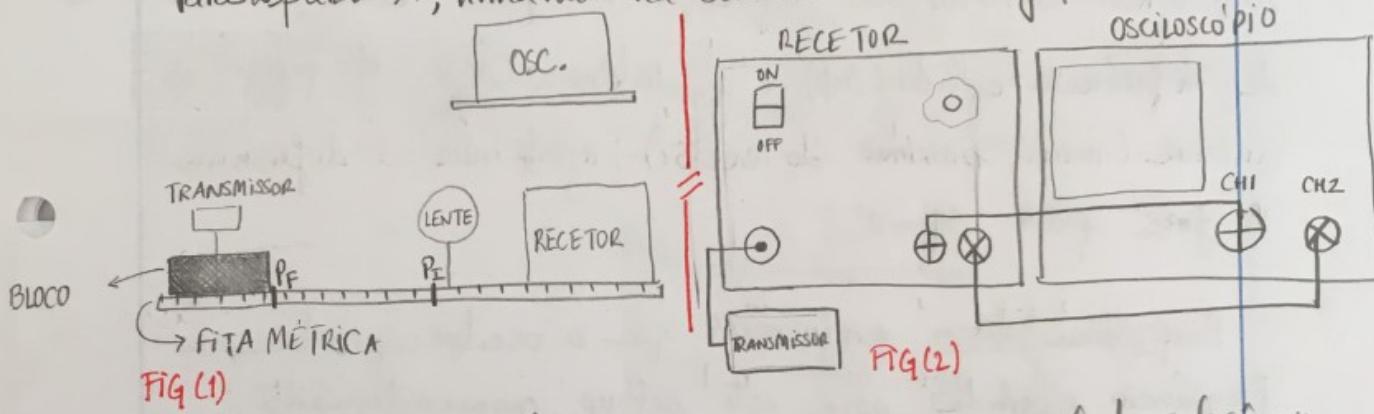


T9 - MEDIDAS ÓTICAS E POLARIZAÇÃO

Em primeiro lugar conseguimos por ligar os aparelhos enquanto preparamos a primeira montagem, para que estes tivessem tempo de aquecer.

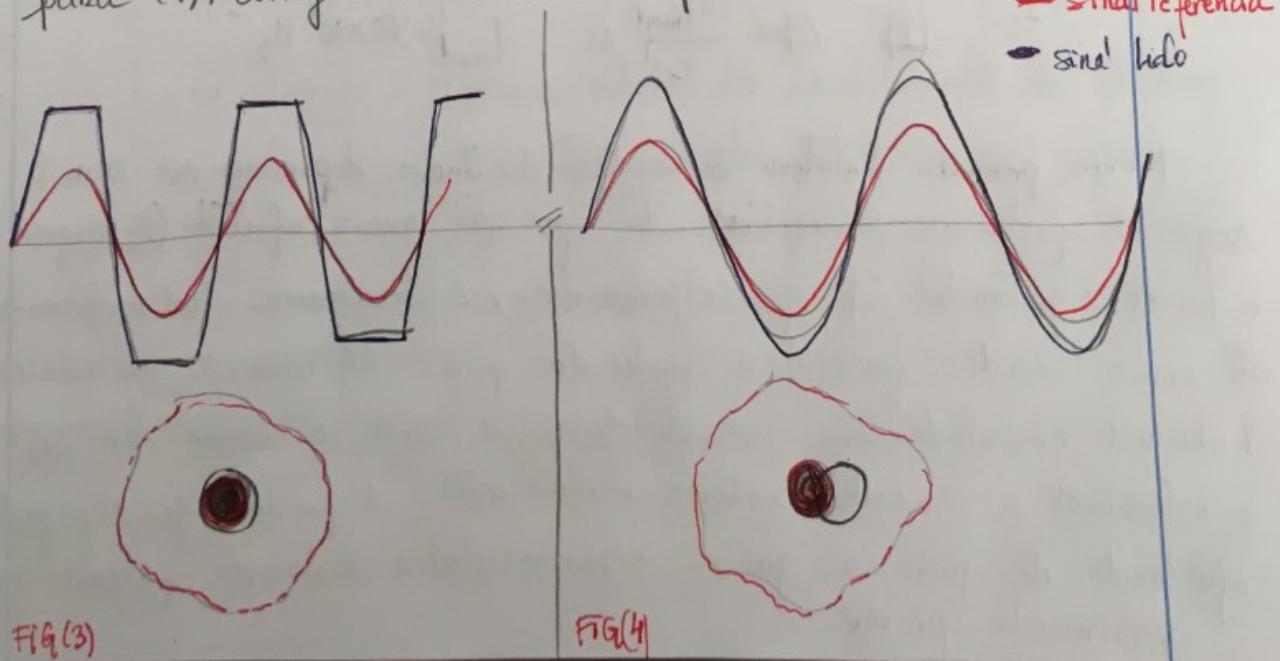
PARTE A - DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DA LUZ NO ACRÍLICO

Para a parte A, tínhamos na bancada (1) e as ligações (2)



No contexto desta experiência, CH1 funciona como sinal de referência, enquanto que CH2 como sinal lido.

Numa primeira seleção da gama experimental (de distâncias), tivemos de ter em conta NÃO SATURAR o detector. Inicialmente, observámos no display do osciloscópio a situação (3). Verificámos que este fenômeno se devia ao facto de estarmos a centrar (cone a lente) o feixe de luz no receptor (3) pelo que alterámos para (4), corrigindo assim este problema.



A escolha da gama deve também em conta a frequência do feixe. Para $f = 60\text{MHz}$, o comprimento de onda correspondente é 5m. Neste set-up estávamos longe desse limite.

Após selecionada a gama experimental, definimos uma posição final e inicial para o transmissor, entre as quais registámos o valor da diferença de fase entre os sinais de referência e lido ($\Delta\phi$) e a distância (Δs). Na posição inicial (mais próxima do receptor), ajustámos a diferença de fase para $\Delta\phi = 0^\circ$.

Para além disso, verificámos que o osciloscópio lia a frequência esperada para este set-up, nomeadamente, 100 kHz devido à modulação da frequência. (ver figura 5)

Os valores de $\Delta\phi$ foram registados diretamente do osciloscópio pois estes conferem uma maior precisão em comparação com o uso dos cursorres, estes últimos estão limitados à resolução / pixels do display do osciloscópio. Com os valores de $\Delta\phi$ e Δs , pretendia-se determinar a velocidade da luz eone

$$(I) \quad \Delta\phi = \frac{2\pi f_{mod}}{c} \Delta s, \quad f_{mod} = 60 \times 10^6 \text{ Hz}$$

Numa primeira tentativa de recolha de dados, deparamo-nos com o seguinte problema. Começámos da posição mais afastada (P_F , figura 1) e fomos registando $\Delta\phi$ que esperávamos ver diminuir. Tal verificou-se até uma dada posição a partir da qual $\Delta\phi$ começou a aumentar. Tínhamos encontrado um zero de fase, i.e., onde os sinais têm $\Delta\phi = 0$, e estávamos a recolher valores redundantes. A questão foi corrigida ajustando de novo a gama experimental e desta vez fazendo um varrimento prévio.

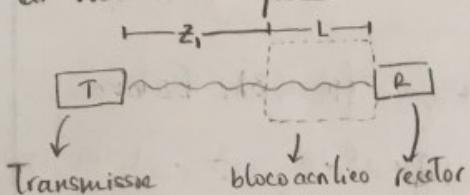
Com os valores da Tabela 1 construimos o gráfico (I).

De acordo com a equação (I), determinámos C_{arz} :

$$C_{arz} = (297 \pm 2) \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$$

$$\% \text{ erro} = 0.7\%$$

De seguida, realizámos medições para determinar C_{acri} . Para tal notámos que:



$$\Delta t_{c1\text{ bloco}} = \frac{L}{C_{acri}} + \frac{z_1}{C_{arz}}$$

$$\Delta t_{s1\text{ bloco}} = \frac{L}{C_{arz}} + \frac{z_1}{C_{arz}}$$

$$\text{Tomando } \delta t = \Delta t_{c1\text{ bloco}} - \Delta t_{s1\text{ bloco}} = \frac{L}{C_{acri}} - \frac{L}{C_{arz}}$$

$$\text{Resolvendo em ordem a } C_{acri}: \quad C_{acri} = \frac{L}{\delta t + \frac{L}{C_{arz}}} \quad (\text{II})$$

Bastou portanto recolher os dados da Tabela 2, com os quais determinámos:

$$C_{acri} = (184 \pm 2) \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$$

$$\% \text{ erro} = 8.3\%$$

$$n_{acri} = \frac{C_{arz}}{C_{acri}} = (1.62 \pm 0.02)$$

$$\% \text{ erro} = 8.5\%$$

Decidimos também fazer um estudo do decaimento da potência luminosa com o inverso do quadrado da distância. Para tal tentámos garantir que movímos o transmissor paralelamente à borda da bancada e registámos os valores da amplitude para cada ΔS (Tabela 1). Removendo os dois primeiros pontos por claramente se afastarem, construímos o gráfico (2).

Sendo a lei do decaimento da forma: $y^a = Cx^b$, podemos linearizar-la tal que:

$$\log(y^a) = \log(Cx^b) \Leftrightarrow \log(y) = \frac{b}{a} \log(x) + \frac{\log(C)}{a}$$

No nosso caso, $b=-2$ e $a=1$, ou seja,

$$\log(y) = -2 \log(x) + \log(C)$$

$y = \text{amplitude}$ $x = \Delta s$

A linearização está representada no gráfico (3). Estaríamos portanto à espera de um declive igual a -2. Esta experiência não permitia estudar o decaimento de forma precisa, pois por um lado são introduzidos erros ao movermos o transmissor, não sendo totalmente garantido o alinhamento do receptor/transmissor constantes. Por outro lado, o feixe não é colimado e recorde-se foi descentrado para evitar a saturação do receptor. Alternativamente, para uma melhor visualização do resultado, foram representadas várias curvas de declive -2 que evidenciam a proximidade ao comportamento esperado.

PARTE B - POLARIZAÇÃO

Nesta parte, a montagem era diferente, tínhamos:

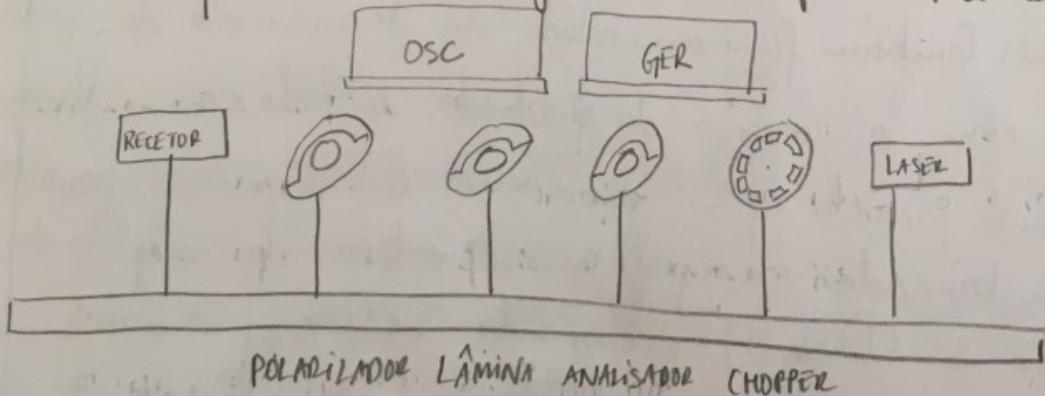


Fig 6

Para determinar quais os componentes eram os polarizadores e a lâmina, sobreponemos os pares rodando-os relativa. Aqueles que para um dado âng. não permitem a passagem de luz correspondiam aos polarizadores

A frequência adotada para o chopper foi

$$f_{chop} = 79.3 \text{ Hz}$$

Em primeiro lugar, seiu a lâmina retardadora, verificamos que o eixo de transmissão máxima e mínima eram:

$$\text{Max: } \hat{\alpha}\text{ng} = 50^\circ \quad A = 944 \text{ mV}$$

$$\text{Min: } \hat{\alpha}\text{ng} = -40^\circ \quad A = 270 \text{ mV}$$

NOTA: Os ângulos foram registrados de acordo com a figura 7.

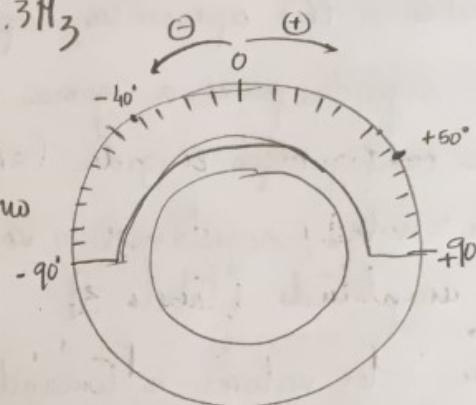


fig. 7

GRAV POL.

Com os valores da amplitude em cada um dos eixos determinámos o grau de polarização com a expressão

$$DOP = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{I_{\text{max}} + I_{\text{min}}}$$

e obtivemos DOP = 55%. Este valor parece-nos pequeno mas após alguma pesquisa encontramos que para um lado é possível o laser não ser totalmente polarizado e, por outro lado, este valor estar afetado da própria lente do polarizador, a qual poderia não deixar passar toda a polarização.

→ Ainda tem o analisador, retirámos a FFT do sinal do osciloscópio e observámos o gráfico (4). Retirámos os valores das frequências correspondentes a cada pico e verificámos o comportamento / correspondência do gráfico (5). Repare-se que apenas estavam presentes os múltiplos ímpares da frequência do chopper

Tal deve-se ao facto de estarmos a registar o sinal modulado

pelo chopper, modulação essa que corresponde a uma onda quadrada. Repare-se

$$\text{onda quadrada}(u) = \sin(u) + \frac{\sin(3u)}{3} + \frac{\sin(5u)}{5} + \dots \\ = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(2n-1)}{2n-1}$$

dai' a FFT apresentar apenas múltiplos ímpares!

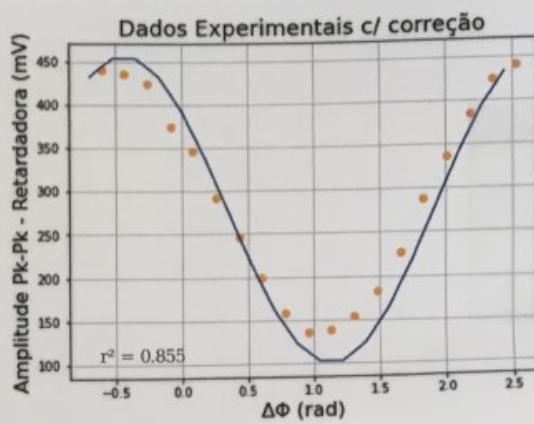
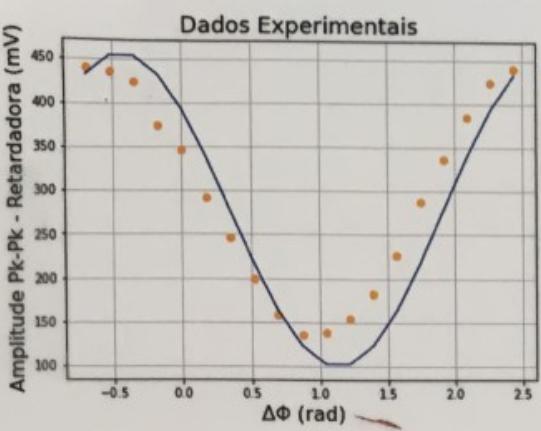
De seguida, para a gama -90° a $+90^\circ$, com os polarizadores em configuração cruzada (se transmissão de luz \Leftrightarrow amplitude lida \approx nula), registámos o valor do ângulo do polarizador e a amplitude (tabela 3).

Com estes valores e tomando a diferença entre os ângulos do polarizador e analisador, construímos o gráfico (6A) onde pudemos verificar a lei de Malus (com $P \propto A$)

Com este gráfico detetámos um erro sistemático de aproximadamente 6° que se deveu ao mau alinhamento do sistema. Porém, é facilmente corrigido obtendo-se o gráfico (6B) com $r^2 = 0.998$.

Após esta análise passámos ao estudo da relação $P(\Delta\theta, \beta) = \frac{1}{2} P_0 (\cos^2(\Delta\theta) + \cos^2(2\beta - \Delta\theta))$ (III), com duas variáveis independentes. A 3^ª dimensão, tem-se o comportamento do gráfico (7). Esta expressão foi estudada fixando $\beta = 65^\circ$ e variando $\Delta\theta$, ou seja, corresponde a um corte transversal do gráfico (7) representado no gráfico (8).

Os dados recolhidos estão na tabela 4 e o seu gráfico corresponde ao gráfico 9.



Graf. 9

Como a configuração / set-up não foi alterada, continuamos a verificar a presença do erro sistemático.

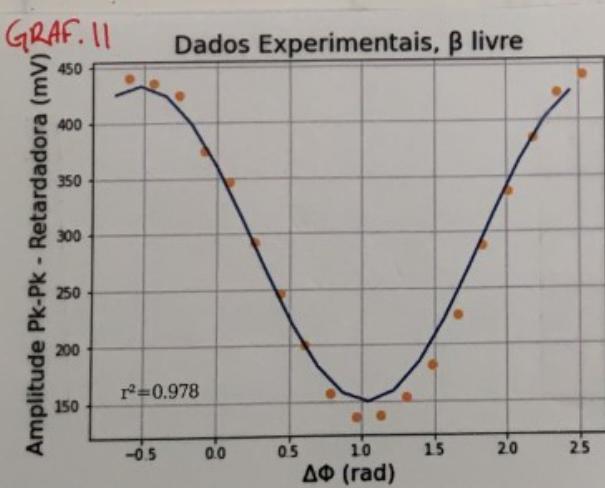
Para além disso, notámos que elor a fastamente dos dados principalmente nas zonas dos raios e picos.

Colocámos a hipótese de esse desvio corresponder ao registo / estação errada do ângulo da lâmina retardadora.

Para corroborar esta possibilidade, decidimos fazer um novo ajuste, desta vez não fixando β , tornando-a uma variável livre. Assim, obtémos o gráfico 11 e

determinámos $\beta = 37^\circ$.

Conclui-se então que não colocámos a lâmina retardadora na posição correta, o que ainda assim não invalidiza a verificação da equação (III).



Graf. 11

Finalmente, estuda-se em concreto a expressão III e obter-se o gráfico 10, uma elipse. (com o obtido do ajuste)

Este resultado diz-nos que o laser não se encontra totalmente polarizado linearmente, possuindo uma ligeira polarização elíptica. Porém, com um software de edição de imagem determinámos o ratio entre o eixo menor e maior concluindo que o eixo maior é 15 vezes superior ao eixo menor, ou seja, a aproximação de feixe polarizado linearmente é razoável. ($\frac{\text{eixo menor}}{\text{eixo maior}} = 0.065$)

CONCLUSÕES

• Determinou-se a velocidade da luz no ar e no acrílico

$$C_{\text{ar}} = (2978 \pm 2) \times 10^6 \text{ ms}^{-1} \quad C_{\text{acr}} = (1843 \pm 2) \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$$
$$\% \text{ erro} = 0.7\% \quad \% \text{ erro} = 8.3\%$$

• Determinou-se o índice de refracção do acrílico

$$n_{\text{acr}} = 1.62 \pm 0.02$$

$$\% \text{ erro} = 8.5\%$$

• Calculou-se o grau de polarização do laser:

. foi verificada a lei de Malus com $r^2 = 0.998$.

. Verificou-se a lei do inverso do quadrado da distância no decimento da amplitude, tendo sido obtida uma declive de -2.7 na linearização.

ANEXO

Técnicas

$$u(v_{ar}) = \frac{2\pi f_{mod} u(m)}{m^2}$$

$$u(n_{aci}) = \sqrt{\left(\frac{u(c_{ar})}{c_{aci}}\right)^2 + \left(\frac{c_{ar} u(c_{aci})}{c_{aci}^2}\right)^2}$$

$$u(c_{aci}) = \sqrt{\left(\frac{\delta t}{\left(\delta t - \frac{L}{c_a}\right)^2}\right)^2 u^2(L) + \left(-\frac{L}{\left(\delta t - \frac{L}{c_a}\right)^2}\right)^2 u^2(\delta t) + \left(\frac{L^2}{c_{ar}^2 \left(\delta t - \frac{L}{c_a}\right)^2}\right)^2 u^2(c_{ar})}$$

→ As Tabelas estão no QR code.

→ Os valores de referências foram retirados do site Engineering Tool Box.

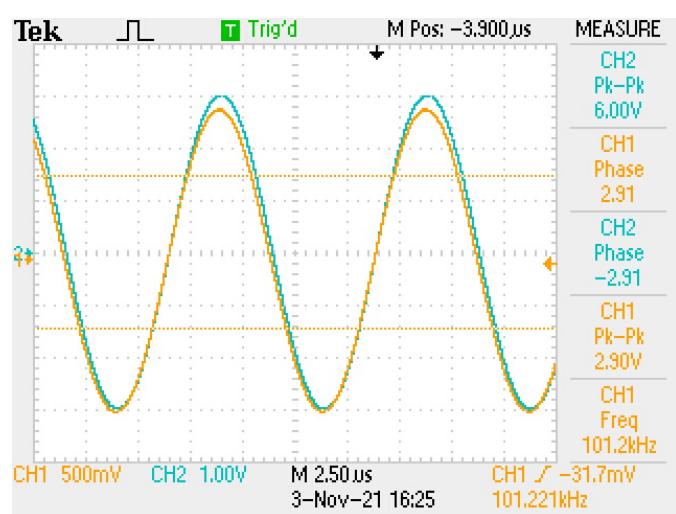


Figura 5

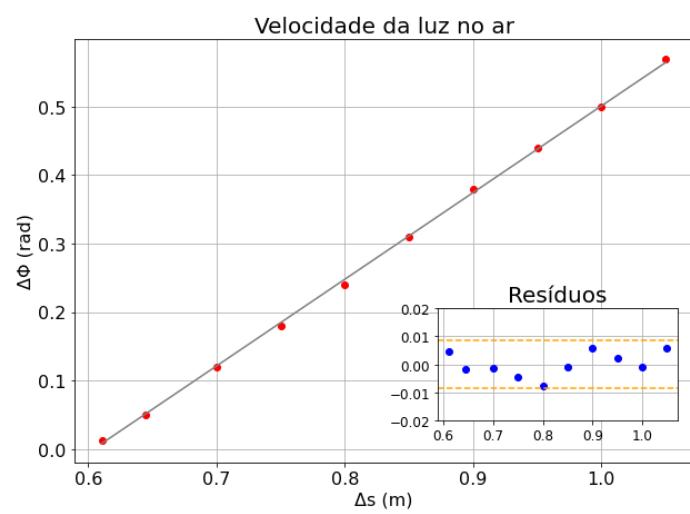


Gráfico 1

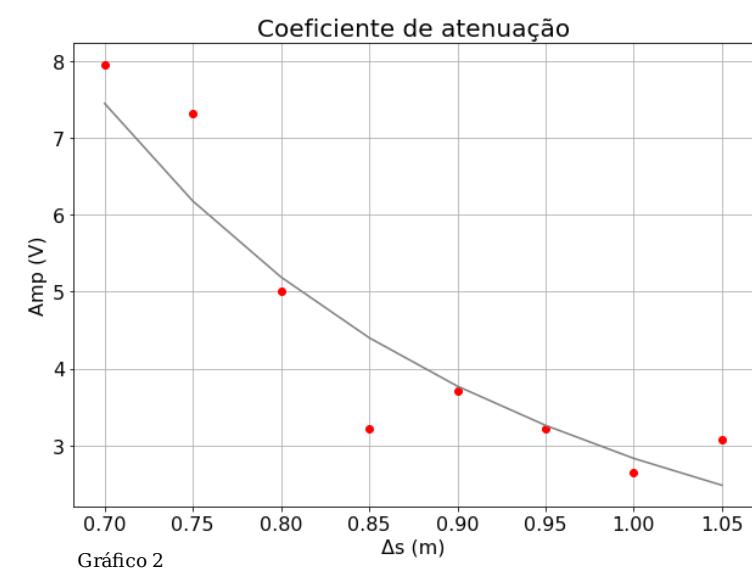


Gráfico 2

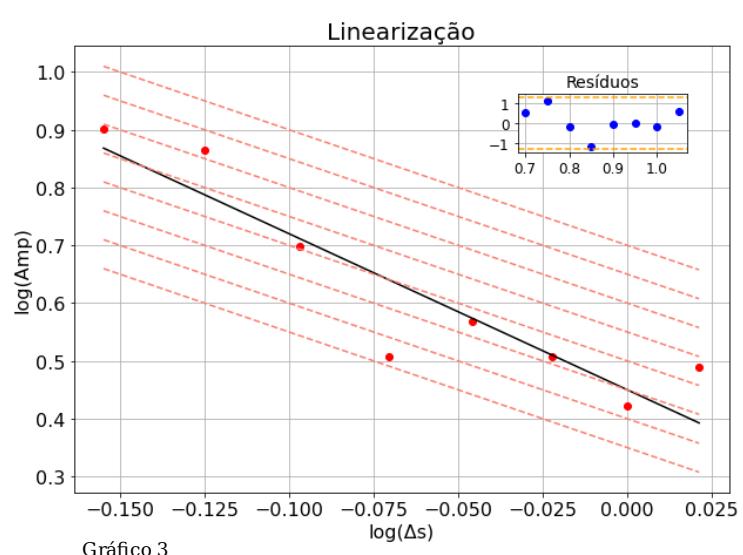


Gráfico 3

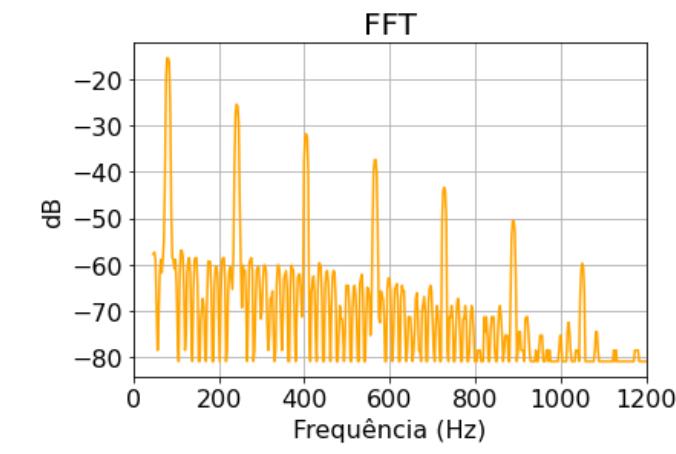


Gráfico 4

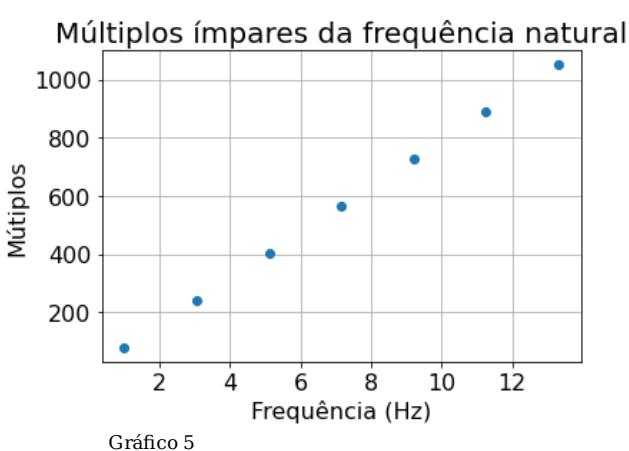


Gráfico 5

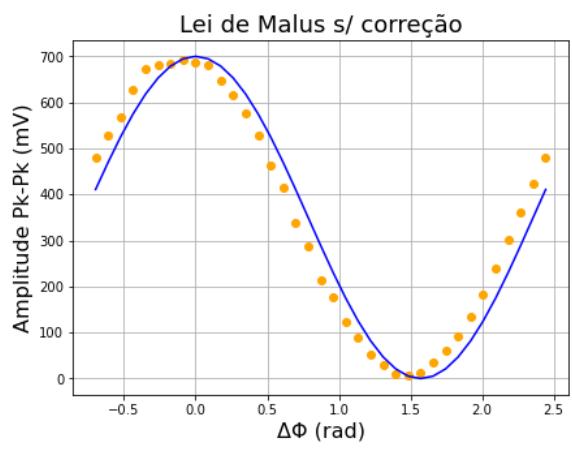
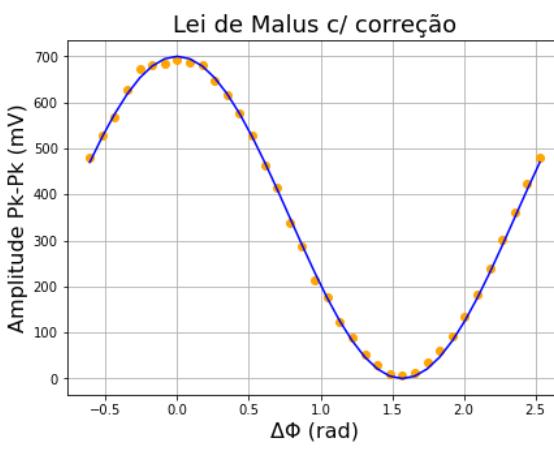
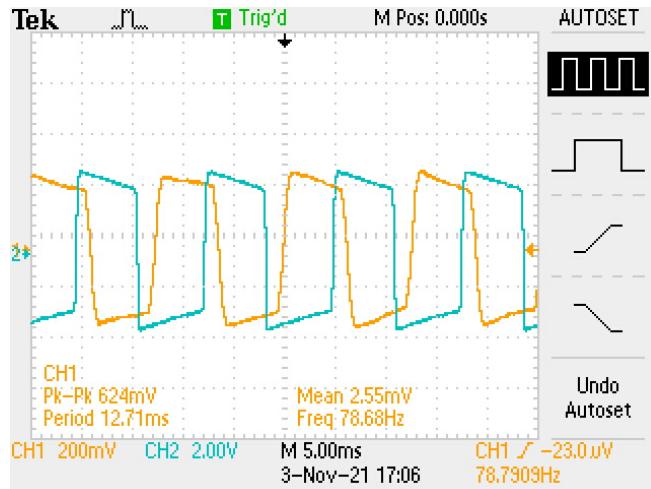


Gráfico 6





Chopper no osciloscópio e referência

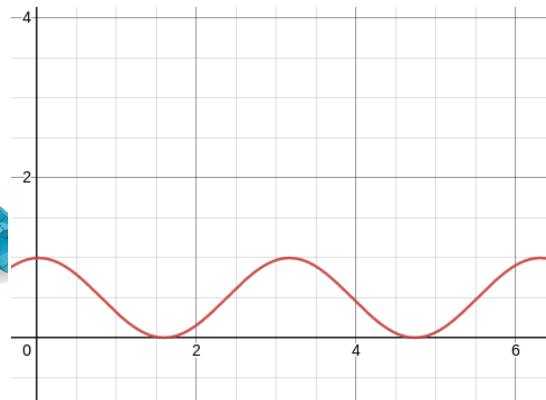
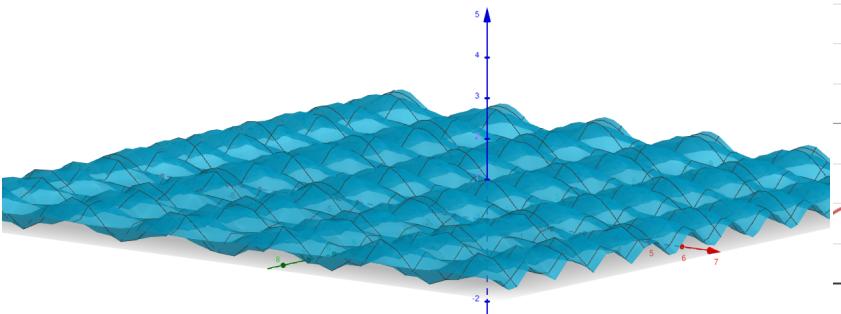


Gráfico 7

Gráfico 8

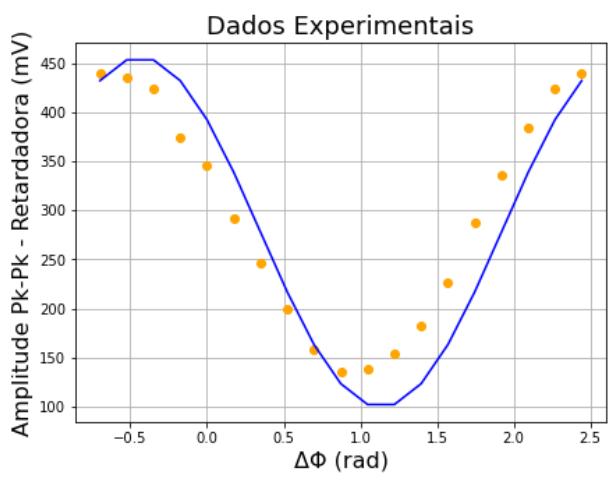


Gráfico 9

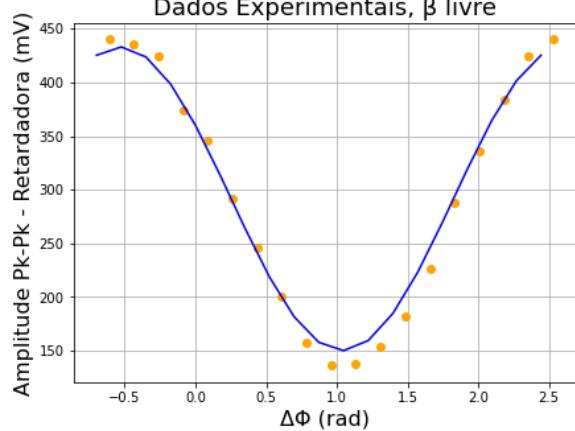
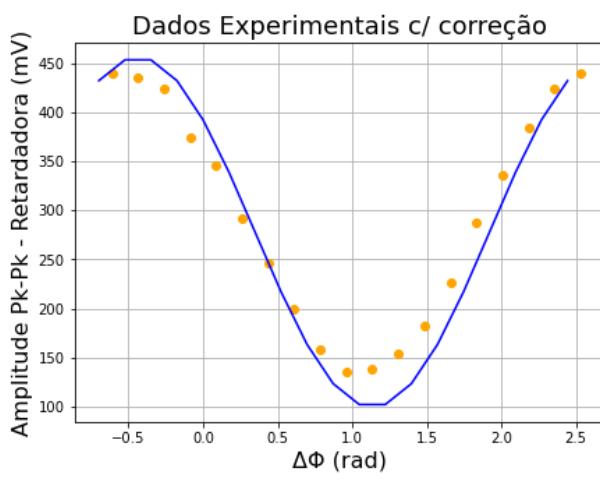


Gráfico 11

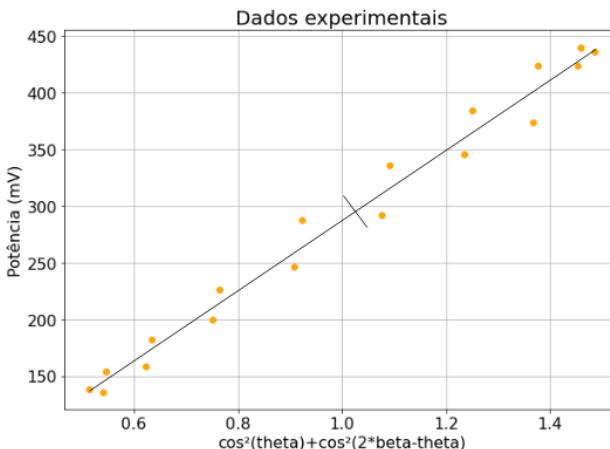


Gráfico 10