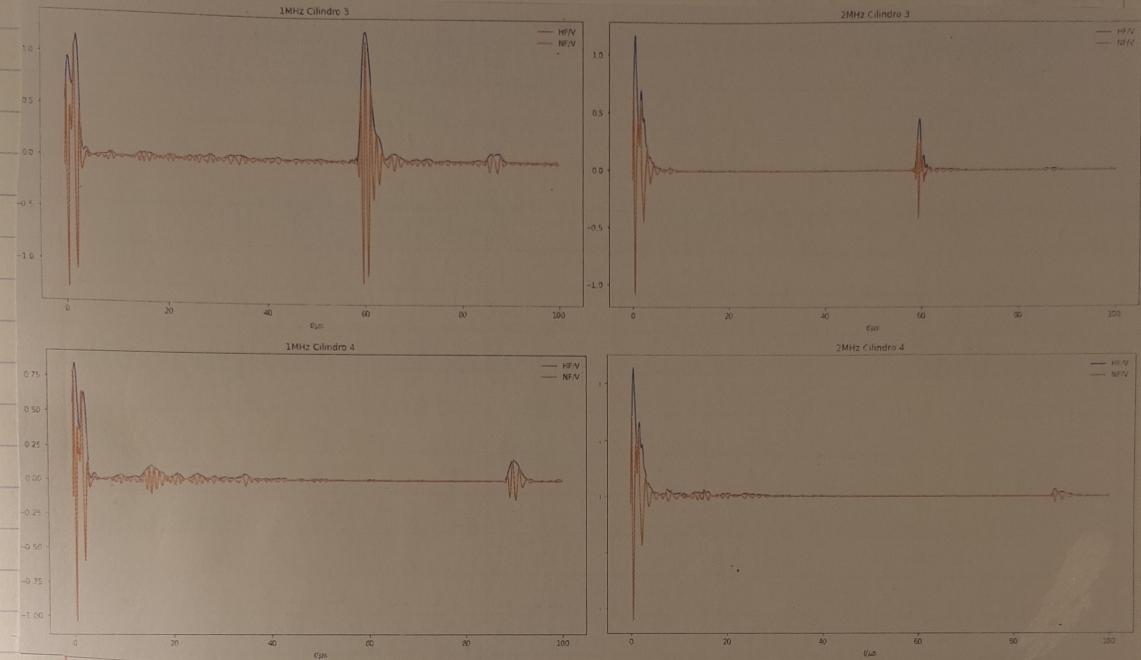
Por:

$$\text{Para os dois transdutores: } \lambda = \frac{c}{f} \quad \lambda_1 = \frac{2730}{2,730 \cdot 10^6} \text{ m} \quad 10 | 11 | 2021$$

$$\boxed{1} \text{ Preparação das curvas de acústica a partir do A-Scan: } \lambda_2 = \frac{2730}{2 \cdot 10^6} = 1,365 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

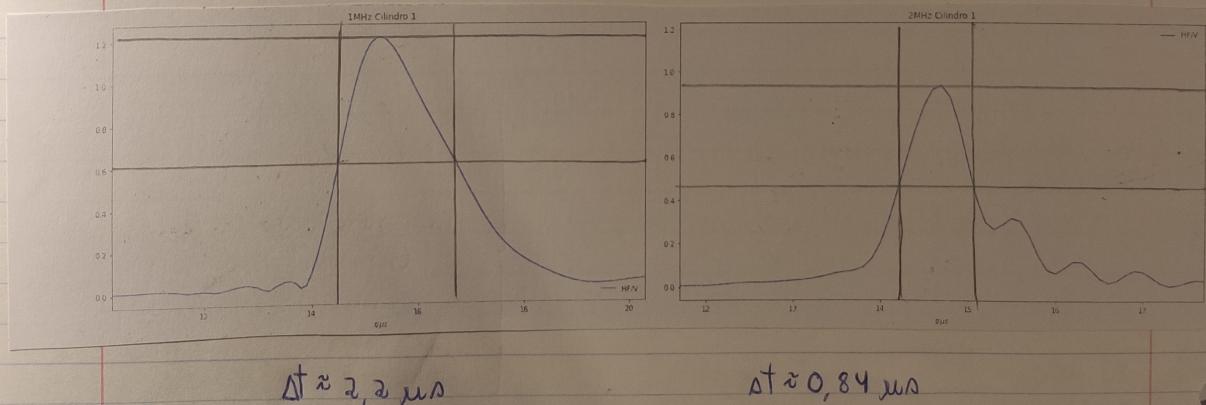
Sinais visualizados:

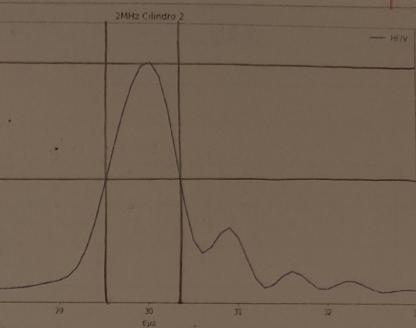
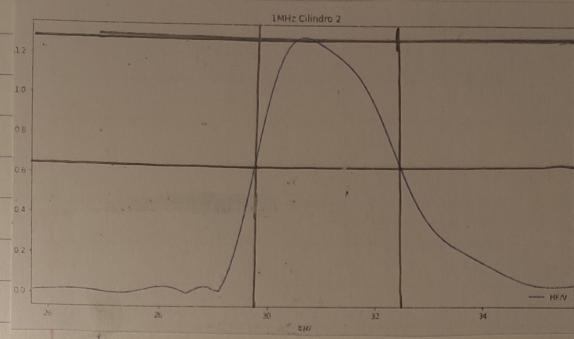




Observando os graficos notamos que quanto maior é a altura do cilindro, menor pico se notam e com menor intensidade (foi preciso aumentar o ganho nos ultimos graficos para não se notar tanta diferença). Isto vai de acordo com o esperado, uma vez que quanto maior é o cilindro maior é o resso e maior é a dissipação da energia no meio.

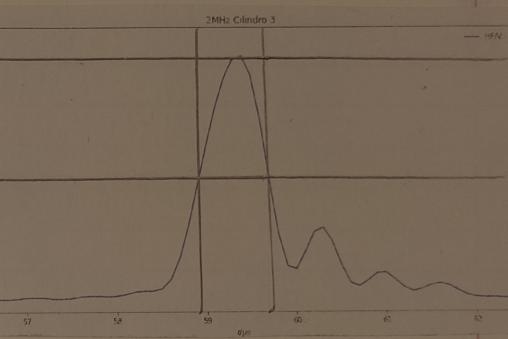
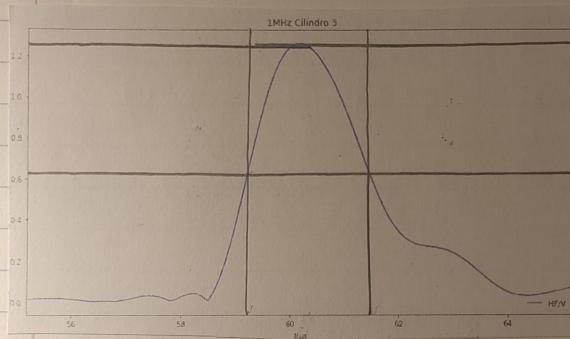
Ampliando cada um dos graficos num impulso bem definido, e tornando a largura a meia altura de amplitude como retinutiva para a resolução temos:





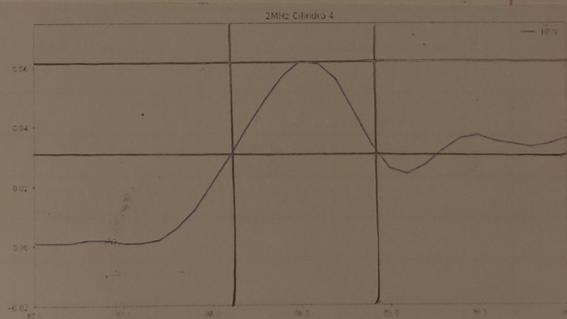
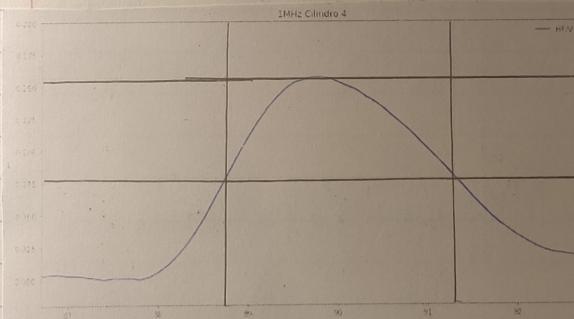
$\Delta t \approx 2,7 \mu s$

$\Delta t \approx 0,82 \mu s$



$\Delta t \approx 2,2 \mu s$

$\Delta t \approx 0,77 \mu s$



$\Delta t \approx 2,6 \mu s$

$\Delta t \approx 0,82 \mu s$

Analizando os resultados obtidos podemos concluir que a largura armada altitude dos impulsos gerados pelo transdutor de 2MHz é cerca de 0,80μs e do gerado pelo transdutor de 1MHz de 2,5μs. Isso de espera este resultado visto que $\lambda_2 < \lambda_1$ (comprimento de onda ultrasonica dos transdutores)

Tabelas de dados:

micrometros

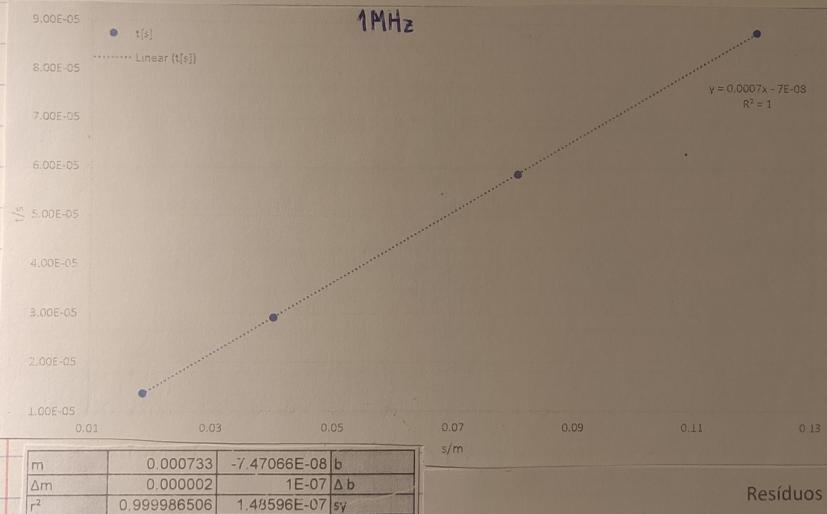
Cilindro	s/mm	$\mu(s)/mm$	$\langle s \rangle /mm$	$\mu(\langle s \rangle)/mm$
1	18.740	0.005	18.74	0.01
	18.725			
	18.760			
2	39.90	0.03	40.00	0.06
	40.10			
	40.00			
3	80.50	0.03	80.47	0.03
	80.45			
	80.45			
4	120.50	0.03	120.50	0.03
	120.50			
	120.50			

Claveis

Transdutor	Cilindro	t/s	s/m
1MHz	1	1.378E-05	0.01874
	2	0.0000292	0.04000
	3	0.0000588	0.08047
	4	0.0000884	0.12050
2MHz	1	1.39E-05	0.01874
	2	2.92E-05	0.04000
	3	5.90E-05	0.08047
	4	8.80E-05	0.12050

t calculado pela média das diferenças de tempo entre picos $\Delta t = \sqrt{(0,1)^2 + (0,1)^2} \approx 0,1$

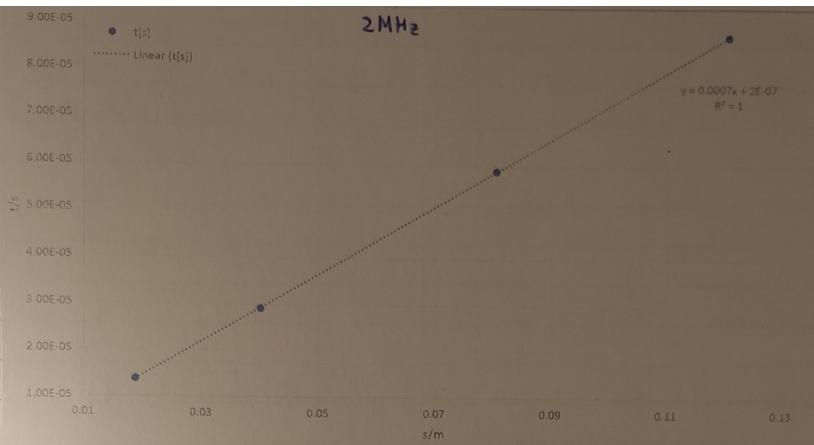
Vêm então as regressões lineares:



Resíduos 1 MHz



Bem residuo, não apresentam tendências paralelas (o que seria difícil ser visto se reduzido numero de pontos).



m	0.000729	2.19113E-07	b
Δm	0.000002	1E-07	Δb
r^2	0.999986717	1.4652E-07	s_y

Residuos 2 MHz



Bom resultado, não
apresentam tendência paralela

$$\text{e utilizando a equação } t = \frac{t_{2L}}{b} + \frac{2}{m} \text{ para calcularmos}$$

$$1 \text{ MHz} \left\{ C_{1 \text{ MHz}} = (2727 \pm 7) \text{ m} \Omega^{-1} \right.$$

$$t_{2L} = \cancel{(2744 \pm 7) \text{ m} \Omega^{-1}} \quad (-0,08 \pm 0,1) \mu \Omega$$

$$2 \text{ MHz} \left\{ C_{2 \text{ MHz}} = (2744 \pm 7) \text{ m} \Omega^{-1} \right.$$

$$t_{2L} = (0,2 \pm 0,1) \mu \Omega$$

$$1 \text{ MHz} \left\{ C_{1 \text{ MHz}} = \cancel{(2727 \pm 7) \text{ m} \Omega^{-1}} \quad \mu(C_{1 \text{ MHz}}) = 0,3\% \right.$$

$$\mu(t_{2L,1 \text{ MHz}}) = 142\% \quad \left. \begin{array}{l} \text{valores} \\ \text{altas} \end{array} \right\}$$

$$2 \text{ MHz} \left\{ \right.$$

$$\mu(C_{2 \text{ MHz}}) = 0,3\%$$

$$\mu(t_{2L,2 \text{ MHz}}) = 50\% \quad \left. \begin{array}{l} \text{altas} \\ \text{altas} \end{array} \right\}$$

Analisando os valores obtidos, constatou-se que as velocidades foram medidas com exatidão com erros em torno de 1% e $C_{1\text{MHz}} = 0,1\%$ e $C_{2\text{MHz}} = 0,5\%$.

Quanto aos time-shift obtidos apresentam uma incerteza extremamente elevada e diferem das as valors obtidas pelas quais que também realizaram a experiência. Tal pode se dever a um erro muito grande de ação que induz incerteza na experiência, ou anterioras calibrações que não tenham sido notadas. Podemos concluir que t_{2L} foi mal calculado.

• Utilizando a equação $C = 2 \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{t_1 - t_2}$ descartando o termo t_{2L} , para

os 4 cilindros temos ($4C_2$) 6 combinações possíveis para cada transdutor, os resultados das cálculos encontram-se no seguinte tabela:

1MHz			
medidas	c/ms^{-1}	$\mu(c)/\text{ms}^{-1}$	$\mu(c)/\%$
1 com 2	2756	26	1
1 com 3	2742	9	0.3
1 com 4	2727	5	0.2
2 com 3	2734	14	0.5
2 com 4	2720	7	0.3
3 com 4	2705	13	0.5

2MHz			
medidas	c/ms^{-1}	$\mu(c)/\text{ms}^{-1}$	$\mu(c)/\%$
1 com 2	2780	27	1
1 com 3	2740	9	0.3
1 com 4	2748	5	0.2
2 com 3	2719	14	0.5
2 com 4	2740	7	0.3
3 com 4	2761	14	0.5

Realizando a média temos:

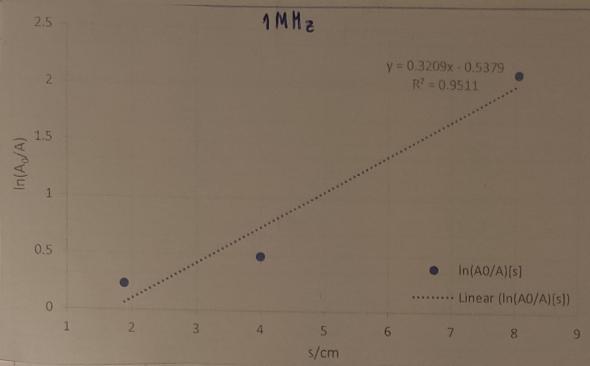
$$C_{1\text{MHz}} = (2731 \pm 7) \text{ ms}^{-1} \quad \mu(c) = 0,3\% \quad e(c) = 0,03\%$$

$$C_{2\text{MHz}} = (2748 \pm 9) \text{ ms}^{-1} \quad \mu(c) = 0,3\% \quad e(c) = 0,6\%$$

Ao matar os valores de % des relativos, podemos concluir que o uso da equação $C = 2 \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{t_1 - t_2}$ deu um resultado mais exato.

• Determinação do coeficiente de atenuação

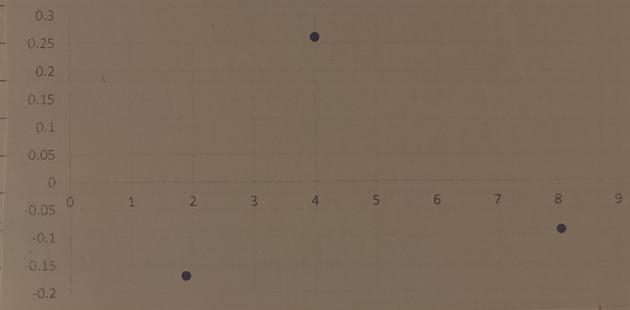
Utilizando a equação $\ln\left(\frac{A_0}{A}\right) = \frac{\mu}{m} \cdot s$ para os 3 primeiros cilindros (4° descontado devido à falta de picos) temos as regressões lineares:



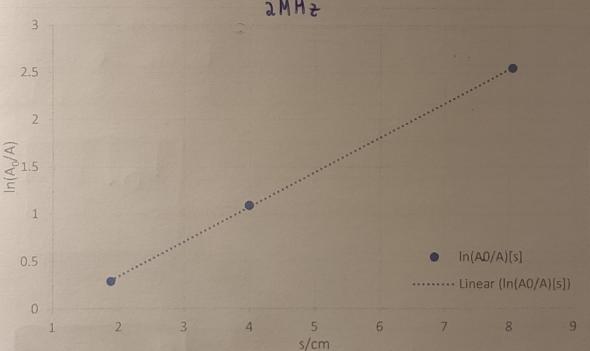
m	0.32	-0.5	b
Δm	0.07	0.4	Δb
r^2	0.951141	0.322558	s_y

sem tendência para linear

Resíduos 1 MHz

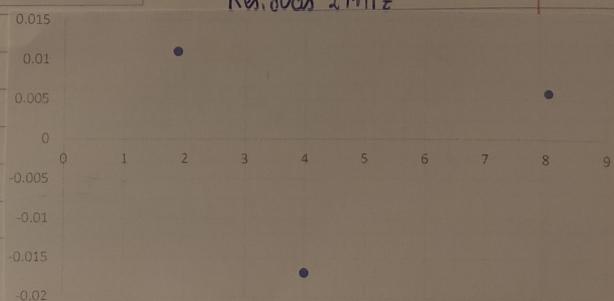


2 MHz



m	0.366	-0.39	b
Δm	0.005	0.03	Δb
r^2	0.999831	0.021081	s_y

Resíduos 2 MHz



$$\text{utilizando } \mu [\text{cm}^{-1}] = \mu \left[\frac{\text{dB cm}^{-1}}{20 \log(e)} \right] \Rightarrow \mu [\text{dB cm}^{-1}] = 20 \log(e) \mu [\text{cm}^{-1}]$$

Vem:

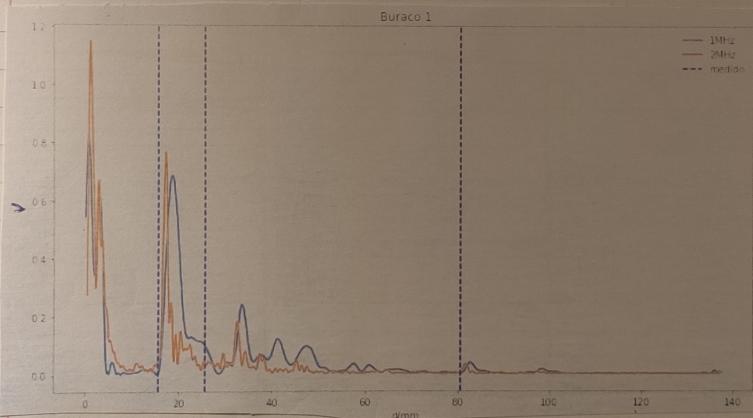
$$\mu_{1\text{MHz}} = (0,32 \pm 0,07) \text{ cm}^{-1} = (2,8 \pm 0,6) \text{ dB cm}^{-1}$$

$$\mu_{2\text{MHz}} = (0,366 \pm 0,005) \text{ cm}^{-1} = (3,13 \pm 0,04) \text{ dB cm}^{-1}$$

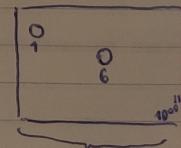
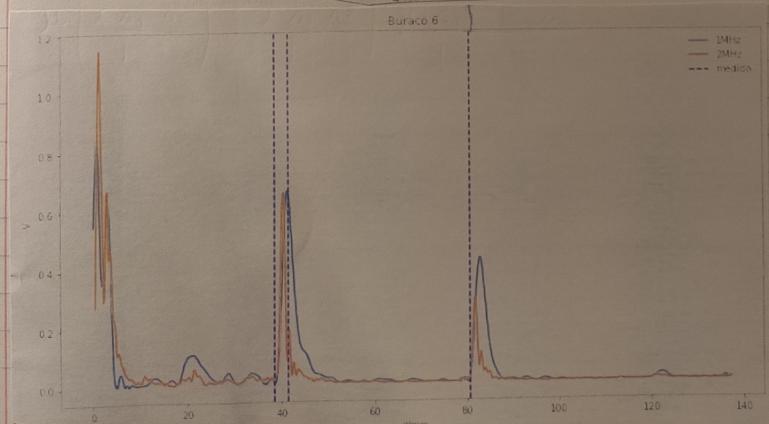
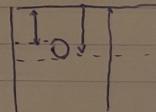
A partir destes valores observaram que o coeficiente de atenuação aumenta com o aumento de $f''(1\text{MHz} \rightarrow 2\text{MHz})$, como era previsto.

[2] Avaliação do desempenho dos transdutores a partir do A-Scan e B-Scan.

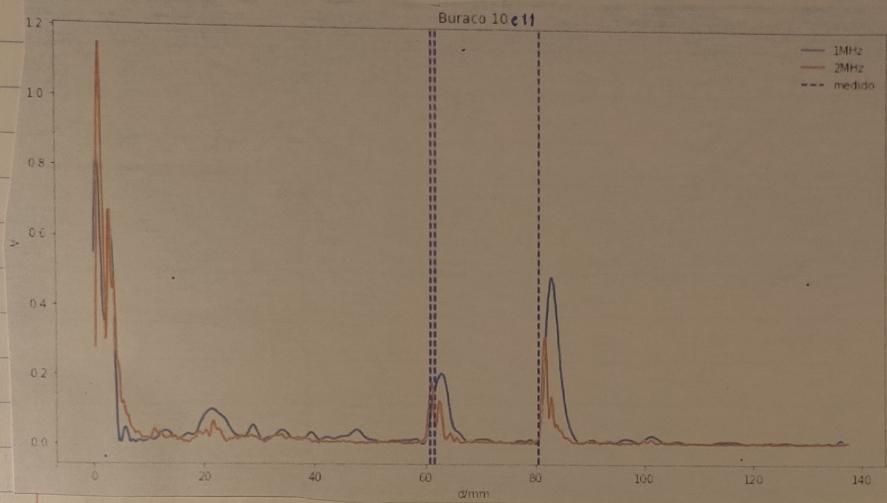
Medidas em A-Scan:



Os valores "medidos" são a distância do transdutor ao buraco, distância do transdutor ao buraco + diâmetro buraco e distância do transdutor à base

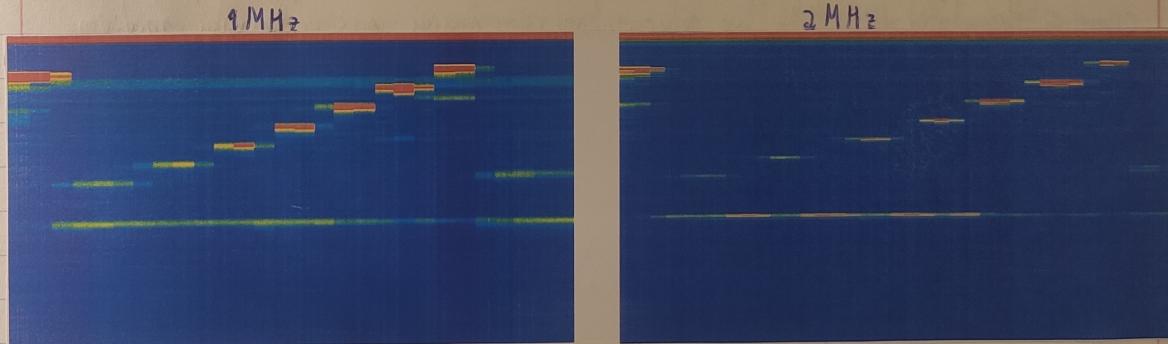


buracos escondidos



Ao analisar estes gráficos, notaram que ambos dos dois transdutores mede todas as respostas esperadas perfeitamente, o que pode estar relacionado com os valores que introduzimos no software (v_{som} e t_{SL}). Para além disso, observam-se curvas de menor amplitude que estão relacionadas com reflexões no meio (sem o buraco).

• Medidas em B-Scan:



Analizando as imagens obtidas, notaram que com a onda de maior frequência, é possível distinguir o buraco, que não é possível com a onda de 1 MHz provando assim que tem maior poder de resolução.

De notar que a velocidade de propagação da onda afetava a qualidade da imagem obtida, tal como o gráfico.

Conclusão

Este trabalho permitiu calcular a velocidade de som no ocúlito, assim como a sua constante de atenuação com a utilização de 2 transdutores distintos. Foram ainda caracterizadas estas características a partir do A-scan e B-scan.

Foi calculado $V_{\text{nom}} = (2727 \pm 0,3\%) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ e $V_{\text{nom}} = (2744 \pm 0,3\%) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ com os transdutores de 1 MHz e 2 MHz respetivamente, tendo erros relativos de 0,1% e 0,5%, o que indica uma boa exactidão. Foram obtidos através de um ajuste linear, de onde foi possível obter também t_{d} com uma incerteza muito grande, $(-0,07 \pm 142\%) \mu\text{s}$ e $(0,2 \pm 50\%) \mu\text{s}$ perdendo certeza que se tratam de valores exactos.

Também se calculou v_{nom} combinando as regras $n_2 \neq n_1, t_2 \neq t_1$, tendo-se obtido $V_{\text{nom}} = (2731 \pm 0,3\%) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ e $V_{\text{nom}} = (2748 \pm 0,3\%) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ com um erro relativo de 0,03% e 0,6%.

Determinou-se o coeficiente de atenuação, tendo-se obtido $\mu = (2,8 \pm 0,6) \text{ dB cm}^{-1}$ e $\mu = (3,18 \pm 0,04) \text{ dB cm}^{-1}$ para o transdutor de 1 MHz e 2 MHz respetivamente. Foi também confirmado que $\mu \propto f^m$.

No seguinte parte do trabalho, no A-Scan notou-se que os picos detetados com o transdutor de 2 MHz se sobreponham com maior precisão aos valores medidos na curva. No B-Scan foi possível distinguir 1 barreira com o transdutor de 2 MHz que o de 1 MHz não conseguiu.

Equações adicionais

$$\mu(c) = \frac{2}{m} \frac{\mu_e(m)}{m} \quad \mu(x) = \frac{\sigma_x}{\sqrt{m^2 \text{ medidas}}}$$

$$\mu\left(2 \frac{n_1 - n_2}{t_1 - t_2}\right) = 2 \frac{n_1 - n_2}{t_1 - t_2} \sqrt{\frac{\mu^2(n_1) + \mu^2(n_2)}{(n_1 - n_2)^2} + \frac{\mu^2(t_1) + \mu^2(t_2)}{(t_1 - t_2)^2}}$$