

T7 - CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS ATRAVÉS DE ULTRASSONS

ans
6/11/2023

Maria Helene Nunes da Silve, Grupo 2, PL1

06/11/2023

OBJETIVOS

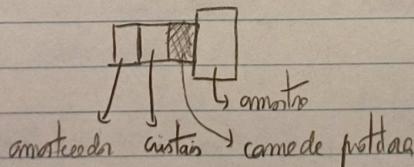
- compreender e utilizar transdutores piezo-elettricos para geração e captura de ondas sonoras
- avaliar a atenuação de ultrassons em materiais, avaliar a sua dependência com a frequência acústica
- avaliar o efeito de reverberação, em função de frequência de ultrassons
- interpretar a informação de rolementos "A-seam" e "B-seam" ultrasonicos

INTRODUÇÃO TEÓRICA

Atenuação de amplitude da onda $\rightarrow A = A_0 e^{-\mu(z)z}$ → caminho no meio acústico
 \downarrow → dependente do meio

$$\ln(A) = -\mu(z)z + \ln(A_0)$$

Transdutor



Velocidade ultrasonica $\rightarrow c = 2 \frac{(n_1 - n_2)}{(t_1 - t_2)}$ → distância do transdutor e a face reflectora $\Rightarrow \Delta t = \frac{1}{c} c \Delta t$
 \downarrow tempo de voz

$$\Delta t = t - t_{2L} \rightarrow \text{tempo de voz no cavidade protetora} \Rightarrow t - t_{2L} = \frac{2L}{c}$$

\downarrow tempo de voz que o sistema contabiliza

$$\text{profundidade da interface geodésica do céu} \rightarrow y = \frac{1}{2}c(t - t_{2L})$$

Modos de impulso US \rightarrow A-scan \rightarrow representa o sinal da profundidade do céu US, um único valor de profundidade do céu

\rightarrow B-scan \rightarrow imagem representativa de um corte horizontal da amostra em teste (agregado sequencial de um conjunto de A-scans realizados sucessivamente no espaço)

PROCEDIMENTO

- Registrar m² da área dos transdutores
- programme Measure Ultra Echo > option > parameters > duration time shift enabled
- ① Propriedades acústicas do arábico a partir de raios A - raios
 - registar comprimento de 3 cilindros de madeira altane usando cronômetro
 - ligar sonde de 1MHz (azul) a interface "Probe (Reflection)" no controlador Ecoscope ligado a computador via USB; posicionar reflector em "Reflection"
 - adicionar sonde a um dos madeiros cilíndricos com pequena gota de água
 - ajustar parâmetros do transmissor e do receptor de forma a que o alcance do pico permaneça pelo menos 75 % de amplitude de janela do software; analisar sinal (acquire) para funcionar em Half ou Full (tempo de voo superiores a 100 μs)
 - registar:
 - período das ondas ultrassónicas refletidas
 - largura do impulso ultrassónico, determinando a posição das fontes a 50 % de máxima amplitude de envelope
 - fazer medidas necessárias para determinar a velocidade do som no arábico, e o tempo de atraso no sonde, usando cálculos
 - repetir procedimento para os 3 cilindros
 - fazer medidas necessárias para determinar o coeficiente de atenuação do arábico (em configuração em modo HF + Amplitude)
 - repetir procedimento para sonde 2MHz (varredura)
 - fazer estimativa rápida de velocidade do som e dos tempos de atraso dos transdutores

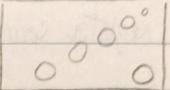
② Análise do desempenho dos transdutores

2.1) Medidas em A - scan

- reconfigurar software com valores calculados para a velocidade do som e tempo de ativação dos sensores

- ajustar no joystick A - scan o parâmetro VS velocity (quanto mais alta estiver, maior a profundidade)
- ativar e imprimir os valores da Time shift calculados (menu options > parameters)
- alterar modo de visualização para profundidade (Depth)

- escolher 3 dedos / estruturas do fantasma paralelipípedicas



- a partir do A - scan determina as posições da localização dos dedos escolhidos (nas dimensões colocar gato de rique!)

- aplica medidas com sonde de 1 MHz

- registra dimensões e localizações das estruturas escolhidas com rique e seu varrição

2.2) Medidas em B - scan

- liga sonde 1 MHz ou 2 MHz e acopla junto a uma das extremidades das faixas longas do fantasma; aplicar camada fina de círculo em torno a faixa

- selecionar "B - Mode" para visualização das elos como imagem de brilho

- iniciar aquisição em "Start"

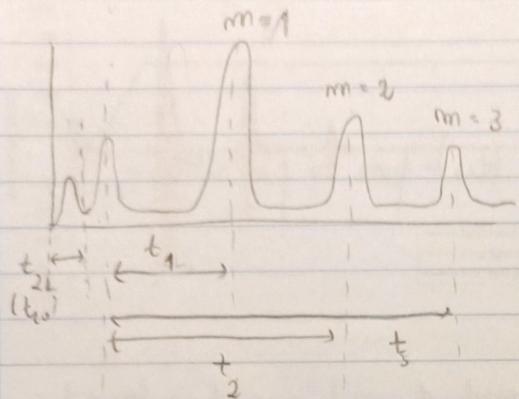
- move a sonde de forma estável e controlada ao longo do elo

- termina aquisição em "Stop" quando atingir o extremo do elo

- repetir procedimento para outras sondas

NOTAS DE AULA

①



$$D = mh$$

\hookrightarrow altura do cilindro

$$c = (2723,3 \pm 4,2) \text{ mm}^{-1}$$

$$\underline{\underline{C1 | 1 \text{ MHz}}}$$

$$t_{2L} = (-0,75 \pm 0,12) \mu\text{s}$$

(exp - ordenado na origem)

$$t_{2L} = 1,4 \mu\text{s}$$

(tco - cursor no sistema)

$$\underline{\underline{C2 | 1 \text{ MHz}}}$$

$$c = (2716,5 \pm 1,3) \text{ mm}^{-1}$$

$$t_{2L} = (-0,87 \pm 0,06) \mu\text{s} \quad (\text{exp})$$

$$t_{2L} = 1,4 \mu\text{s} \quad (\text{tco})$$

$$\underline{\underline{C3 | 1 \text{ MHz}}}$$

Como para estes cilindros apenas existe 1 pico, decidimos juntar todos os picos num gráfico.

$$\underline{\underline{\text{Todos os picos}}} \quad | c = (2719,4 \pm 1,4) \text{ mm}^{-1}$$

$$t_{2L} = (-0,81 \pm 0,05) \mu\text{s} \quad (\text{exp})$$

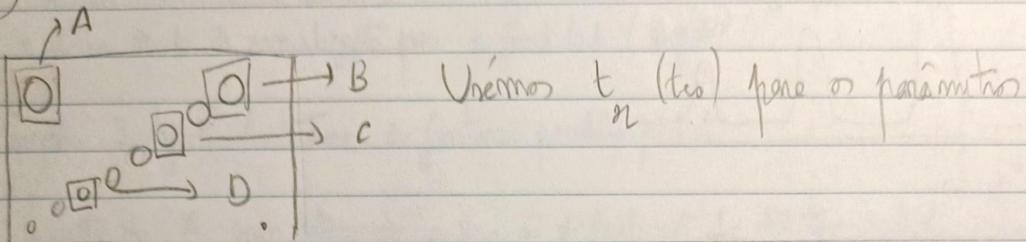
$$t_{2L} = 1,4 \mu\text{s} \quad (\text{tco})$$

2 MHz

Todos os picos

$$\left| \begin{array}{l} c = (2718,1 \pm 4,3) \text{ mm}^{-1} \\ t_{14} = (-0,89 \pm 0,14) \mu\text{s (xp)} \\ t_2 = 0,9 \mu\text{s (tio)} \end{array} \right.$$

②



B - rcam - utilizamos 2 medidores para cada medida de modo a minimizar os efeitos (melhor imagem potencialmente)

7 ^{gms}
(6/11/2023)

ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

① Propriedades acústicas do acrílico a partir da régua A - rcam

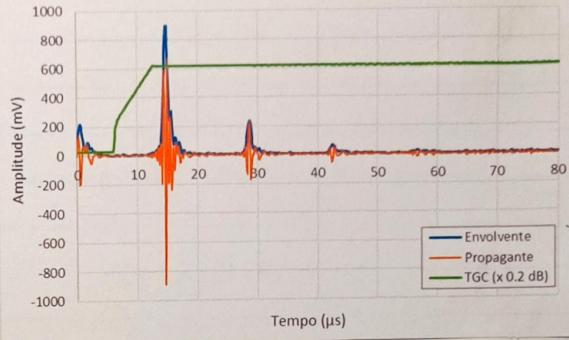
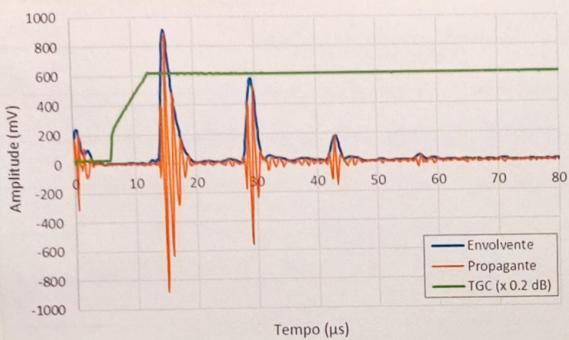
- Alturas dos cilindros h ($\pm 0,05$ mm):

C1: 18,90 mm

C2: 40,00 mm

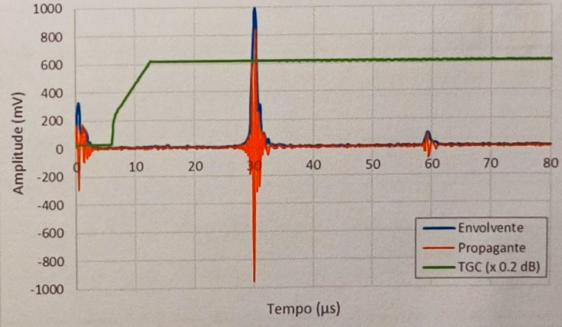
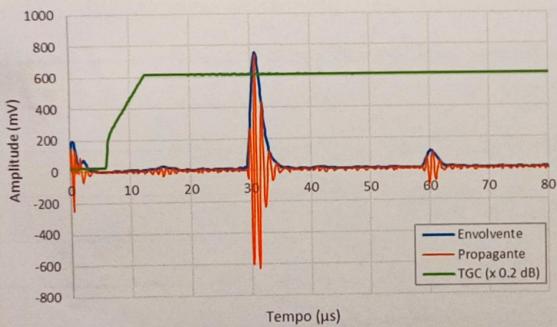
C3: 80,40 mm

— Sinais HF (propagante) e Amp (imposto) e ganho dinâmico TGC para cedo cilindro e cedo sono.



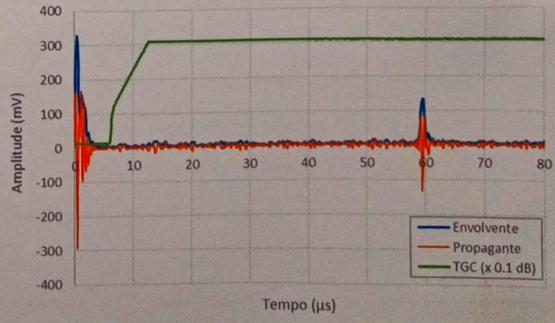
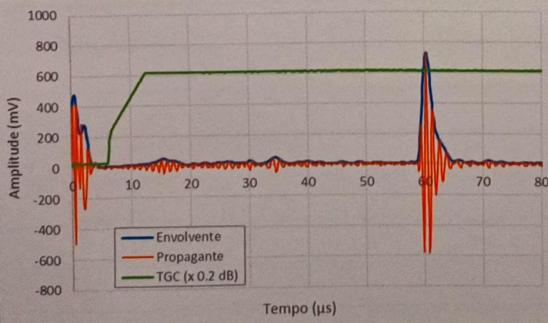
C1 - 1 MHz

C1 - 2 MHz



C2 - 1 MHz

C2 - 2 MHz



C3 - 1 MHz

C3 - 2 MHz

- Em todos os gráficos observou-se dois picos iniciais até 5ps. Estes correspondem ao impulso inicial emitido pelo transdutor (que atravessa a camada postilar) e à consequente reflexo desse impulso na interface camada postilar - águas (este segundo pico é inferior ao primeiro devido a fase reflectânea da interface, ou seja, a maioria da energia do sinal é transmitida para o acrílico, pelo que a águas é um bom meio para o acoplamento da onda à amostra)
- De acordo com os notes de aula, registrou-se t_{2L} no vale entre os dois picos iniciais, e a diferença entre o tempo de aço total t_m para cada reflexo (medido no pico no aço) e os dois picos iniciais) = tempo no 2º pico inicial, usando curvass. Contudo, de modo a determinar t_{2L} também pelo ajuste de equação

$$t = \frac{2s}{c} + t_{2L} \quad (s = \text{mlv para m } \in \{1, 2, 3, 4\} \text{ reflexos})$$

retirou-se, dos dedos gravados, apenas o tempo de aço total t_m para cada reflexo m, ou seja, não subtraiu o tempo no 2º pico inicial.

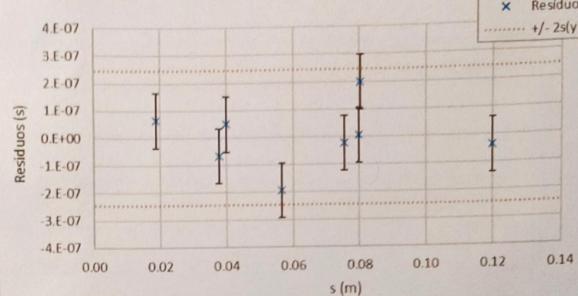
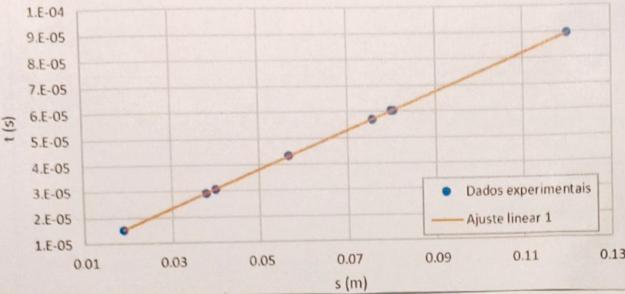
- Assim, mediu-se para todos os cilindros ($\pm 0,1$ ps) :

$$t_{2L} (\text{curva } 1 \text{ MHz}) = 1,4 \text{ ps}$$

$$t_{2L} (\text{curva } 2 \text{ MHz}) = 0,9 \text{ ps}$$

- Voltando aos gráficos, verifica-se - se que quanto maior o caminho acústico do milel ultrasoníco (isto é, quanto maior for a altura do cilindro), maior é a quantidade de energia dissipada no meio acrílico quer por espalhamento, quer por absorção, e, consequentemente, menor é o mº de reflexos na interface do cilindro com a talha de papel/lmerc, ou seja, menor é o mº de picos detectados. Por este motivo fez-se, decidiu-se regular o ajuste de açoado com a equação acima usando todos os pontos registrados para cada onda.

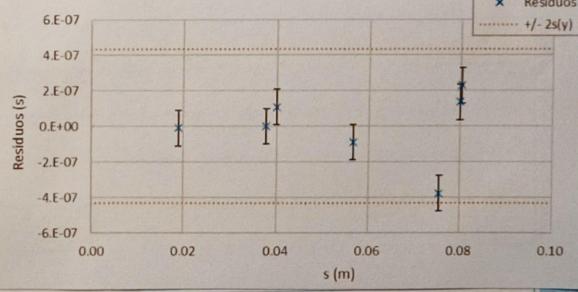
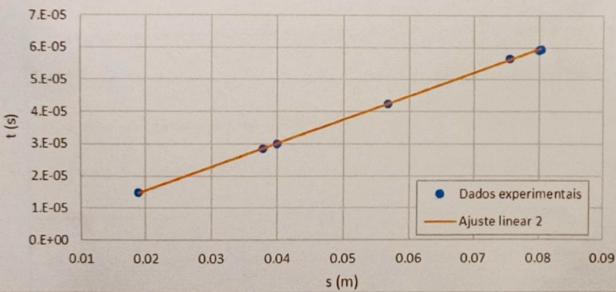
1 MHz - Tempo de voz em função da distância entre transdutor e face reflectora



m	7.34E-04	1.5E-06	b
u(m)	1E-06	1E-07	u(b)
r ²	0.99998	1.2E-07	s(y)

→ rutas a trajectas:
 $\pm 2s(y)$

2 MHz - Tempo de voz em função da distância entre transdutor e face reflectora



m	7.31E-04	9.8E-07	b
u(m)	4E-06	2E-07	u(b)
r ²	0.99988	2.2E-07	s(y)

- Ambos os resultados são aleatórios; contudo, observando os bairros de erro, verifica-se alguma incerteza associada aos ajustes. A velocidade ultrassómica no arélio é um fator de declínio de decaimento:

$$c = \frac{2}{m}$$

e t_{2L} (ajustado) corresponde à ordenada na origem b.

- Considerando $c_{t_{2L}} = 2730 \text{ m/s}$ o valor teórico da velocidade ultrasonica do arélico, e considerando os t_{2L} medidos com curvas os valores de referência para o tempo de atraso, tem-se:

	Valor	Incerteza	Incerteza (%)	Erro (%)
1MHz	$c (\text{m/s})$	2725	5	0.2% -0.2%
	$t_{2L} (\text{ajuste}) (\mu\text{s})$	1.5	0.1	7% 7%
2MHz	$c (\text{m/s})$	2737	14	0.5% 0.3%
	$t_{2L} (\text{ajuste}) (\mu\text{s})$	1.0	0.2	22% 9%

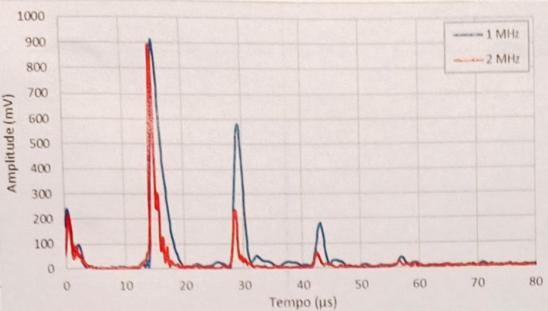
- c foi determinado com grande precisão e exatidão para ambos os raios. Realizando a média das duas velocidades, obtém-se como valor final:

$$\bar{c} = (2731 \pm 4) \text{ m/s}$$

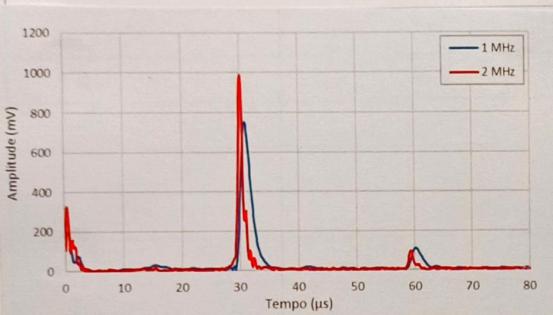
que tem incerteza de 0,2% e variação de 0,04%.

- Comparativamente a c , t_{2L} (ajuste) foi determinado com relativamente menor exatidão, mas também menor precisão. Tal índice, mesmo assim razoável, é menor que o ajuste, que poderia ser justificado pelo esparcimento mais uniforme dos pontos. Ainda assim, nem faz a menor conta que a própria incerteza de medida dos tempos de atraso no software é de 0,1 μs, pelo que, em comparação, estes tempos de atraso foram determinados com incertezas razoáveis, além de que é necessário considerar que os valores de referência foram medidas experimentalmente com curvas e, por isso, podem não ser exatos.

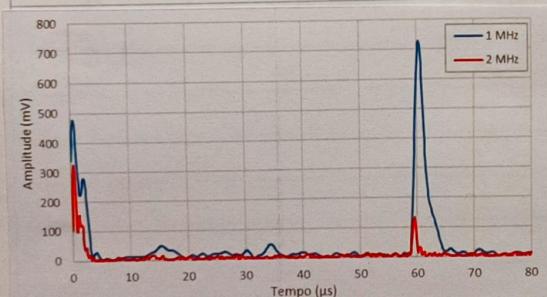
- Comprimento dos raios é para cada frequência, com apenas a onda envolvente



C1



C2



C3

largura do pico
a meia altura

$\Delta t (\pm 0.1 \mu s)$	1 MHz	2 MHz
C1	1.9	0.8
C2	1.9	0.9
C3	1.9	0.8

- O ganho dinâmico TGC aplicado é praticamente constante para os picos causados pelas reflexões e também praticamente idêntico para os dois raios, como se via nos gráficos anteriores. De modo que o ganho fixo também não foi alterado ao longo de experimentos, pode-se concluir que os valores da amplitude dos gráficos são todos mais ou menos iguais, mas este amplificado por um ganho aproximadamente igual.

- Dos gráficos os resultados também mostram que, para uma menor frequência, existe uma maior attenuação do sinal. Além disso, para todos os gráficos, a largura dos picos é menor para 1 MHz do que para 2 MHz. Para verificar este facto, determinou-se a largura do pico a meia altura do 1º pico de cada onda e cilindro. Para tal, calculou-se a metade da amplitude deste pico e determinou-se a diferença entre os tempos correspondentes às amplitudes mais próximas da metade da amplitude máxima.

- Como se presumiu, para uma menor frequência há uma maior largura dos picos do sinal registado. Assim, conclui-se que a onda de 2 MHz deteta os impulsos gerados pelas reflexões com maior precisão, ou seja, tem maior resolução temporal do que a onda de 1 MHz.

- Tem: m que o coeficiente da formulação já fazia um obtido pelo cálculo:

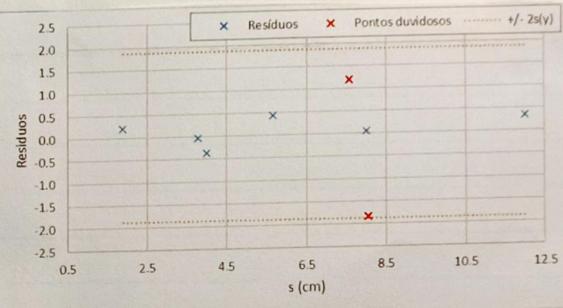
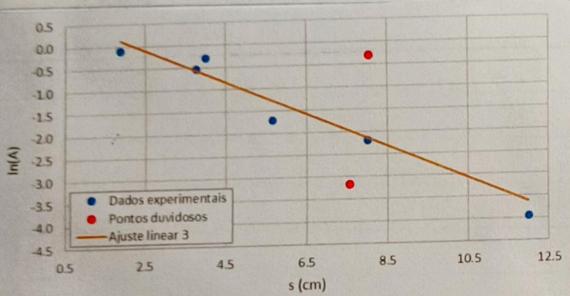
$$A = A_0 e^{-\mu(2s)}$$

que linearizou a fórmula

$$\ln(A) \approx -\mu(2s) + \ln(A_0)$$

Assim, realizou-se um ajuste com todos os amplitudes registradas para cada sombra com base no cálculo acima:

1 MHz - $\ln(A)$ em função de s

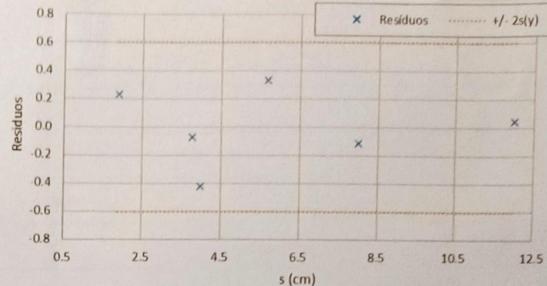
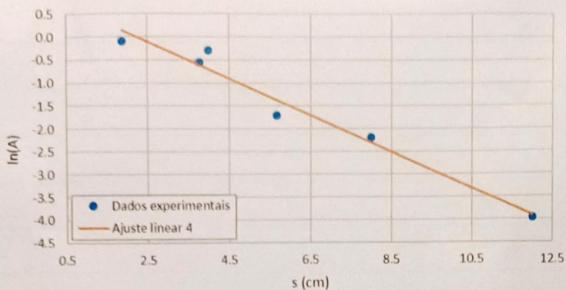


m	-0.4	0.8	b
$u(m)$	0.1	0.8	$u(b)$
r^2	0.65	0.94	$s(y)$

- Como se pode observar, o ajuste não tem qualidade, identificando-se claramente, tanto pelo gráfico do ajuste como pelo gráfico dos resíduos, dois pontos duvidosos. Um dos pontos corresponde à única reflexão detectada em C3 (cilindro que proporciona o maior caminho acústico), e o outro ponto corresponde à 4ª reflexão ocorrida em C1, apontando para alguma falta de exatidão nas distâncias de amplitude após um longo caminho acústico / após numerosas reflexões, e consequente falta de exatidão na amplificação do sinal por parte do software, dado que se onde já fuderam bastante energia se propagarão no acústico.

- Assim, realiza-se um novo ajuste sem os pontos duvidosos:

1 MHz - $\ln(A)$ em função de s (mm juntas divididas)



m	-0.40	0.9	b
u(m)	0.04	0.3	u(b)
r²	0.97	0.30	s(y)

- Verifica-se uma melhoria clara na qualidade do ajuste, dado a aleatoriedade dos resíduos, logo é este o ajuste a utilizar para calcular μ
- De forma a exprimir a cof de atenuação em dB/cm, em vez de cm⁻¹, é necessária a seguinte conversão:

$$\text{dB relativa fotométrica tal que: } \frac{P_o}{P} = \left(\frac{A_o}{A} \right)^2 = 10^{\frac{dB}{10}} \quad (\approx)$$

$$(\Leftrightarrow) \log_{10} \left(\frac{A_o}{A} \right) = \frac{dB}{20} \Rightarrow dB = \frac{20}{\ln(10)} (\ln(A_o) - \ln(A))$$

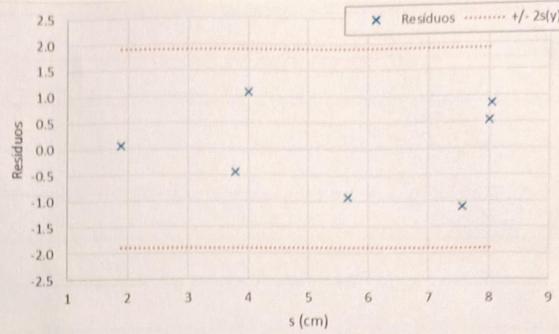
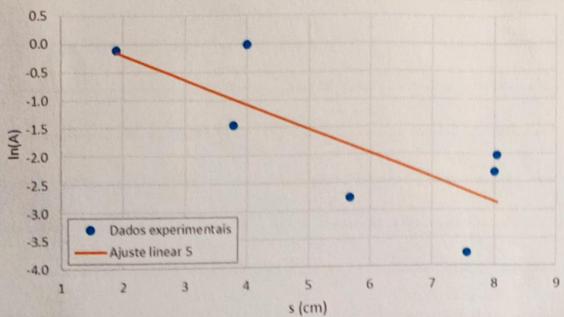
Logo

$$\mu \text{ (em dB/cm)} = \frac{20}{\ln(10)} \mu \text{ (em cm}^{-1}\text{)}$$

- A partir do acima tem -n mts:

$$\mu = \frac{20}{\ln(10)} \left(\frac{m}{2} \right) \quad (\text{em dB/cm})$$

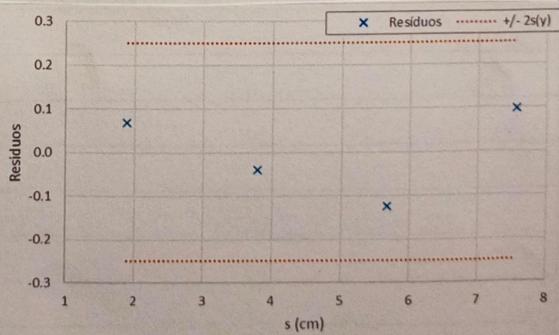
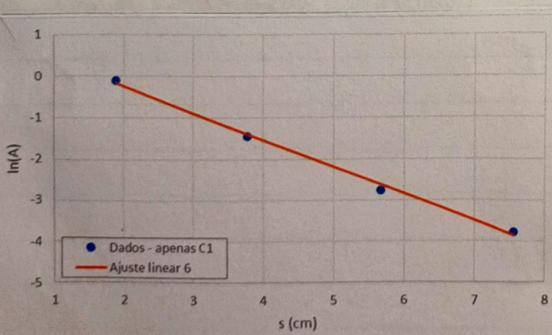
2 MHz - $\ln(A)$ um função de s



m	-0.4	0.7	b
$u(m)$	0.2	1.0	$u(b)$
r^2	0.60	0.95	$s(y)$

- Ao contrário de amélia para a rede de 1 MHz, mas é possível identificar pontos divididos; no entanto, somente a uma tendência linear para os pontos tanto no gráfico de ajuste como no gráfico de resíduos. Estes correspondem às reflexões registradas em C1, pelo que se decide realizar um ajuste linear apenas com estes pontos. A impossibilidade de uso de mais pontos, com certamente associações para 1 MHz, justifica-se com o aumento da attenuação para maior frequência, como se conclui na amélia dos gráficos com os picos, remetendo um menor amplitude que o software não amplifica com exatidão suficiente, como referido anteriormente.

2 MHz - $\ln(A)$ um função de s (apenas C1)



m	-0.65	1.0	b
$u(m)$	0.03	0.2	$u(b)$
r^2	0.996	0.12	$s(y)$

- Os resíduos apresentam uma ligeira tendência parabólica; contudo, todos os pontos mantêm-se dentro do intervalo $\pm 2s(y)$, pelo que se considera que o ajuste possui qualidade suficiente para proceder ao cálculo de μ . Tomando como valor de referência $\mu = 1,4 \text{ dB/cm/MHz}$

	1 MHz	2 MHz
	μ (dB/cm)	
Valor experimental	1.7	2.8
Incerteza	0.2	0.1
Incerteza (%)	9%	5%
Valor referência	1.4	2.8
Erro (%)	24%	1%

- Como esperado, o coeficiente de atenuação é inferior para a onda de 2 MHz. Verifica-se também que o μ de onda de 1 MHz foi calculado com relativamente menor precisão e exatidão. Isto justifica-se pelo efeito do ajuste para 1 MHz requer a amplitudes de dois cilindros, ou seja os pontos não estão igualmente espalhados. Para além disso, como já mítio, a onda de 1 MHz tem menor rendimento temporal, isto é, os picos detectados têm menor precisão.

② Análise do desempenho dos transdutores

2.1. Medidas um A - ran

- Para cada defeito, observou-se o nível um modo Amp e registrou-se a profundidade para o pico após os dois picos iniciais (reflexos no difícil), tendo como resultados:

	Medido (± 0.05 mm)	1 MHz (± 0.1 mm)	Erro (%)	2 MHz (± 0.1 mm)	Erro (%)	Média	Incerteza	Incerteza (%)	Erro (%)
h_A	15.60	15.8	1.3%	15.2	-2.6%	15.5	0.2	1%	-0.6%
h_B	13.30	13.6	2.3%	13.4	0.8%	13.5	0.1	0.5%	1.5%
h_C	30.00	30.3	1.0%	29.9	-0.3%	30.1	0.1	0.5%	0.3%
h_D	54.60	54.7	0.2%	54.1	-0.9%	54.4	0.2	0.4%	-0.4%

↳ medida com régua e marca

~~Para a onda de 1 MHz, todos os efeitos foram determinados, no entanto, o seu e (correspondente) com a profundidade determinada foi definido, que foi introduzido~~

- Nota: Os valores de e introduzidos no software durante esta parte de experimento foram determinados em aula a partir da equação do ajuste $t = \frac{2s}{c} + t_{12}$, mas respeitando

a correspondente à diferença entre tempo de voo total de cada reflexo e tempo registrado no 2º pico inicial, como se descobriu nas notas de aula. Desta forma os valores introduzidos no software foram, como indicado nas notas de aula, 2719,4 m/s para 1 MHz e 2718,1 m/s para 2 MHz, sendo ligeiramente dos determinados na aula com a equação já corrigida.

- Voltando à tabela, vê-se que, para o som de 1 MHz, todos os alturas foram determinadas por excesso, nenhuma das suas alturas de t_{21} e C introduzidas no software. Quanto ao som de algum

2 MHz, apenas 3 alturas foram determinadas por excesso. Além disso, os erros do som de 2 MHz são, em geral, menores que os do som de 1 MHz, mesmo sem comparando a melhor resolução de som de 2 MHz. Finalmente, também comprova-se que as médias das alturas têm erros tanto por excesso como por déficit, descartando-se a ocorrência de qualquer erro estatístico.

2.2 Medidas em B-scan

- Para cada som de, refazem-se as imagens registradas nas duas faces longas do fantasma, obtendo-se um total de cinco:



1 MHz



2 MHz

- Verifica-se que a resolução de 2 MHz tem maior resolução, pois que os objectos têm um formato mais uniforme e distingue-se melhor claramente os dois pequenos objectos no canto inferior esquerdo das imagens.

EQUAÇÕES DE INCERTEZA

$$u(c) = \frac{2u(m)}{m^2}$$

$$u(t_{2L}(\text{ajuste})) = u(b)$$

incerteza de média: $u(\bar{m}) = \frac{\sqrt{n}}{\sqrt{M}}$, deve - pedir
↓ mº valores

$$u(\mu) = \frac{20}{m(10)} \left(\frac{u(m)}{2} \right)$$

CONCLUSÃO

- Verificou-se que quanto menor for o diâmetro do amostra que serve como meio acústico para o rivel, menor é a quantidade de energia dissipada no meio, por isso, menor é o número de elétrons detectados pelo transdutor piezoeletônico;
- Mediu-se o time shift resultante de passageiro rivel no cerne de protóton no interior do transdutor com os curtos de rottura, obtendo-se $t_{2L} = (1,4 \pm 0,1) \mu s$ para a rede de 1 MHz e $t_{2L} = (0,9 \pm 0,1) \mu s$ para a rede de 2 MHz. Determinou-se a velocidade ultrassônica do acrílico como $c = (2731 \pm 4) \text{ m/s}$, com incerteza relativa de 0,2%, e erros de 0,04%. Determinou-se o time shift ^{também} a partir dos tempos de res totais (ajuste), tendo $t_{2L} = (1,5 \pm 0,1) \mu s$ para a rede de 1 MHz e $t_{2L} = (1,0 \pm 0,2) \mu s$ para a rede de 2 MHz, ou seja, com erros de 7% e 9% em relação aos resultados valores medidas com os curtos e incerteza melhores.
- Verificou-se que o atenuação do rivel aumenta com a frequência, e determinou-se o coeficiente de atenuação do acrílico como $\mu = (1,7 \pm 0,2) \text{ dB/cm}$ para a rede de 1 MHz (erro de 2%), mas com incerteza significativa de 9%, parâmetros justificados pelo uso da regra de 2 ultimamente para o ajuste (pelo menor intervalo temporal destas redes) e como $\mu = (2,8 \pm 0,1) \text{ dB/cm}$ para a rede de 2 MHz (incerteza de 5% e erro de 1%).
- Mediu-se a profundidade de orifícios perfurados num fantasma de acrílico resumindo a A-ream com incerteza e erros mais baixos e 2% mais que a rede de 2 MHz fornecendo melhores resultados

- Em A-scan, tanto no modo Time of flight como no modo Depth, significa - ou que a largura dos picos detidos é menor que a resolução de 2 MHz, comparativamente a resolução de 1 MHz, isto é, os reflexos detidos são mais finos. Em B-scan, a resolução de 2 MHz proporciona uma imagem de menor qualidade. Assim, como já referido, há um menor poder de analges para uma menor frequência.