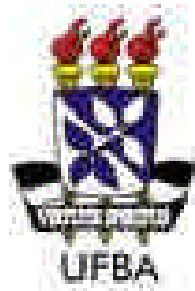


UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE FÍSICA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA DO ESTADO SÓLIDO
FIS 101 – ESTRUTURA DA MATÉRIA I
PROF.: Edmar M do Nascimento
Turma: Teórica/ Prática
Equipe: *Adriano L. do Valle*

Data: Dezembro de 2004



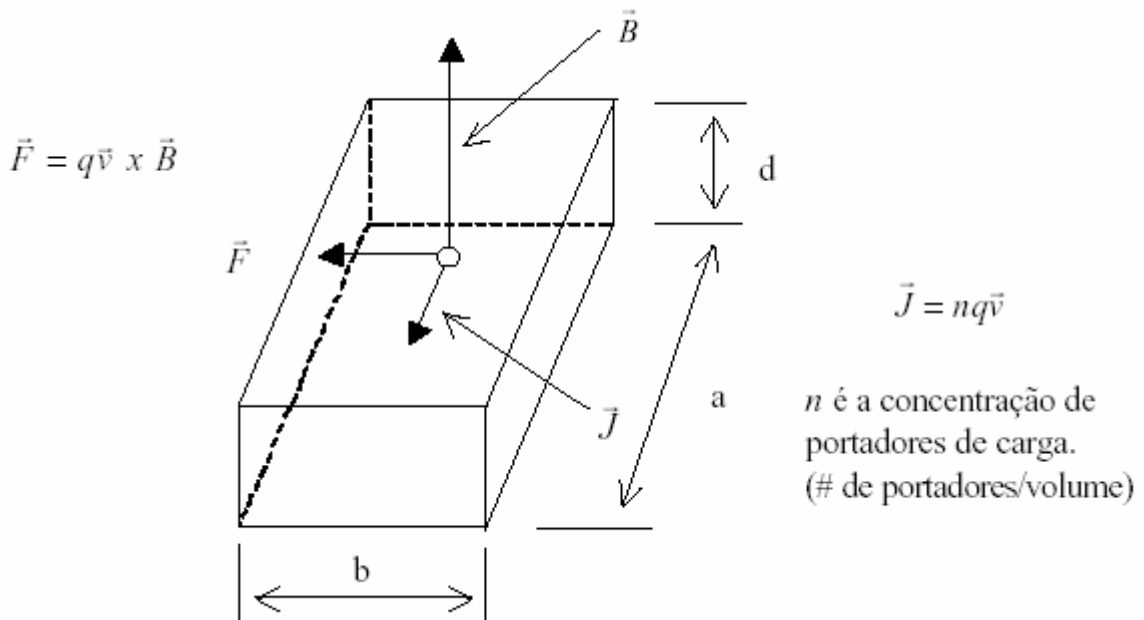
EFEITO HALL
(RELATÓRIO / EXPERIMENTO - 5)

I – OBJETIVOS DO EXPERIMENTO

A finalidade do experimento é estudar o efeito Hall determinando a constante Hall por unidade de espessura em uma célula Hall. A célula Hall será então calibrada para ser utilizada em medidas da indução magnética.

II - PARTE TEÓRICA

Consideremos um condutor na forma de uma barra de seção retangular conduzindo uma corrente elétrica I . Apliquemos um campo de indução magnética \vec{B} perpendicular à densidade de corrente \vec{J} conforme o desenho a seguir. Os portadores de carga q que estão em movimento com uma velocidade de deslocamento \vec{v} estarão sob efeito de uma força magnética que os deslocarão para a lateral do condutor, aumentando a concentração desses portadores nessa região. Essa maior concentração de cargas na lateral dá origem a um campo elétrico lateral conhecido como campo Hall ou \vec{E}_H . Esse campo pode ser detectado pela medida da diferença de potencial que aparece entre as faces laterais do condutor, chamada de tensão Hall ou V_H .



Os portadores de carga não podem sair pela lateral do condutor. Portanto, na situação de equilíbrio, o campo Hall exerce uma força nos portadores de carga em movimento no sentido oposto à força magnética.

$$q \cdot \vec{E} = -q \cdot \vec{v}_d \times \vec{B} \quad \text{e} \quad \vec{E}_H = -\vec{v}_d \times \vec{B} \quad \text{como} \quad \vec{v}_d = \frac{\vec{J}}{nq} \quad \text{temos:}$$

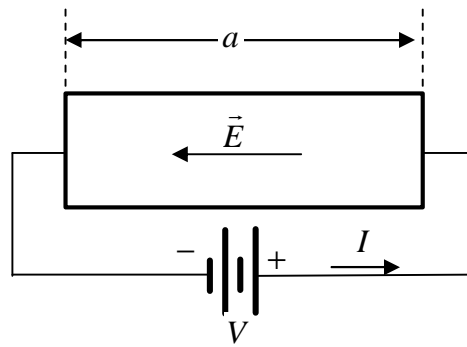
$$\vec{E} = -\frac{1}{nq} \vec{J} \times \vec{B} \quad \text{com} \quad \frac{1}{nq} = R_H \Rightarrow \vec{E} = -R_H \cdot \vec{J} \times \vec{B}$$

onde R_H é definida como a constante Hall do material. A constante Hall pode ser determinada a partir das medidas da tensão Hall e da corrente que passa pelo semicondutor, sendo conhecida a espessura da barra e o valor da indução magnética pois,

$$E_H = \frac{V_H}{b} \quad \text{e} \quad J = \frac{I}{bd} \quad \therefore R_H = \frac{V_H}{JB} \quad \therefore R_H = \frac{V_H}{\frac{I}{bd} B} \quad \therefore R_H = \frac{V_H d}{IB}$$

A mobilidade, m , dos portadores de carga é definida como a constante de

proporcionalidade entre a velocidade de deslocamento dos portadores e o campo elétrico que os coloca em movimento, com esse resultante da aplicação de uma diferença de potencial V entre os extremos da barra ao longo da dimensão a .



$$\text{De } \vec{v}_d = \mathbf{m} \cdot \vec{E} \quad (1), \quad \vec{v}_d = \frac{\vec{J}}{nq} \quad (2), \quad E = \frac{V}{a} \quad (3), \quad J = \frac{I}{bd} \quad (4) \text{ e } \quad \frac{1}{nq} = R_H = \frac{V_H d}{IB} \quad (5)$$

$$\text{Substituindo (2) em (1) temos } \frac{\vec{J}}{nq} = \mathbf{m} \cdot \vec{E} \quad (6)$$

$$\text{Substituindo (3), (4) e (5) em (6) temos } \frac{\frac{I}{bd}}{\frac{1}{R_H}} = \mathbf{m} \cdot \frac{V}{a} \quad \text{e} \quad \frac{V_H d}{IB} \frac{I}{bd} = \mathbf{m} \cdot \frac{V}{a} \quad \text{e} \quad \frac{V_H}{Bb} = \mathbf{m} \cdot \frac{V}{a}$$

Vemos portanto que a mobilidade pode ser determinada pelas medidas das tensões, da indução magnética, do comprimento e largura da barra semicondutora. Ou seja a tensão Hall fornece uma medida direta da mobilidade.

$$\mathbf{m} = \frac{a}{b} \cdot \frac{V_H}{V \cdot B}$$

È fácil verificar que a mobilidade está relacionada com a condutividade, S , através da constante Hall, $\mathbf{m} = R_H S$ pois,

$$\vec{J} = \mathbf{S} \cdot \vec{E} \text{ e } \vec{J} = \frac{1}{R_H} \mathbf{m} \cdot \vec{E}$$

III - PARTE EXPERIMENTAL

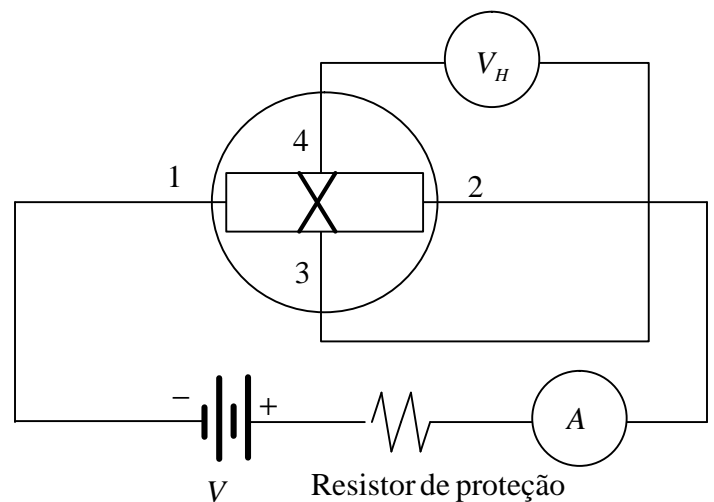
MATERIAL

1. Eletroímã (I_{\max} 1.5 A), com peças polares cilíndricas.
2. Fonte de alimentação CENCO 50 Vdc, 5 A.
3. Multiteste Minipa ET-2080, 0 - 20 A, DC (medida da corrente do imã).
4. Multiteste Minipa ET-2080, 0 - 400mA, DC (medida da corrente na célula Hall).
5. Multiteste Minipa ET-2080, 0 – 2Vdc (medida da tensão Hall)
6. Fonte de tensão ajustável SME.
7. Célula Hall.

MONTAGEM EXPERIMENTAL E PROCEDIMENTOS:

A célula Hall que usaremos consiste em uma lâmina retangular fina, com espessura, d , desconhecida, onde foram soldados eletrodos em pontos opostos nas laterais. Passaremos uma corrente elétrica entre os pontos 1 e 2 e mediremos a tensão Hall entre os pontos 3 e 4 conforme o diagrama a seguir.

- 1 - fio preto
- 2 - fio vermelho
- 3 - fio branco
- 4 - fio verde

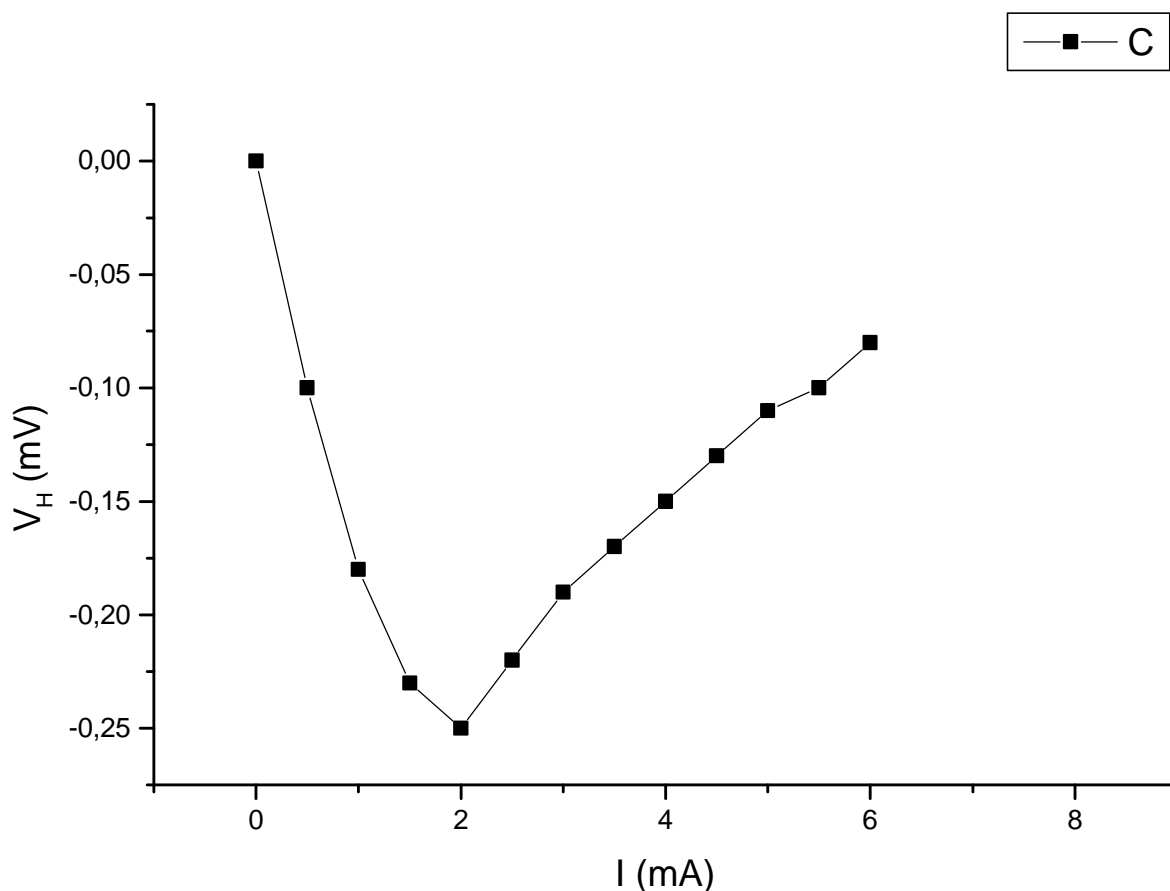


1. Inicialmente, com a célula Hall fora do campo magnético, medimos a diferença de potencial Hall, V_H , para valores de corrente variando de 0 mA a $8,0 \text{ mA}$ em incrementos de $0,5 \text{ mA}$. Isso é obtido variando-se lentamente a diferença de potencial V na fonte ajustável. Usamos o botão de ajuste fino para maior exatidão na variação da tensão e da corrente. Não ultrapassando 15 mA . Essa diferença de potencial Hall é devida à imperfeição no posicionamento dos eletrodos ao longo das laterais da barra semicondutora. Um valor de tensão diferente de zero entre os pontos 3 e 4, na ausência de campo de indução magnética, significa que os eletrodos estão localizados em superfícies equipotenciais distintas. Construa um gráfico da tensão Hall em função da corrente. Esse gráfico servirá para corrigir os valores da tensão Hall quando da aplicação do campo de indução magnética.

I (mA)	V (mV)	V _H (mV)
0,0	0	0
0,5	-0,12	-0,10
1,0	-0,22	-0,18
1,5	-0,29	-0,23
2,0	-0,35	-0,25
2,5	-0,35	-0,22
3,0	-0,34	-0,19
3,5	-0,34	-0,17
4,0	-0,33	-0,15
4,5	-0,33	-0,13
5,0	-0,32	-0,11
5,5	-0,32	-0,10
6,0	-0,31	-0,08

Tabela - 1

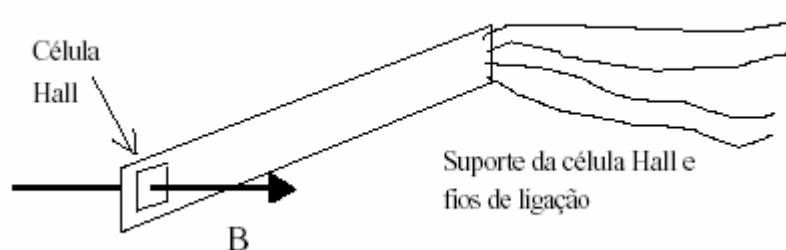
GRÁFICO - $V_H \sim I_H$ (Sem a presença do campo magnético)

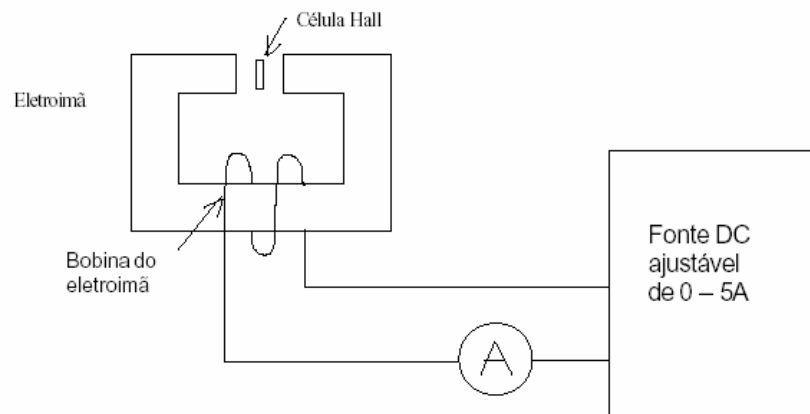


Obs.: Percebemos a não linearidade do gráfico, o que indica problemas no equipamento, a partir de agora vamos considerar apenas as correntes maiores ou iguais a 2A.

2. Introduzimos a célula Hall entre os pólos do eletroímã de modo que a face da célula fique perpendicular às linhas de campo (eixo do eletroímã). Centralizamos e fixamos a célula nessa posição.

Utilizamos o mesmo eletroímã que foi usado no experimento "Medidas de campos magnéticos" que foi realizado anteriormente a esse experimento. Foi necessário conhecer o valor da intensidade da indução magnética em função da corrente que passa pela bobina do eletroímã.





Ligamos a fonte do eletroímã e ajustamos a corrente para 1A. Mantivemos esse valor fixo para as medidas seguintes.

Ajustamos a corrente na célula Hall para valores entre 0 mA a 6,0 mA com incrementos de 0,5 mA e medimos os valores da tensão Hall, V_H , correspondentes. Corrija a tensão Hall utilizando o gráfico de correção do item anterior, adicionando ou subtraindo a correção conforme for o caso para obter o valor corrigido V_H' .

Faça uma tabela que conste os valores das correntes, das tensões medidas e das tensões corrigidas. Faça um gráfico da tensão Hall corrigida em função da corrente na célula. Determine a constante Hall por unidade de espessura, R_H/d , a partir do coeficiente de inclinação do gráfico.

Lembre-se que o valor da indução magnética é conhecida ($B = 1,23 \text{ T}$) do experimento 4.

$$I_E = 1,0 \text{ A}, B = 1,23 \text{ T}$$

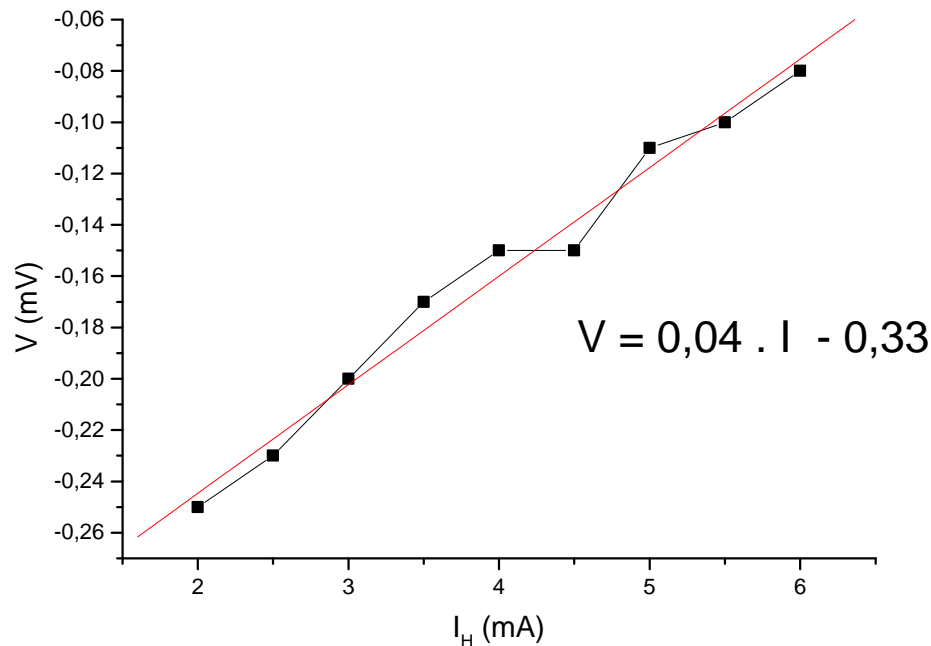
I_H (mA)	V_H (mV) medido	V_H (mV)	V_{HC} (mV)
0,0	0,00	0	0,00
0,5	-0,08	-0,10	0,02
1,0	-0,18	-0,18	0,00
1,5	-0,23	-0,23	0,00
2,0	-0,25	-0,25	0,00
2,5	-0,23	-0,22	-0,01
3,0	-0,20	-0,19	-0,01
3,5	-0,17	-0,17	0,00
4,0	-0,15	-0,15	0,00
4,5	-0,15	-0,13	-0,02
5,0	-0,11	-0,11	0,00
5,5	-0,10	-0,10	0,00
6,0	-0,08	-0,08	0,00

Tabela - 2

GRÁFICO - $V_H \text{ vs } I_H$

(Tabela - 2)

Obs.: Consideramos apenas valores de I maiores que 1 A caso contrário não seria possível termos uma reta, além do mais não consideramos os valores corrigidas para V_H , pois nos parece que o equipamento está com defeito.



De $V_H = \left(\frac{R_H}{d} B\right) \cdot I_H$ $\Rightarrow \frac{V_H}{I_H} = \frac{R_H}{d} B$ Logo $\frac{R_H}{d} = \frac{I_H}{B}$ onde $\frac{V_H}{I}$ = inclinação da reta e $B = 1,23 \text{ T}$

$$\text{Logo } \frac{R_H}{d} = \frac{0,04}{1,23} = 0,032 \text{ V/A.T}$$

3. Escolha 5 valores para a corrente do eletroímã, I_E , entre 0 e 2,0 A (excluindo 1,0 A). Para cada valor da corrente escolhida você vai medir as tensões Hall, e corrigi-las, para valores de corrente na célula Hall variando de 0 mA a 6,0 mA em incrementos de 0,5 mA.

$I_E = 0,4 \text{ A}$

I_H (mA)	V_H (mV)	V_H (mV)	V_{HC} (mV)
0,0	0,01	0	0,01
0,5	-0,10	-0,10	0,00
1,0	-0,19	-0,18	-0,01
1,5	-0,25	-0,23	-0,02
2,0	-0,29	-0,25	-0,04
2,5	-0,28	-0,22	-0,06
3,0	-0,27	-0,19	-0,08
3,5	-0,26	-0,17	-0,09
4,0	-0,24	-0,15	-0,09
4,5	-0,23	-0,13	-0,10
5,0	-0,22	-0,11	-0,11
5,5	-0,21	-0,10	-0,11
6,0	-0,20	-0,08	-0,12

Tabela - 3

$I_E = 0,8 \text{ A}$

I_H (mA)	V_H (mV)	V_H (mV)	V_{HC} (mV)
0,0	0,00	0,00	0,00
0,5	-0,09	-0,10	0,01
1,0	-0,19	-0,18	-0,01
1,5	-0,24	-0,23	-0,01
2,0	-0,26	-0,25	-0,01
2,5	-0,24	-0,22	-0,02
3,0	-0,22	-0,19	-0,03
3,5	-0,19	-0,17	-0,02
4,0	-0,18	-0,15	-0,03
4,5	-0,16	-0,13	-0,03
5,0	-0,14	-0,11	-0,03
5,5	-0,13	-0,10	-0,03
6,0	-0,12	-0,08	-0,04

Tabela - 4

$I_E = 1,2 \text{ A}$

I_H (mA)	V_H (mV)	V_H (mV)	V_{HC} (mV)
0,0	0,00	0	0,00
0,5	-0,08	-0,10	0,02
1,0	-0,17	-0,18	0,01
1,5	-0,22	-0,23	0,01
2,0	-0,24	-0,25	0,01
2,5	-0,21	-0,22	0,01
3,0	-0,18	-0,19	0,01
3,5	-0,15	-0,17	0,02
4,0	-0,13	-0,15	0,02
4,5	-0,10	-0,13	0,03
5,0	-0,08	-0,11	0,03
5,5	-0,06	-0,10	0,04
6,0	-0,05	-0,08	0,03

Tabela - 5

$I_E = 1,6 \text{ A}$

I_H (mA)	V_H (mV)	V_H (mV)	V_{HC} (mV)
0,0	0,00	0	0,00
0,5	-0,08	-0,10	0,02
1,0	-0,17	-0,18	0,01
1,5	-0,21	-0,23	0,02
2,0	-0,22	-0,25	0,03
2,5	-0,19	-0,22	0,03
3,0	-0,16	-0,19	0,03
3,5	-0,13	-0,17	0,04
4,0	-0,10	-0,15	0,05
4,5	-0,08	-0,13	0,05
5,0	-0,06	-0,11	0,05
5,5	-0,04	-0,10	0,06
6,0	0,00	-0,08	0,08

Tabela - 6

$I_E = 1,8 \text{ A}$

I_H (mA)	V_H (mV)	V_H (mV)	V_{HC} (mV)
0,0	0,00	0	0,00
0,5	-0,09	-0,10	0,01
1,0	-0,16	-0,18	0,02
1,5	-0,21	-0,23	0,02
2,0	-0,22	-0,25	0,03
2,5	-0,18	-0,22	0,04
3,0	-0,15	-0,19	0,04
3,5	-0,12	-0,17	0,05
4,0	-0,09	-0,15	0,06
4,5	-0,07	-0,13	0,06
5,0	-0,05	-0,11	0,06
5,5	-0,03	-0,10	0,07
6,0	-0,01	-0,08	0,07

Tabela - 7

Fizemos os gráficos das tensões Hall em função das correntes na célula para cada valor da corrente no eletroímã.

GRÁFICO - $V_H \text{ } I_H$

(Tabela - 3)

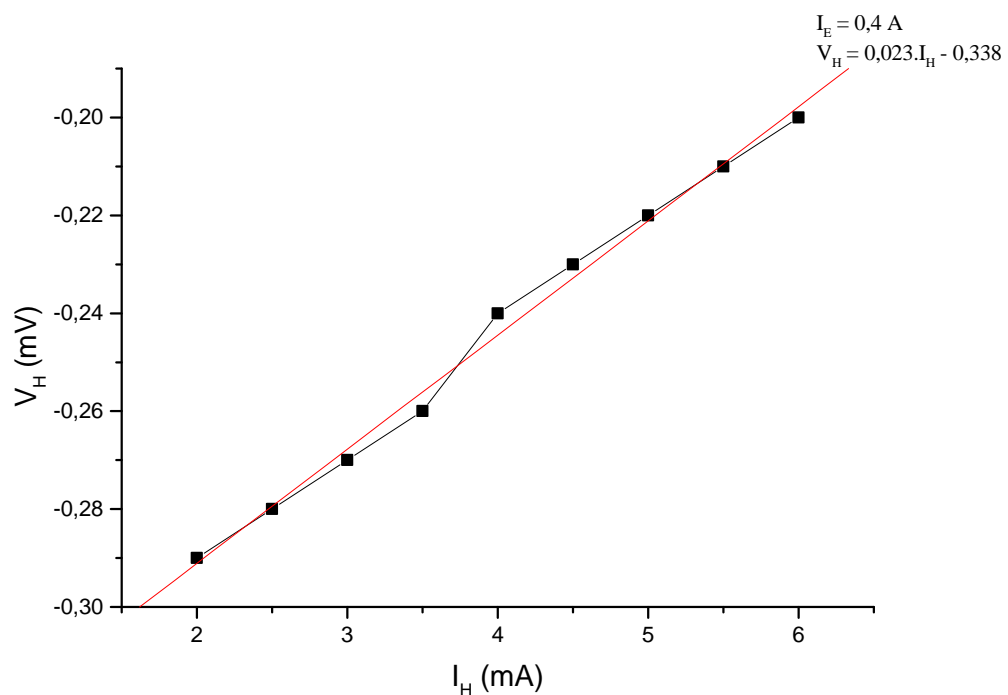


GRÁFICO - $V_H \text{ } I_H$
(Tabela - 4)

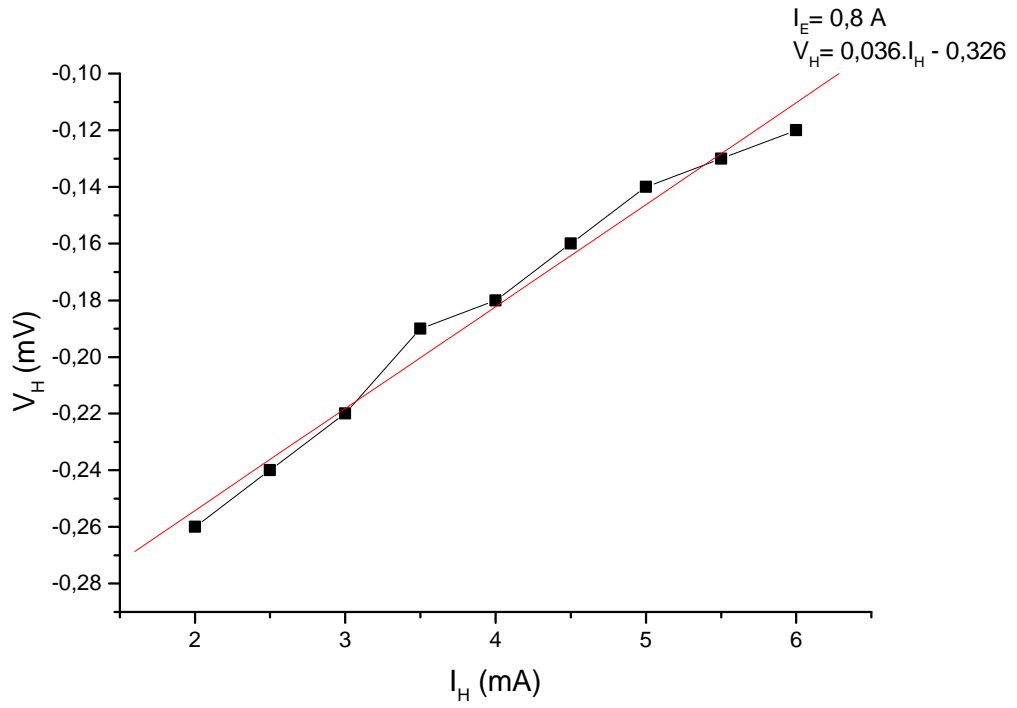


GRÁFICO - $V_H \text{ } I_H$
(Tabela - 5)

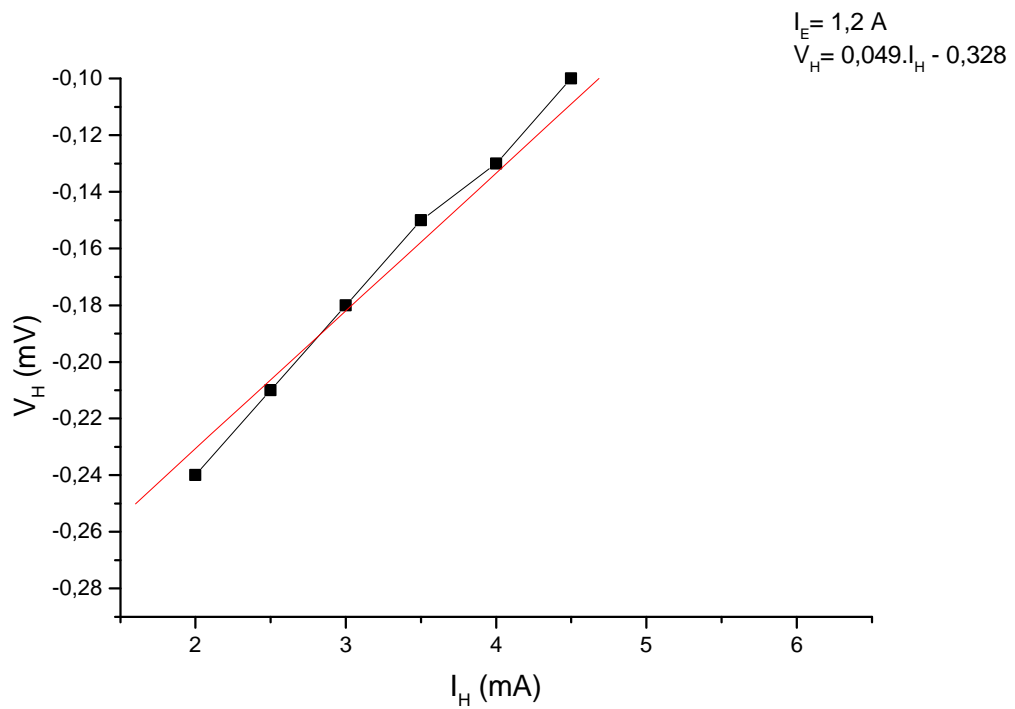


GRÁFICO - $V_H \text{ } I_H$
(Tabela - 6)

$I_E = 1,6 \text{ A}$
 $V_H = 0,053 \cdot I_H - 0,320$

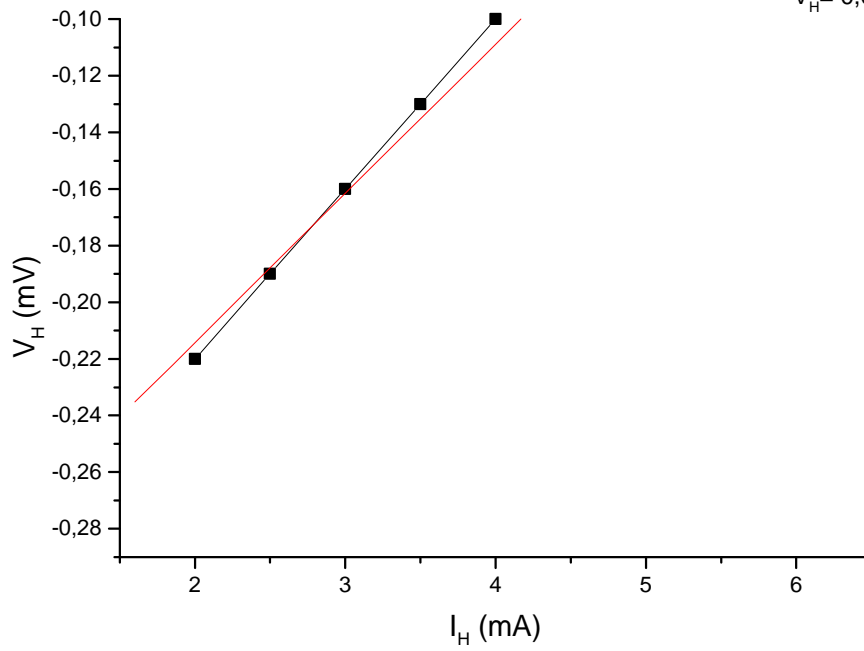
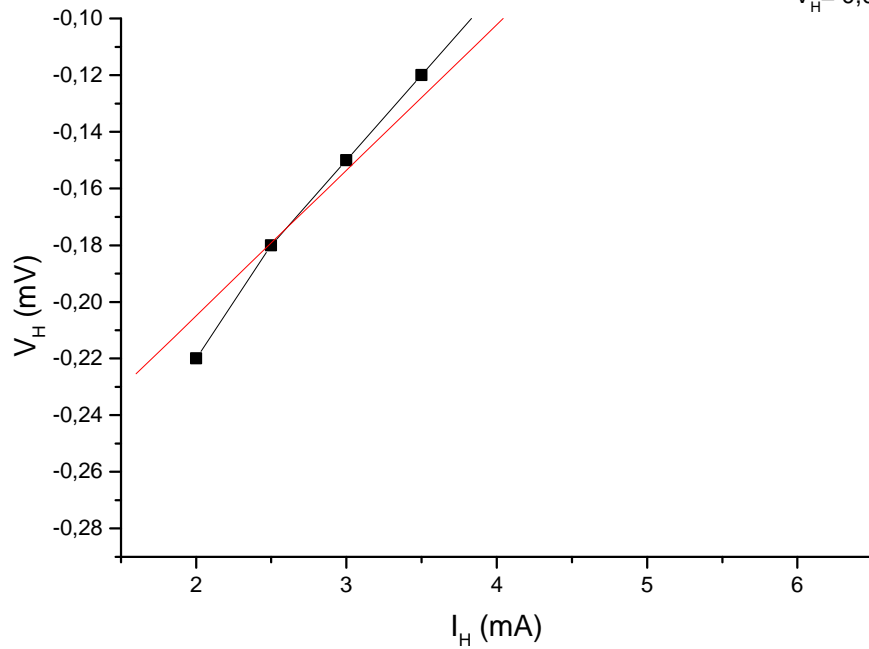


GRÁFICO - $V_H \text{ } I_H$
(Tabela - 7)

$I_E = 1,8 \text{ A}$
 $V_H = 0,051 \cdot I_H - 0,308$



Determinamos agora o valor da indução magnética pela medida do coeficiente angular de cada reta correspondente a uma determinada corrente no eletroímã. Mostramos o resultado em uma tabela onde deve constar o valor da indução magnética e a corrente no eletroímã.

$$\frac{V_H}{I_H} = \frac{R_H}{d} B \quad \text{e} \quad B = \frac{V_H}{I_H} = \frac{V_H}{0,032}$$

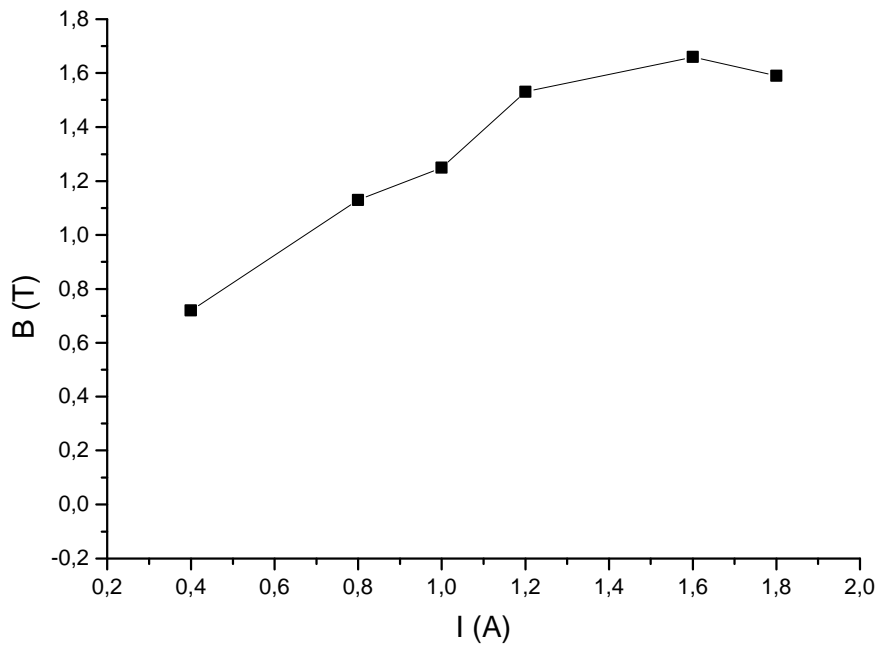
I_E (A)	V_H/I_H (V/A)	B (T)
0,40	0,023	0,72
0,80	0,036	1,13
1,00	0,040	1,25
1,20	0,049	1,53
1,60	0,053	1,66
1,80	0,051	1,59

Tabela - 8

Fizemos o gráfico da indução magnética em função da corrente no eletroímã. A curva obtida mostra o comportamento de saturação da magnetização do ferro do eletroímã.

Observe que para pequenas correntes a relação entre a indução magnética e a corrente é praticamente linear.

GRÁFICO - B x I_E
(Tabela - 8)



Compare os valores da indução magnética em função da corrente medidos no experimento "Medidas de campos magnéticos" com os valores medidos nesse experimento.

I_E (A)	V_H/I_H (V/A)	B (T)
0,40	0,023	0,72
0,80	0,036	1,13
1,00	0,040	1,25
1,20	0,049	1,53
1,60	0,053	1,66
1,80	0,051	1,59

Tabela – 8

I_{mag} (A)	$a_{o(unid)}$	B(T)
0,40	2,10	0,54
0,50	2,50	0,65
0,59	3,10	0,80
0,70	3,60	0,93
0,80	4,30	1,11
0,90	4,30	1,11
1,00	5,00	1,30
1,10	5,50	1,42
1,20	5,80	1,50
1,30	6,00	1,55
1,40	6,30	1,63
1,50	6,50	1,68

Do experimento - Medidas de campos magnético

IV – CONCLUSÃO

Neste experimento conseguimos estudar o efeito Hall determinando a constante Hall por unidade de espessura em uma célula Hall. Calibramos uma célula Hall para ser utilizada em medidas da indução magnética. Os resultados obtidos são coerentes com os do experimento anterior (Medidas de campos magnético), tivemos que fazer algumas simplificações pois o equipamento não estava funcionando corretamente). Do mais, conseguimos desenvolver e entender os princípios envolvidos no experimento.

V - BIBLIOGRAFIA

Física, D. Halliday e R. Resnick, 4^a ed. Vol. 3
 Experiments in Modern Physics, Melissinos, A. C.