

15.5

Estudo da Indução Magnética

Luís Reis, PL1, Grupo 1

Departamento de Física e Astronomia da Universidade do Porto

Resumo

Obteve-se o valor de $\mu_0 = (1.254 \pm 0.009) \text{ Hm}^{-6}$ com uma incerteza relativa de 0.7% e um erro relativo de 0.2%, comparando com o valor tabelado de 1.2566 Hm^{-6} .

que é ... ?

|| muito incompleto

Introdução

Fazendo passar uma corrente por um solenóide pode-se induzir uma diferença de potencial numa bobina posicionada no interior do solenóide. Esta diferença de potencial ocorre da criação de um campo magnético e é igual ao simétrico da variação do fluxo magnético criado pelo solenóide em função do tempo. O fluxo que passa pela bobina é dado por:

$$\phi_{total} = \mu_0 \frac{NnScos(\theta)i}{L} \quad (1)$$

sendo θ o angulo entre o campo magnetico e o eixo da bobina.

Como i varia de forma sinusoidal e a sua amplitude é i_0 , a amplitude da tensão gerada nos terminais da bobina é,

$$V_{E0} = \mu_0 \frac{nNScos(\theta)\omega i_0}{L} \quad (2)$$

Para cada elemento que varia iguala-se o declive obtido pela equação para obter μ_0 . Por exemplo, para ω variável:

$$m = \mu_0 \frac{nNScos(\theta)i_0}{L} \implies \mu_0 = \frac{mL}{nNScos(\theta)i_0} \quad (3)$$

Faltam referências
 1
 que a presente bibliografia
 no fim é

Método Experimental

Introduziu-se uma bobina de prova dentro de um solenoide, garantindo eixos concêntricos e variou-se apenas uma grandeza, mantendo as outras constantes. Para cada ensaio, registou-se o valor da grandeza variada (w , i_0 , n , S , $\cos \theta$), e o valor de V_{E0} .

Montagem Experimental

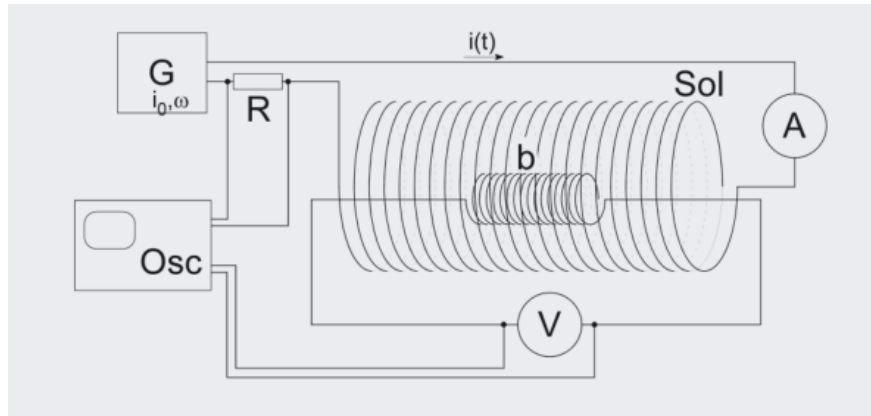


Figura 1: Esquema da montagem do solenóide com uma bobina de prova

Falta numerar as seções
e subseções

Análise de Dados

As tabelas com os dados estão no anexo.
O solenóide tem $L=75\text{cm}$ e $N=364$.

V_{E0} em função de ω

Apenas se pretende variar ω então foi necessário ajustar a amplitude do sinal de entrada para corrigir a corrente e esta ser constante, assim obteve-se valores para a corrente com uma variação máxima de 1mA . Foi usada a bobina 1.

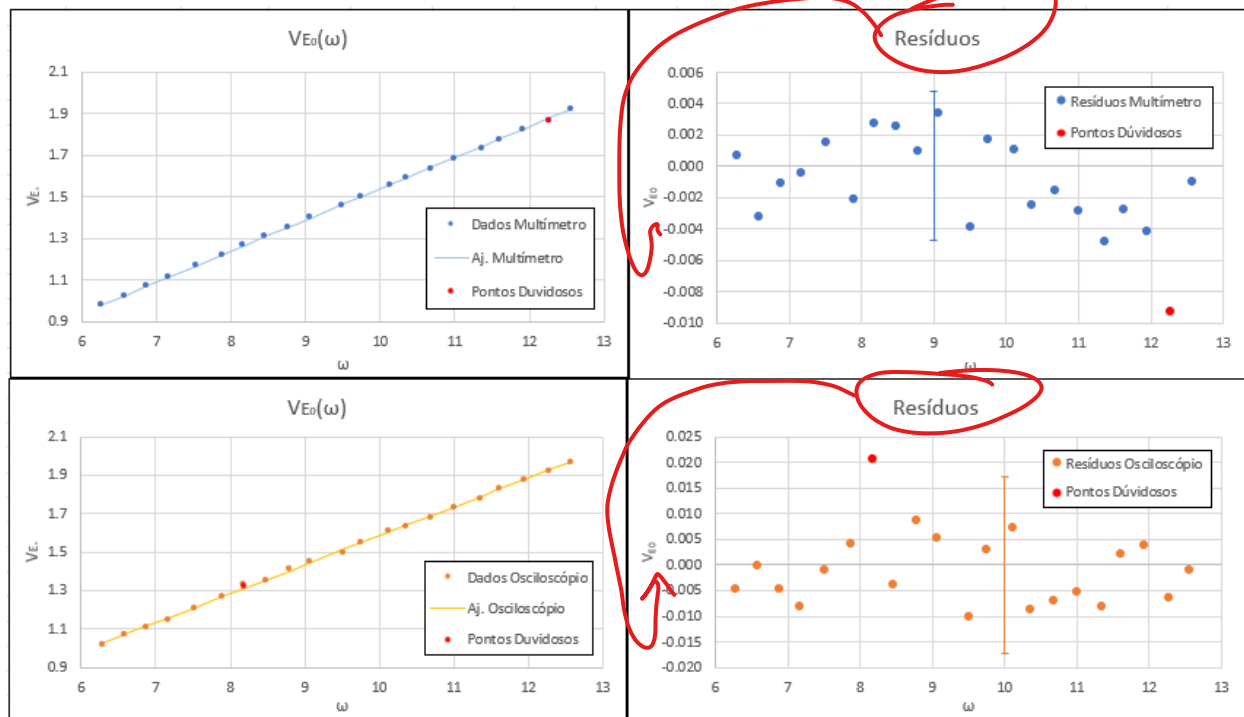


Figura 2: Gráficos de V_{E0} em função de ω e seus resíduos

Multímetro			
m	0.1496	0.043	b
u(m)	0.0004	0.004	u(b)
r^2	0.99988	0.00238	s(y)
Osciloscópio			
m	0.151	0.08	b
u(m)	0.002	0.01	u(b)
r^2	0.9985	0.0086	s(y)

Figura 3: Matriz dos parâmetros do ajuste de V_{E0} em função de ω

não é critério absoluto!

Como há um ponto fora do limite de $2s_y$ em cada gráfico, fez-se um novo ajuste. Para este segundo ajuste obteve-se as seguintes matrizes e resultados:

Multímetro 2			
m	0.1491	0.047	b
u(m)	0.0003	0.003	u(b)
r^2	0.99993	0.00236	s(y)
Osciloscópio 2			
m	0.1505	0.077	b
u(m)	0.0007	0.007	u(b)
r^2	0.9996	0.0059	s(y)

gráficos de resíduos?

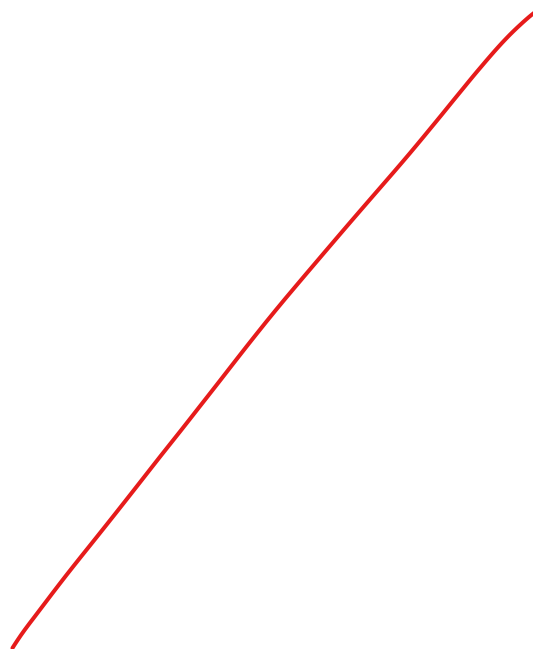
Figura 4: Matriz dos parâmetros do ajuste de V_{E0} em função de ω sem os pontos duvidosos

	μ_0 (Hm ⁻⁵)	u (μ_0) %	erro %
Multímetro	1.56±0.06	3.8%	24%
Osciloscópio	1.58±0.06	3.8%	26%

Figura 5: Valores de μ_0 obtidos através de m , incertezas e erros associados ($V_{E0}(\omega)$)

V_{E0} em função de i_0

Neste caso variou-se a corrente entre 272mA e 812mA, deixando todos os outros valores constantes. Para tal foi variada a amplitude da entrada com uma frequência de 5969rad s⁻¹. Foi usada a bobina 1 novamente.



OBS semelhantes a $\uparrow \uparrow \uparrow$

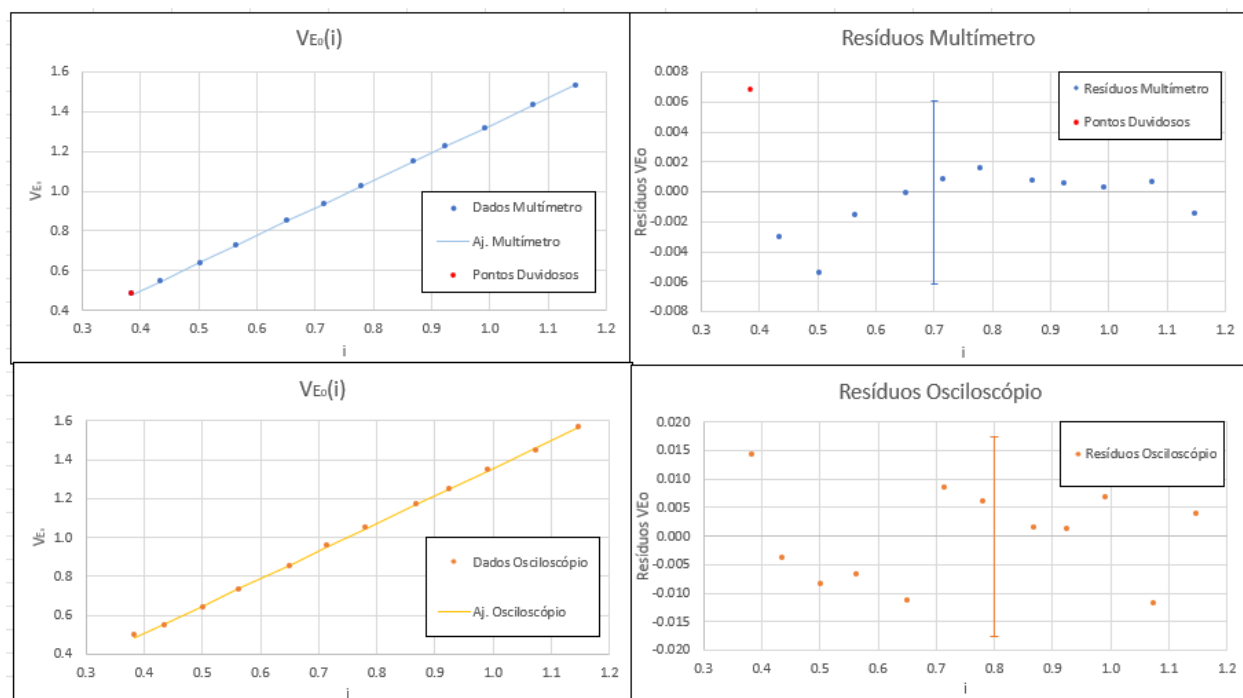


Figura 6: Gráficos de V_{E0} em função de $i0$ e seus resíduos

Multímetro			
m	1.381	-0.052	b
u(m)	0.004	0.003	u(b)
r^2	0.99993	0.00306	s(y)

Osciloscópio			
m	1.42	-0.065	b
u(m)	0.01	0.008	u(b)
r^2	0.9995	0.0088	s(y)

Figura 7: Matriz dos parâmetros do ajuste de V_{E0} em função de $i0$

Como há um ponto fora do limite de $2s_y$ no gráfico dos dados obtidos pelo multímetro, fez-se um novo ajuste. Para este segundo ajuste obteve-se a seguinte matriz e resultados:

gráficos de resíduos?

Multímetro 2			
m	1.386	-0.056	b
u(m)	0.002	0.002	u(b)
r^2	0.99997	0.00182	s(y)

Figura 8: Matriz dos parâmetros do ajuste de V_{E0} em função de $i0$ sem pontos duvidosos

	μ_0 (Hm ⁻⁶)	u (μ_0) %	erro %
Multímetro	1.224±0.002	0.2%	2.6%
Osciloscópio	1.254±0.009	0.7%	0.2%

Figura 9: Valores de μ_0 obtidos através de m , incertezas e erros associados ($V_{E0}(i0)$)

V_{E0} em função de n

Nesta parte usou-se as bobinas de prova 1, 4, 5, 7 e 8 (todas com S igual) e manteve-se todos os outros valores constantes, ($I=512\text{mA}$ e $\omega=5899\text{rads}^{-1}$).

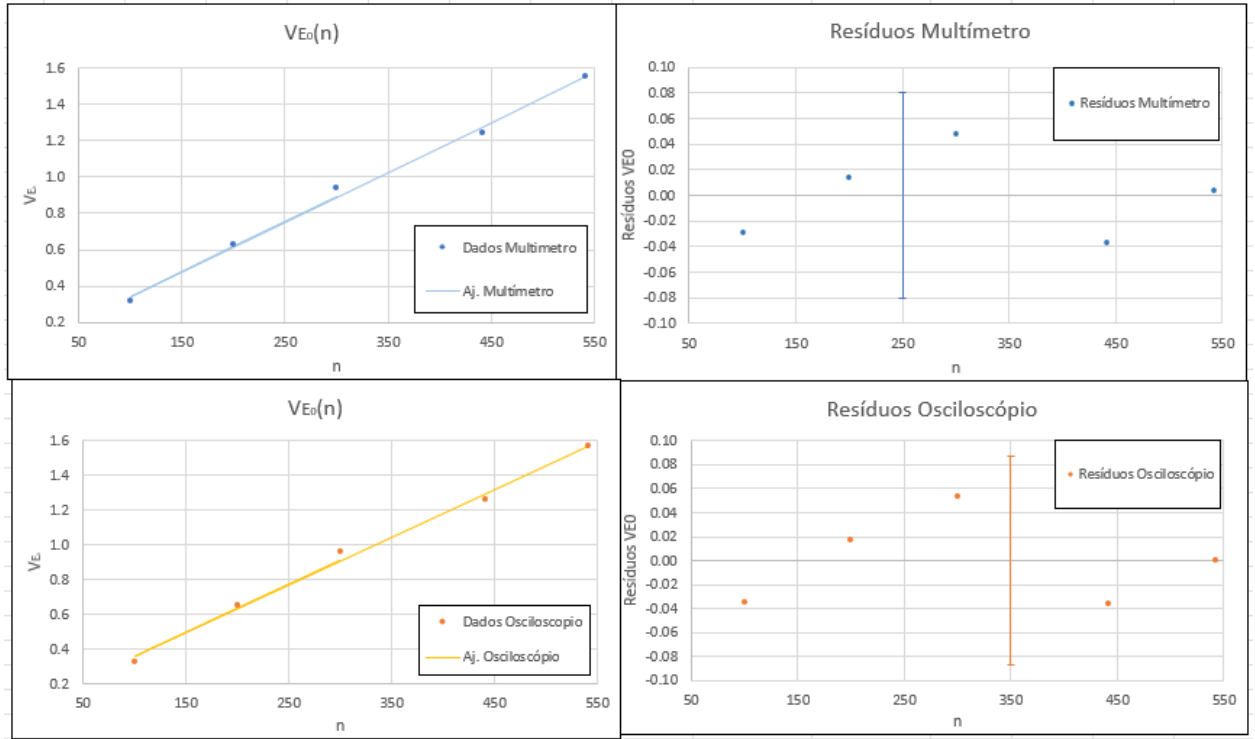


Figura 10: Gráficos de V_{E0} em função de n e seus resíduos

Multímetro			
m	0.0027	0.07	b
$u(m)$	0.0001	0.04	$u(b)$
r^2	0.995	0.040	$s(y)$
Osciloscópio			
m	0.0027	0.08	b
$u(m)$	0.0001	0.04	$u(b)$
r^2	0.994	0.043	$s(y)$

Figura 11: Matriz dos parâmetros do ajuste de V_{E0} em função de n

Para este ajuste obteve-se os seguintes resultados:

	μ_0 (Hm ⁻⁶)	u (μ_0) %	erro %
Multímetro	1.01±0.04	4%	20%
Osciloscópio	1.01±0.04	4%	20%

Figura 12: Valores de μ_0 obtidos através de m , incertezas e erros associados ($V_{E0}(n)$)

V_{E0} em função de S

Nesta parte usou-se bobinas com secções transversais diferentes (1, 2, 3). $I=512\text{mA}$, $\omega=5874\text{rad s}^{-1}$.

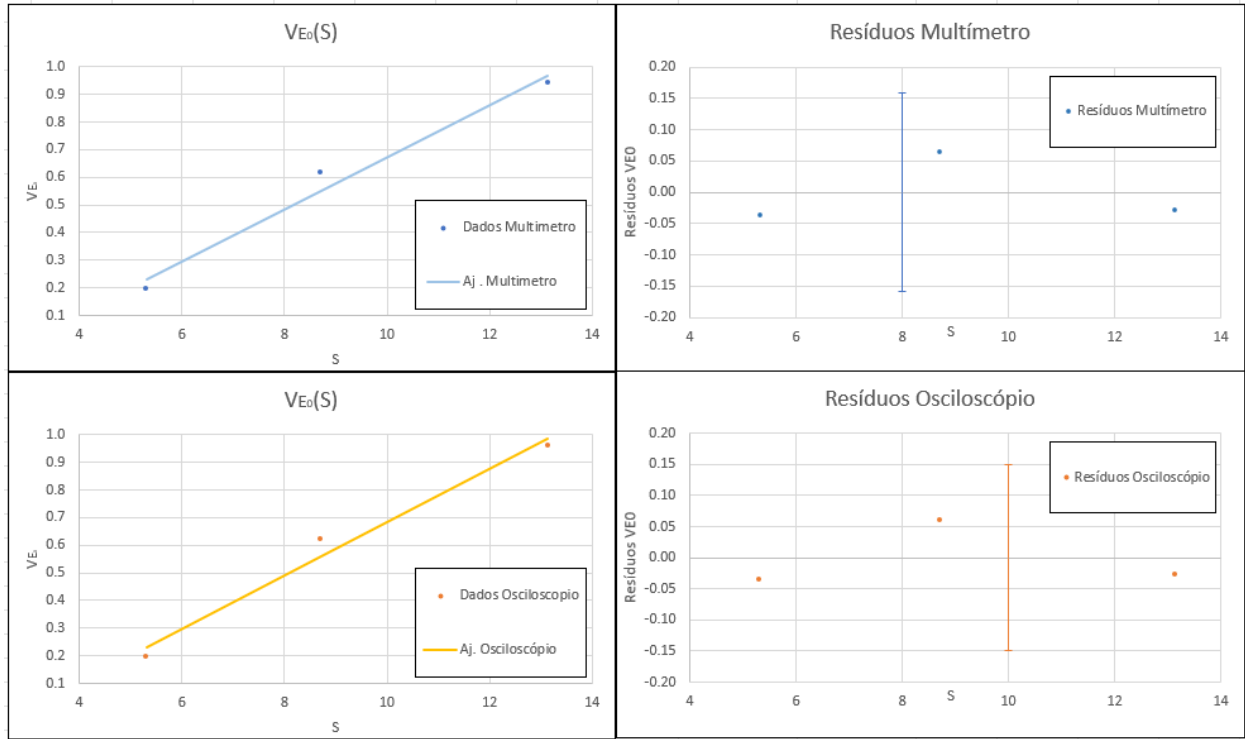


Figura 13: Gráficos de V_{E0} em função de S e seus resíduos

Multímetro			
m	0.09	-0.3	b
u(m)	0.01	0.1	u(b)
r^2	0.98	0.08	s(y)
Osciloscópio			
m	0.10	-0.3	b
u(m)	0.01	0.1	u(b)
r^2	0.98	0.08	s(y)

Figura 14: Matriz dos parâmetros do ajuste de V_{E0} em função de S

Para este ajuste obteve-se os seguintes resultados:

	μ_0 (Hm ⁻⁶)	u (μ_0) %	erro %
Multímetro	1.5±0.2	13%	19%
Osciloscópio	1.6±0.02	13%	27%

Figura 15: Valores de μ_0 obtidos através de m , incertezas e erros associados ($V_{E0}(S)$)

V_{E0} em função de $\cos(\theta)$

A bobina de prova (6) utilizada para este estudo permitia ser rodada ao longo de um eixo perpendicular ao eixo do solenóide. Assim obtivemos os seguintes dados variando o ângulo por 6 valores igualmente distribuídos entre 0° e 90° em relação ao eixo do solenóide. $I=513\text{mA}$, $\omega=10819\text{rads}^{-1}$.

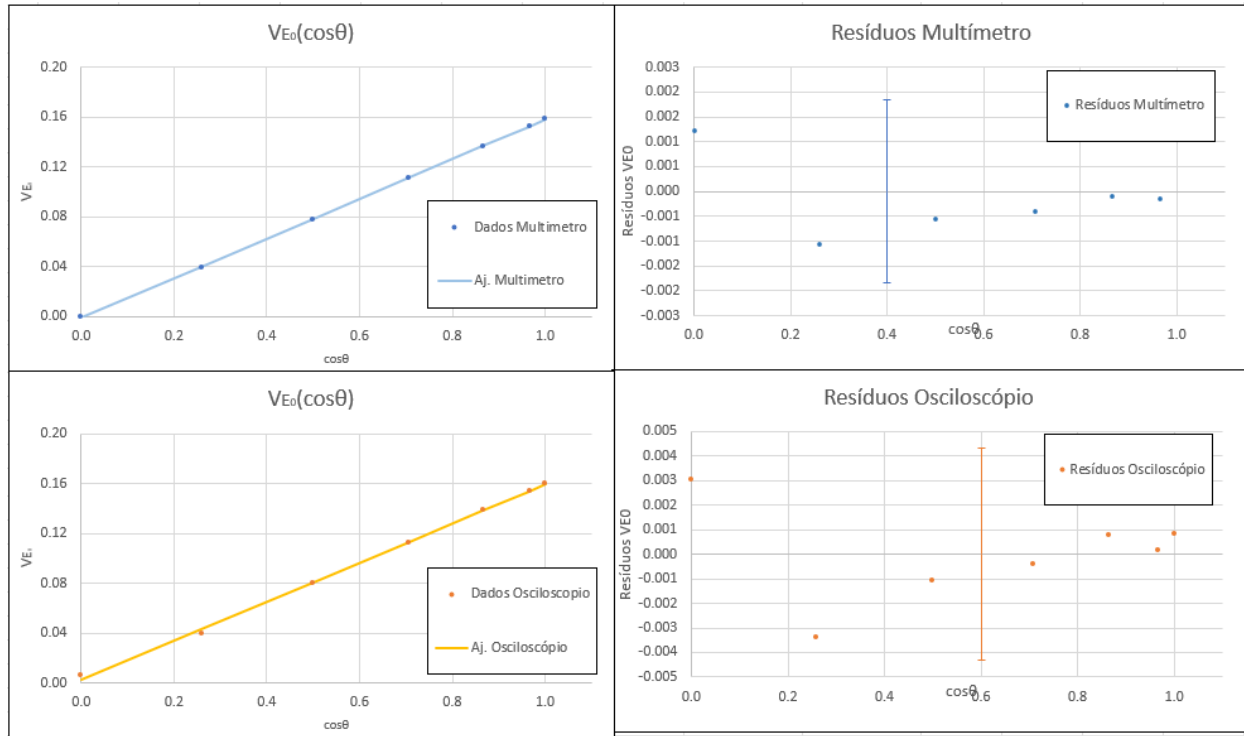


Figura 16: Gráficos de V_{E0} em função de $\cos(\theta)$ e seus resíduos

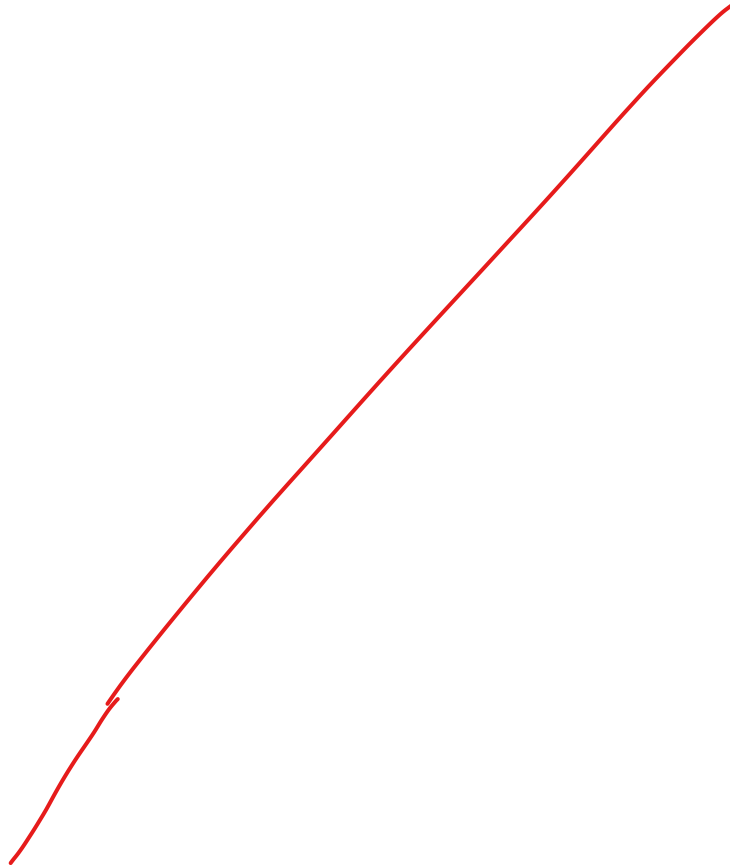
Multímetro			
m	1.59E-01	-1.2E-03	b
u(m)	1.E-03	7E-04	u(b)
r^2	0.9998	9E-04	s(y)
Osciloscópio			
m	1.56E-01	3.0E-03	b
u(m)	2.E-03	2E-03	u(b)
r^2	0.9989	2E-03	s(y)

Figura 17: Matriz dos parâmetros do ajuste de V_{E0} em função de $\cos(\theta)$

Para este ajuste obteve-se os seguintes resultados:

	μ_0 (Hm ⁻⁵)	u (μ_0) %	erro %
Multímetro	1.40±0.01	0.7%	11%
Osciloscópio	1.37±0.02	1.5%	9%

Figura 18: Valores de μ_0 obtidos através de m , incertezas e erros associados ($V_{E0}(\cos(\theta))$)



Sumário dos Resultados

		μ_0 (Hm ⁻⁶)	u (μ_0) %	erro %
ω	Multímetro	1.56±0.06	3.8%	24%
	Osciloscópio	1.58±0.06	3.8%	26%
i_0	Multímetro	1.224±0.002	0.2%	2.6%
	Osciloscópio	1.254±0.009	0.7%	0.2%
n	Multímetro	1.01±0.04	4%	20%
	Osciloscópio	1.01±0.04	4%	20%
S	Multímetro	1.5±0.2	13%	19%
	Osciloscópio	1.6±0.02	13%	27%
$\cos(\theta)$	Multímetro	1.40±0.01	0.7%	11%
	Osciloscópio	1.37±0.02	1.5%	9%

O melhor resultado obtido foi $\mu_0 = (1.254 \pm 0.009) \text{Hm}^{-6}$ com um erro de 0.2%.

Conclusões

Verificamos que uma corrente no solenóide gera uma tensão na bobina de prova verificando-se assim a indução magnética pretendida. Analisamos a dependência de V_{E0} em função de ω , i , n , S , $\cos(\theta)$, obtendo-se erros elevados para todos os estudos exceto para V_{E0} em função de i . Nesse caso o erro foi de 0.2%, usando os dados do osciloscópio e de 2.6% usando os dados do multímetro.

No estudo de V_{E0} em função de $\cos(\theta)$ o osciloscópio mostrou uma tensão residual enquanto que o multímetro apresenta 0 como esperado. Assim vemos a razão pela qual o osciloscópio mostrou sempre valores ligeiramente superiores ao multímetro.

Referências

[1] **Protocolo do Trabalho 3B:** Estudo da indução magnética – Laboratório de Física II - 2022/2023

mostrar q/ a
sobreposição das
gráficos

Oscil/multim.
TRMS

Anexo

Multímetro				Osciloscópio		constante					
V_{RMS} (V)	$u(V_{RMS})$ (V)	$V_{E0}(V)$	$u(V_{E0})$ (V)	V_{OSC} (V)	$u(V_{OSC})$ (V)	$i_0(A)\text{-RMS}$	$u(i_0)$	f (KHz)	$u(f)$ (KHz)	ω (rad s ⁻¹)	$u(\omega)$ (rad s ⁻¹)
0.6952	0.0001	0.9832	0.0001	1.02	0.01	0.503	0.001	1.000	0.001	6.283	0.006
0.7243	0.0001	1.0243	0.0001	1.07	0.01	0.502	0.001	1.048	0.001	6.585	0.006
0.7571	0.0001	1.0707	0.0001	1.11	0.01	0.502	0.001	1.095	0.001	6.880	0.006
0.7881	0.0001	1.1145	0.0001	1.15	0.01	0.503	0.001	1.141	0.001	7.169	0.006
0.8267	0.0001	1.1691	0.0001	1.21	0.01	0.503	0.001	1.197	0.001	7.521	0.006
0.8627	0.0001	1.2200	0.0001	1.27	0.01	0.502	0.001	1.255	0.001	7.885	0.006
0.8967	0.0001	1.2681	0.0001	1.33	0.01	0.503	0.001	1.301	0.001	8.174	0.006
0.9278	0.0001	1.3121	0.0001	1.35	0.01	0.503	0.001	1.348	0.001	8.470	0.006
0.9599	0.0001	1.3575	0.0001	1.41	0.01	0.503	0.001	1.398	0.001	8.784	0.006
0.9922	0.0001	1.4032	0.0001	1.45	0.01	0.503	0.001	1.444	0.001	9.073	0.006
1.0329	0.0001	1.4607	0.0001	1.5	0.01	0.502	0.001	1.513	0.001	9.506	0.006
1.0628	0.0001	1.5030	0.0001	1.55	0.01	0.503	0.001	1.552	0.001	9.752	0.006
1.1015	0.0001	1.5578	0.0001	1.61	0.01	0.503	0.001	1.611	0.001	10.122	0.006
1.1243	0.0001	1.5900	0.0001	1.63	0.01	0.503	0.001	1.649	0.001	10.361	0.006
1.1588	0.0001	1.6388	0.0001	1.68	0.01	0.503	0.001	1.700	0.001	10.681	0.006
1.1918	0.0001	1.6855	0.0001	1.73	0.01	0.502	0.001	1.751	0.001	11.002	0.006
1.2276	0.0001	1.7361	0.0001	1.78	0.01	0.503	0.001	1.807	0.001	11.354	0.006
1.257	0.0001	1.7777	0.0001	1.83	0.01	0.503	0.001	1.849	0.001	11.618	0.006
1.2899	0.0001	1.8242	0.0001	1.88	0.01	0.503	0.001	1.900	0.001	11.938	0.006
1.3215	0.0001	1.8689	0.0001	1.92	0.01	0.502	0.001	1.953	0.001	12.271	0.006
1.3586	0.0001	1.9214	0.0001	1.97	0.01	0.503	0.001	2.000	0.001	12.566	0.006

Tabela 1: Dados para V_{E0} em função de ω

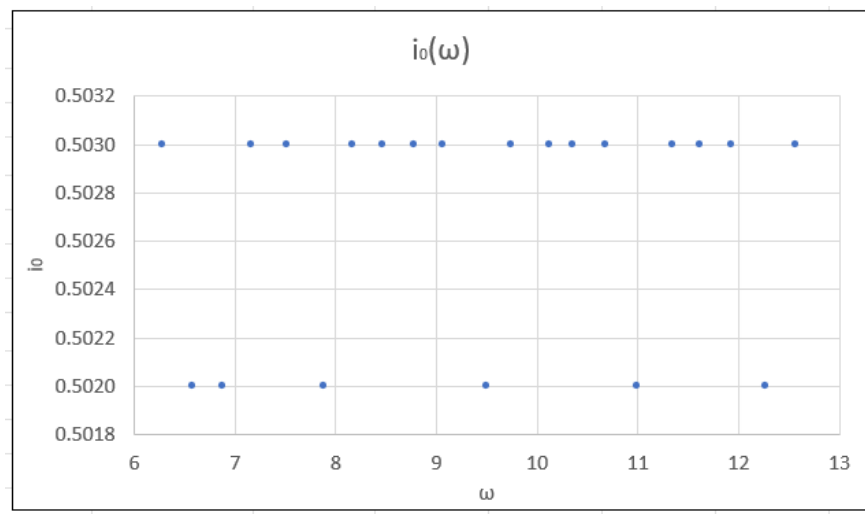


Figura 19: Dados da corrente para V_{E0} em função de ω

Multímetro				Osciloscópio					
V_{RMS} (V)	$u(V_{RMS})$ (V)	$V_{E0}(V)$	$u(V_{E0})$ (V)	V_{OSC} (V)	$u(V_{OSC})$ (V)	$I(A)$	$u(I)$ (A)	$i_0(A)$	$u(i_0)$
0.3438	0.0001	0.4862	0.0001	0.496	0.001	0.272	0.001	0.385	0.001
0.3866	0.0001	0.5467	0.0001	0.55	0.001	0.308	0.001	0.436	0.001
0.4498	0.0001	0.6361	0.0001	0.64	0.01	0.355	0.001	0.502	0.001
0.5133	0.0001	0.7259	0.0001	0.73	0.01	0.399	0.001	0.564	0.001
0.6000	0.0001	0.8485	0.0001	0.85	0.01	0.461	0.001	0.652	0.001
0.6628	0.0001	0.9373	0.0001	0.96	0.01	0.506	0.001	0.716	0.001
0.7268	0.0001	1.0279	0.0001	1.05	0.01	0.552	0.001	0.781	0.001
0.8119	0.0001	1.1482	0.0001	1.17	0.01	0.614	0.001	0.868	0.001
0.8670	0.0001	1.2261	0.0001	1.25	0.01	0.654	0.001	0.925	0.001
0.9317	0.0001	1.3176	0.0001	1.35	0.01	0.701	0.001	0.991	0.001
1.0135	0.0001	1.4333	0.0001	1.45	0.01	0.760	0.001	1.075	0.001
1.0838	0.0001	1.5327	0.0001	1.57	0.01	0.812	0.001	1.148	0.001

Tabela 2: Dados para V_{E0} em função de i_0

	Multímetro				Osciloscópio	
n	V_{RMS} (V)	$u(V_{RMS})$ (V)	$V_{E0}(V)$	$u(V_{E0})$ (V)	V_{OSC} (V)	$u(V_{OSC})$ (V)
300	0.6641	0.0001	0.9392	0.0001	0.96	0.01
200	0.447	0.0001	0.6322	0.0001	0.65	0.01
100	0.2233	0.0001	0.3158	0.0001	0.324	0.001
442	0.8774	0.0001	1.2408	0.0001	1.26	0.01
542	1.0992	0.0001	1.5545	0.0001	1.57	0.01

Tabela 3: Dados para V_{E0} em função de n

		Multímetro				Osciloscópio	
D	S cm ²	V_{RMS} (V)	$u(V_{RMS})$ (V)	$V_{E0}(V)$	$u(V_{E0})$ (V)	V_{OSC} (V)	$u(V_{OSC})$ (V)
40.9	13.14	6.6E-01	1.E-04	9.4E-01	1.4E-04	9.6E-01	1.E-02
33.3	8.71	4.4E-01	1.E-04	6.2E-01	1.4E-04	6.2E-01	1.E-02
26.0	5.31	1.4E-01	1.E-04	2.0E-01	1.4E-04	2.0E-01	1.E-03

Tabela 4: Dados para V_{E0} em função de S

			Multímetro				Osciloscópio	
$\theta (^{\circ})$	θ (rad)	$\cos(\theta)$	V_{RMS} (V)	$u(V_{RMS})$ (V)	$V_{E0}(V)$	$u(V_{E0})$ (V)	V_{OSC} (V)	$u(V_{OSC})$ (V)
0	0	1	1.12E-01	1.E-04	1.59E-01	1.E-04	1.60E-01	1.E-04
15	0.26	0.97	1.08E-01	1.E-04	1.52E-01	1.E-04	1.54E-01	1.E-04
30	0.52	0.87	9.65E-02	1.E-04	1.36E-01	1.E-04	1.39E-01	1.E-04
45	0.79	0.71	7.84E-02	1.E-04	1.11E-01	1.E-04	1.13E-01	1.E-04
60	1.05	0.5	5.50E-02	1.E-04	7.78E-02	1.E-04	8.00E-02	1.E-04
75	1.31	0.26	2.75E-02	1.E-04	3.89E-02	1.E-04	4.00E-02	1.E-04
90	1.57	0	0	1.E-04	0	1.E-04	6.00E-03	1.E-04

Tabela 5: Dados para V_{E0} em função de $\cos(\theta)$

Bobina	D(mm)	n
1	41	300
2	33	300
3	26	300
4	41	200
5	41	100
6	26	100
7	41	442
8	41	542

Tabela 6: Dados das as caraterísticas das bobinas