UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE FÍSICA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA DO ESTADO SÓLIDO
FIS 123 - FÍSICA GERAL E EXPERIMENTAL III / LABORATÓRIO
PROF.: *Ruivaldo Regis Sobral*
Turma: Teórica/ Prática T: P:19 Data: 05/04/2002
Equipe: *Adriano L. do Valle*

# MEDIDA DA COMPONENTE HORIZONTAL DA INDUÇÃO MAGNÉTICA TERRESTRE

***(RELATÓRIO / EXPERIÊNCIA - cinco)***

# I - OBJETIVO

*“Determinar o valor da componente horizontal da indução magnética terrestre.”*

# II - PARTE TEÓRICA

Para melhor entendimento desse experimento admitimos como pré-requisito, os conceitos listados abaixo:

***INDUÇÃO MAGNÉTICA***

***INDUÇÃO MAGNÉTICA TERRESTRE*** **“**$\vec{B}_R = \vec{B} + \vec{B}_T$**”**

***EFEITOS MAGNÉTICOS DA CORRENTE ELÉTRICA (Lei d e Briot-Savart)***

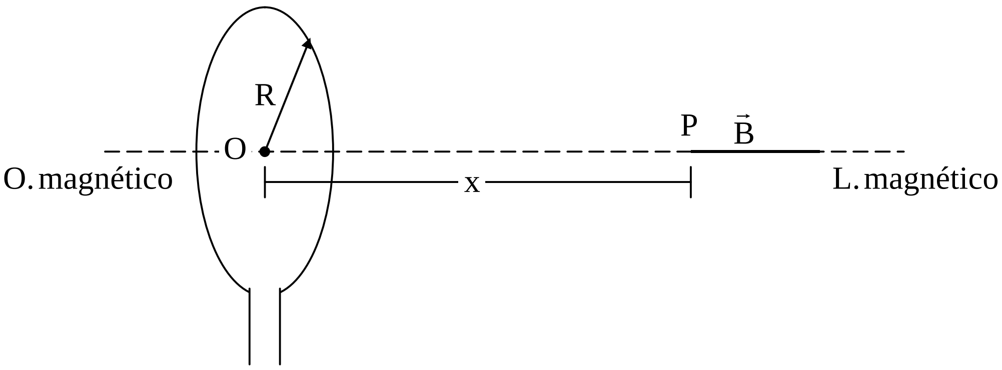
***INDUÇÃO MAGNÉTICA CRIADA POR UMA ESPIRA CIRCULAR***

***VARIAÇÃO NA POSIÇÃO DO PÓLO NORTE MAGNÉTICO DA TERRA***

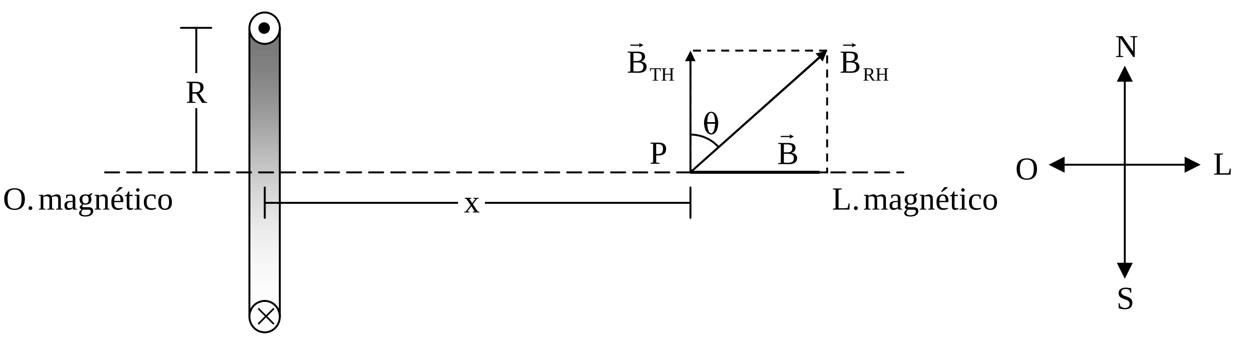
# III - TEORIA DE MEDIDA:

Considere uma bobina de uma espira, percorrida por uma corrente I, de tal modo que o seu eixo seja orientado na direção Leste – Oeste magnético. Isto é, o plano da bobina é vertical orientado na direção Norte – Sul Magnético. Num ponto **P** do eixo, a uma distância **x** do centro da bobina, a indução magnética resultante, será a soma vetorial da indução devida a bobina com a indução magnética terrestre. Neste ponto P vamos colocar uma bússola que vai se alinhar com a componente horizontal $\vec{B}_{RH}$ da indução resultante.

$\vec{B}_{RH} = \vec{B}_{TH} + \vec{B}$




Vista em perspectiva




Quando a corrente I atravessa a bobina, a bússola se alinha com a direção $\vec{B}_{RH}$ e sofre uma deflexão θ em relação a direção $\vec{B}_{TH}$ que ela apontava quando não havia corrente circulando na bobina.

***Estudo pela tgq.***

Da figura anterior, temos

$$tg\theta = \frac{B}{B_{TH}} \qquad (1)$$

Sabendo que:

$$B = \frac{\mu_o}{2} \cdot N \cdot I \cdot \frac{R^2}{\left(R^2 + x^2\right)^{3/2}} \quad (2)$$

Substituindo ( 2 ) em ( 1 ).

$$tg\theta = \frac{1}{B_{TH}} \cdot \frac{\mu_o}{2} \cdot N \cdot I \cdot \frac{R^2}{\left(R^2 + x^2\right)^{3/2}} \quad (3)$$

Num ponto P fixo, vemos que tgθ é proporcional à corrente I que circula na bobina.

$$tg\theta = K \cdot I \qquad (4)$$

e o coeficiente angular K é dado por:

$$K = \frac{1}{B_{TH}} \cdot \frac{\mu_o}{2} \cdot N \cdot \frac{R^2}{\left(R^2 + x^2\right)^{3/2}} \qquad (5)$$

***Estudo em função da distância x.***

Reescrevendo a equação ( 1 )

$$\frac{1}{B} = \frac{1}{B_{TH}} \cdot \cot g\theta \qquad (6)$$

$$\frac{2}{\mu_o} \cdot \frac{1}{N \cdot I} \cdot \frac{\left(R^2 + x^2\right)^{3/2}}{R^2} = \frac{1}{B_{TH}} \cdot \cot g\theta \qquad (7)$$

Ou ainda,

$$R^2 + x^2 = \left(\frac{\mu_o}{2} \cdot N \cdot I \cdot \frac{R^2}{B_{TH}}\right)^{2/3} \cdot \left(\cot g\theta\right)^{2/3} \qquad (8)$$

Fazendo:

$$Y = R^2 + x^2 \qquad (9)$$

$$K = \left(\frac{\mu_o}{2} \cdot N \cdot I \cdot \frac{R^2}{B_{TH}}\right)^{2/3} \qquad (10)$$

$$X = \text{cotg}\ \theta \qquad (11)$$

Chegamos a:

$$Y = K \cdot X^{2/3} \qquad \mathbf{(12)}$$

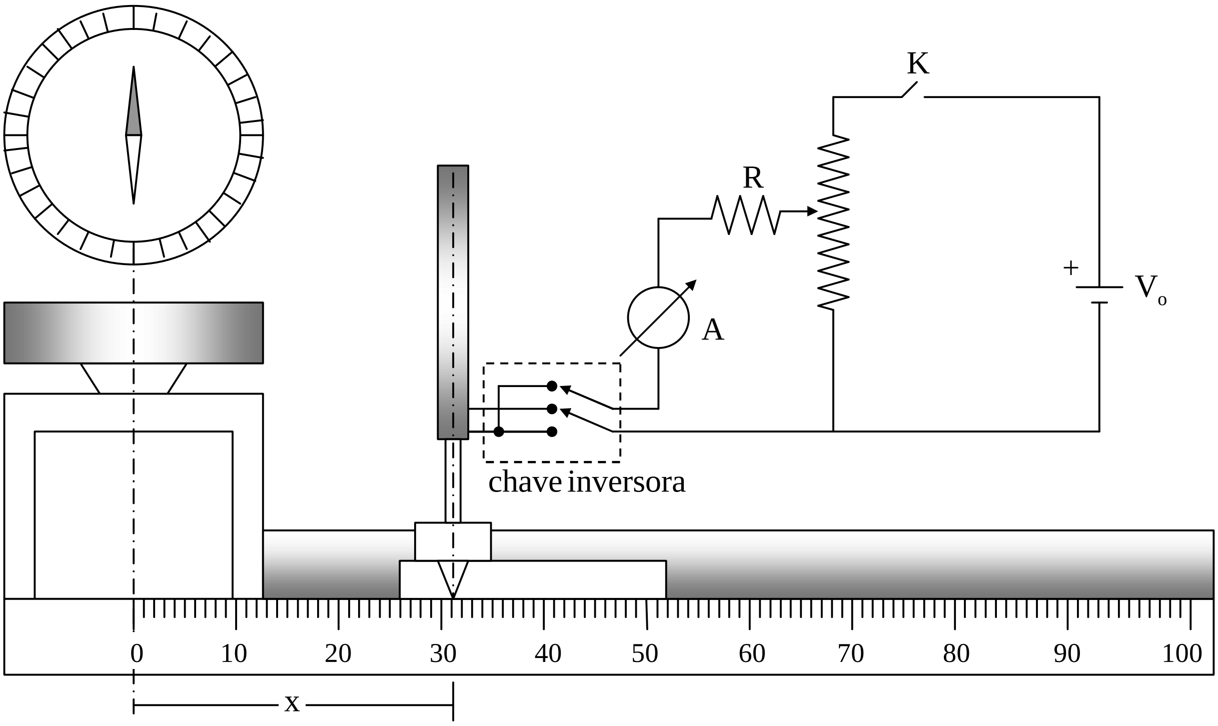
Portanto se traçarmos o gráfico de log Y em função de log X, devemos conseguir uma reta de inclinação 2/3. Se $\theta = 45^o$, cotg θ = 1 e log(cotgθ) = 0. Neste ponto particular, log Y = log K o que permite determinar, mais uma vez o valor de $B_{TH}$.

# IV - PARTE EXPERIMENTAL

**LISTA DE MATERIAL**

- Bancada de medida constituída de uma mesa para a bússola e suporte deslizante para a bobina
- Bússola, graduada em graus
- Bobina de 320 espiras, de raio médio $R = 6{,}9 \cdot 10^{-2}$ m
- Miliamperímetro
- Reostato linear de fio
- Resistência de proteção
- Fonte de alinhamento
- Chave liga desliga

**MONTAGEM EXPERIMENTAL:**
A bancada e o circuito são apresentados na figura. Uma régua, representada na figura, permite medir a distância x entre o centro da bússola e o centro da bobina.




A corrente I que atravessa a bobina é ajustada pelo reostato e medida pelo miliamperímetro. A chave inversora permite inverter o sentido com que a corrente percorre a bobina, tendo como conseqüência a inversão do sentido do campo indução magnética $\vec{B}$.

**MEDIDAS:**

***IV.1 – Medidas com a distância “x” constante.***

Para a distância ***x = 10,5 cm*** medimos para diferentes valores de **I** o valor do ângulo de deflexão q. Para cada valor de **I** invertemos o sentido da corrente na bobina, com a chave inversora, medindo também o valor de q**’** e colocamos os dados na tabela a seguir.

**x=10,5 cm = 0,105 m**

| I(mA) | $X_i$ = I(A) | q | q' | $Y_i = \mathrm{tg}\left(\frac{\theta+\theta'}{2}\right)$ | $X_i^2 = I^2$ | $X_i.Y_i = I \cdot \mathrm{tg}\bar{\theta}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 5,0 | 0,005 | 7,0 | 7,0 | 0,12278 | 0,000025 | 0,00061 |
| 7,5 | 0,008 | 11 | 11 | 0,19438 | 0,000056 | 0,00146 |
| 10,0 | 0,010 | 14 | 14 | 0,24933 | 0,000100 | 0,00249 |
| 12,5 | 0,013 | 18 | 18 | 0,32492 | 0,000156 | 0,00406 |
| 15,0 | 0,015 | 22 | 21 | 0,39391 | 0,000225 | 0,00591 |
| 17,5 | 0,018 | 25 | 25 | 0,46631 | 0,000306 | 0,00816 |
| 20,0 | 0,020 | 29 | 29 | 0,55431 | 0,000400 | 0,01109 |
| 22,5 | 0,023 | 30 | 30 | 0,57735 | 0,000506 | 0,01299 |
| 25 | 0,025 | 32 | 34 | 0,64941 | 0,000625 | 0,01624 |
| 50 | 0,050 | 53 | 53 | 1,32704 | 0,002500 | 0,06635 |
| 75 | 0,075 | 64 | 65 | 2,09654 | 0,005625 | 0,15724 |
| 100 | 0,100 | 70 | 70 | 2,74748 | 0,010000 | 0,27475 |
| 125 | 0,125 | 74 | 75 | 3,60588 | 0,015625 | 0,45074 |
| 150 | 0,150 | 77 | 77 | 4,33148 | 0,022500 | 0,64972 |
| 175 | 0,175 | 78 | 79 | 4,91516 | 0,030625 | 0,86015 |
| 200 | 0,200 | 80 | 80 | 5,67128 | 0,040000 | 1,13426 |
| 225 | 0,225 | 81 | 81 | 6,31375 | 0,050625 | 1,42059 |
| 250 | 0,250 | 82 | 82 | 7,11537 | 0,062500 | 1,77884 |
| Σ | **1,485** | | | **41,65668** | **0,242400** | **6,85565** |

***Em anexo traçamos o gráfico tg*** *q* ***´ I.***

Traçamos a reta que melhor se ajusta aos pontos e obtivemos a inclinação da reta dada por:

$$K = \frac{\Delta \mathrm{tg}\theta}{\Delta I}$$

Da expressão tgθ = K . I obtemos $K = \frac{\mathrm{tg}\theta}{I} \Rightarrow [K] = \frac{[\mathrm{tg}\theta]}{[I]} = \frac{1}{A} = 1\,A^{-1}$

**K = 28,66 A$^{-1}$**

***A partir da inclinação da reta, calculamos o valor da componente horizontal*** $\vec{B}_{TH}$

$$B_{TH} = \frac{1}{K} \cdot \frac{\mu_o}{2} \cdot N \cdot \frac{R^2}{\left(R^2 + x^2\right)^{3/2}}$$

K = 28,66 A$^{-1}$

$\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Wb/A·m

N = 320

R = 6,9 · 10$^{-2}$ m

x = 0,105 m

$$B_{TH1} = \frac{1}{28{,}66} \cdot \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2} \cdot 320 \cdot \frac{\left(6{,}9 \cdot 10^{-2}\right)^2}{\left(\left(6{,}9 \cdot 10^{-2}\right)^2 + 0{,}105^2\right)^{3/2}} = 1{,}7 \cdot 10^{-5}\,T$$

***Aplicando o método dos mínimos quadrados aos pontos encontrados temos:***

Fazendo $X_i$ = I (em A) e $Y_i$ = tgθ

$$\sum_{i=1}^{18} X_i = 1{,}485 \qquad \sum_{i=1}^{18} Y_i = 41{,}6567 \qquad \sum_{i=1}^{18} (X_i)^2 = 0{,}2424 \qquad \sum_{i=1}^{18} X_i \cdot Y_i = 6{,}85565 \qquad n = 18$$

$$a = \frac{\left[\sum x_i\right]\cdot\left[\sum y_i\right] - 18\cdot\left[\sum x_i y_i\right]}{\left[\sum x_i\right]^2 - 18\cdot\left[\sum x_i^2\right]} = 28.51 \qquad b = \frac{\left[\sum x_i y_i\right]\cdot\left[\sum x_i\right] - \left[\sum (x_i^{\,2})\right]\cdot\left[\sum y_i\right]}{\left[\sum x_i\right]^2 - 18\cdot\left[\sum x_i^2\right]} = -0{,}038$$

***Equação da melhor reta:***

tgθ = 28,51·I – 0,038 ( I em A)

O coeficiente de determinação da reta será dado por:

$$r^2 = \frac{\left(\sum X_i Y_i - \dfrac{\sum X_i \cdot \sum Y_i}{n}\right)^2}{\left(\sum X_i^2 - \dfrac{\sum X_i^2}{n}\right)\cdot\left(\sum Y_i - \dfrac{\left(\sum Y_i\right)^2}{n}\right)} = 0{,}89$$, que é um valor próximo de 1.

***Pontos de ajuste***

| **Pontos** | **I (A)** | **tg** q |
|---|---|---|
| $P_1$ | 0,010 | 0,247 |
| $P_2$ | 0,250 | 7,089 |

A partir da inclinação da reta, calculamos por este método, o valor da componente horizontal $\vec{B}_{TH}$

$$B_{TH} = \frac{1}{K}\cdot\frac{\mu_o}{2}\cdot N\cdot\frac{R^2}{\left(R^2 + x^2\right)^{3/2}}$$

K = 28,51 $A^{-1}$

$\mu_o$ = 4π·$10^{-7}$ Wb/A·m

N = 320

R = 6,9 · $10^{-2}$ m

x = 0,105 m

$$B_{TH2} = \frac{1}{28{,}51}\cdot\frac{4\pi\cdot 10^{-7}}{2}\cdot 320\cdot\frac{\left(6{,}9\cdot 10^{-2}\right)^2}{\left(\left(6{,}9\cdot 10^{-2}\right)^2 + 0{,}105^2\right)^{3/2}} = 1{,}7\cdot 10^{-5}\,T$$

***Achamos o mesmo valor para*** $\vec{B}_{TH}$ ***nos dois métodos***

***IV.2 – Medidas com a Corrente “I” constante.***

Ajustamos no reostato uma corrente **I = 50 mA**. Medimos para diferentes valores da distância **x** os ângulos de deflexão q e q**’** (invertendo-se a corrente), da bússola até o limite mínimo de $5^o$. Repetimos o procedimento para as correntes de **100 mA** e **200 mA**.

**$I_{II}$ =50 mA**

| **x(cm)** | q | q' | $tg\left(\frac{\theta+\theta'}{2}\right)$ | $R^2+x^2$ | $\cot\bar\theta$ | Y = $\log(R^2+x^2)$ | X = $\log(\cot\bar\theta)$ | $X^2$ = $[\log(\cot\bar\theta)]^2$ | X.Y |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10,5 | 53,0 | 53,0 | 1,32704 | 0,01579 | 0,75355 | -1,8017 | -0,1229 | 0,0151 | 0,2214 |
| 12,0 | 45 | 44 | 0,98270 | 0,01916 | 1,01761 | -1,7176 | 0,0076 | 0,0001 | -0,0130 |
| 14,0 | 34 | 34 | 0,67451 | 0,02436 | 1,48256 | -1,6133 | 0,1710 | 0,0292 | -0,2759 |
| 16,0 | 26 | 26 | 0,48773 | 0,03036 | 2,05030 | -1,5177 | 0,3118 | 0,0972 | -0,4732 |
| 18,0 | 20 | 20 | 0,36397 | 0,03716 | 2,74748 | -1,4299 | 0,4389 | 0,1927 | -0,6276 |
| 20,0 | 15 | 15 | 0,26795 | 0,04476 | 3,73205 | -1,3491 | 0,5719 | 0,3271 | -0,7716 |
| 22,0 | 13 | 12 | 0,22169 | 0,05316 | 4,51071 | -1,2744 | 0,6542 | 0,4280 | -0,8338 |
| 24,0 | 9 | 10 | 0,16734 | 0,06236 | 5,97576 | -1,2051 | 0,7764 | 0,6028 | -0,9356 |
| 26 | 8 | 8 | 0,14054 | 0,07236 | 7,11537 | -1,1405 | 0,8522 | 0,7262 | -0,9719 |
| 28 | 6 | 6 | 0,10510 | 0,08316 | 9,51436 | -1,0801 | 0,9784 | 0,9572 | -1,0567 |
| 30 | 5 | 5 | 0,08749 | 0,09476 | 11,43005 | -1,0234 | 1,0580 | 1,1195 | -1,0828 |
| | | | | | S | **-15,1528** | **5,6977** | **4,4952** | **-6,8208** |

Em anexo traçamos o gráfico **log($R^2$ + $x^2$)** versos **log(cotgq)**

Aplicando o método dos mínimos quadrados aos pontos encontrados temos:

Fazendo $X_i = \log(\cot g\bar\theta)$ e $Y_i = \log(R^2+x^2)$

$$\sum_{i=1}^{11} X_i = 5{,}6977 \quad \sum_{i=1}^{11} Y_i = -15{,}1528 \quad \sum_{i=1}^{11} X_i{}^2 = 4{,}4952 \quad \sum_{i=1}^{11} X_i \cdot Y_i = -6{,}8209 \quad n = 11$$

$$a = \frac{\left[\sum x_i\right]\cdot\left[\sum y_i\right] - 11\cdot\left[\sum x_i y_i\right]}{\left[\sum x_i\right]^2 - 11\cdot\left[\sum x_i^2\right]} = 0{,}666 \qquad b = \frac{\left[\sum x_i y_i\right]\cdot\left[\sum x_i\right] - \left[\sum (x_i{}^2)\right]\cdot\left[\sum y_i\right]}{\left[\sum x_i\right]^2 - 11\cdot\left[\sum x_i^2\right]} = -1{,}722$$

***Equação da melhor reta:***

$$\log(R^2+x^2) = \mathbf{0{,}666} \times \log(\cot g\bar\theta) - \mathbf{1{,}722}$$

O coeficiente de determinação da reta será dado por:

$$r^2 = \frac{\left(\sum X_i Y_i - \frac{\sum X_i \cdot \sum Y_i}{n}\right)^2}{\left(\sum X_i^2 - \frac{\sum X_i^2}{n}\right)\cdot\left(\sum Y_i - \frac{\left(\sum Y_i\right)^2}{n}\right)} =$$

,que é um valor próximo de 1.

***Pontos de ajuste***

| **Pontos** | **log(cotgq)** | **Log($R^2$ + $x^2$)** |
|---|---|---|
| $P_1$ | 0,0076 | –1,7169 |
| $P_2$ | 1,0580 | – 1,0174 |

**$I_{II}$ = 100 mA**

| x(cm) | q | q' | $tg\left(\frac{\theta+\theta'}{2}\right)$ | $R^2+x^2$ | $\cot\bar{\theta}$ | Y = $\log(R^2+x^2)$ | X = $\log(\cot\bar{\theta})$ | $X^2$ = | X.Y= |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10,5 | 70 | 69 | 2,67462 | 0,01579 | 0,37388 | -1,8017 | -0,4273 | 0,18255 | 0,7698 |
| 12,0 | 63 | 65 | 2,05030 | 0,01916 | 0,48773 | -1,7176 | -0,3118 | 0,09723 | 0,5356 |
| 14,0 | 54 | 55 | 1,40195 | 0,02436 | 0,71329 | -1,6133 | -0,1467 | 0,02153 | 0,2367 |
| 16,0 | 45 | 45 | 1,00000 | 0,03036 | 1,00000 | -1,5177 | 0,0000 | 0,00000 | 0,0000 |
| 18,0 | 35 | 36 | 0,71329 | 0,03716 | 1,40195 | -1,4299 | 0,1467 | 0,02153 | -0,2098 |
| 20,0 | 29 | 29 | 0,55431 | 0,04476 | 1,80405 | -1,3491 | 0,2562 | 0,06566 | -0,3457 |
| 22,0 | 23 | 23 | 0,42447 | 0,05316 | 2,35585 | -1,2744 | 0,3721 | 0,13849 | -0,4743 |
| 24,0 | 19 | 19 | 0,34433 | 0,06236 | 2,90421 | -1,2051 | 0,4630 | 0,21440 | -0,5580 |
| 26 | 15 | 15 | 0,26795 | 0,07236 | 3,73205 | -1,1405 | 0,5719 | 0,32712 | -0,6523 |
| 28 | 12 | 12 | 0,21256 | 0,08316 | 4,70463 | -1,0801 | 0,6725 | 0,45229 | -0,7264 |
| 30 | 10 | 10 | 0,17633 | 0,09476 | 5,67128 | -1,0234 | 0,7537 | 0,56804 | -0,7713 |
| 32 | 8 | 9 | 0,14945 | 0,10716 | 6,69116 | -0,9700 | 0,8255 | 0,68145 | -0,8007 |
| 34 | 7 | 7 | 0,12278 | 0,12036 | 8,14435 | -0,9195 | 0,9109 | 0,82966 | -0,8375 |
| 36 | 6 | 6 | 0,10510 | 0,13436 | 9,51436 | -0,8717 | 0,9784 | 0,95723 | -0,8529 |
| 38 | 5 | 5 | 0,08749 | 0,14916 | 11,43005 | -0,8263 | 1,0580 | 1,11947 | -0,8743 |
| | | | | | S | **-18,7403** | **6,1233** | **5,67665** | **-5,5611** |

Em anexo traçamos o gráfico **log(R$^2$ + x$^2$)** versos **log(cotg**q**)**

Aplicando o método dos mínimos quadrados aos pontos encontrados temos:

Fazendo $X_i = \log(\cot g\bar{\theta})$ e $Y_i = \log(R^2 + x^2)$

$$\sum_{i=1}^{15} X_i = 6{,}1233 \quad \sum_{i=1}^{15} Y_i = -18{,}7404 \quad \sum_{i=1}^{15} X_i^{\ 2} = 5{,}67665 \quad \sum_{i=1}^{15} X_i \cdot Y_i = -5{,}5611 \quad n = 15$$

$$a = \frac{\left[\sum x_i\right]\cdot\left[\sum y_i\right] - 15\cdot\left[\sum x_i y_i\right]}{\left[\sum x_i\right]^2 - 15\cdot\left[\sum x_i^2\right]} = 0{,}658 \qquad b = \frac{\left[\sum x_i y_i\right]\cdot\left[\sum x_i\right] - \left[\sum (x_i^{\ 2})\right]\cdot\left[\sum y_i\right]}{\left[\sum x_i\right]^2 - 15\cdot\left[\sum x_i^2\right]} = -1{,}518$$

***Equação da melhor reta:***

$\log(R^2 + x^2)$ **= 0,658**x $\log(\cot g\bar{\theta})$ - **1,518**

O coeficiente de determinação da reta será dado por:

$$r^2 = \frac{\left(\sum X_i Y_i - \frac{\sum X_i \cdot \sum Y_i}{n}\right)^2}{\left(\sum X_i^2 - \frac{\sum X_i^2}{n}\right)\cdot\left(\sum Y_i - \frac{\left(\sum Y_i\right)^2}{n}\right)} =$$

,que é um valor próximo de 1.

***Pontos de ajuste***

| Pontos | log(cotgq) | Log(R$^2$ + x$^2$) |
|---|---|---|
| $P_1$ | – 0,4273 | –1,7992 |
| $P_2$ | 1,0580 | – 0,8218 |

**$I_{II}$ = 200 mA**

| x(cm) | q | q' | $tg\left(\frac{\theta+\theta'}{2}\right)$ | $R^2+x^2$ | $\cot\bar{\theta}$ | Y= $\log(R^2+x^2)$ | X = $\log(\cot\bar{\theta})$ | $X^2$ = | X . Y = |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10,5 | 80 | 80 | 5,67128 | 0,01579 | 0,17633 | -1,8018 | -0,7537 | 0,5680 | 1,3579 |
| 12,0 | 77 | 77 | 4,33148 | 0,01916 | 0,23087 | -1,7176 | -0,6366 | 0,4053 | 1,0935 |
| 15,0 | 68 | 69 | 2,53865 | 0,02726 | 0,39391 | -1,5645 | -0,4046 | 0,1637 | 0,6330 |
| 18,0 | 58 | 58 | 1,60033 | 0,03716 | 0,62487 | -1,4299 | -0,2042 | 0,0417 | 0,2920 |
| 21,0 | 46 | 47 | 1,05378 | 0,04886 | 0,94896 | -1,3110 | -0,0228 | 0,0005 | 0,0298 |
| 24,0 | 35 | 35 | 0,70021 | 0,06236 | 1,42815 | -1,2051 | 0,1548 | 0,0240 | -0,1865 |
| 27,0 | 27 | 26 | 0,49858 | 0,07766 | 2,00569 | -1,1098 | 0,3023 | 0,0914 | -0,3355 |
| 30,0 | 20 | 20 | 0,36397 | 0,09476 | 2,74748 | -1,0234 | 0,4389 | 0,1927 | -0,4492 |
| 33 | 16 | 16 | 0,28675 | 0,11366 | 3,48741 | -0,9444 | 0,5425 | 0,2943 | -0,5123 |
| 36 | 12 | 13 | 0,22169 | 0,13436 | 4,51071 | -0,8717 | 0,6542 | 0,4280 | -0,5703 |
| 39 | 10 | 10 | 0,17633 | 0,15686 | 5,67128 | -0,8045 | 0,7537 | 0,5680 | -0,6063 |
| 42 | 8 | 9 | 0,14945 | 0,18116 | 6,69116 | -0,7419 | 0,8255 | 0,6815 | -0,6125 |
| 45 | 6 | 7 | 0,11394 | 0,20726 | 8,77689 | -0,6835 | 0,9433 | 0,8899 | -0,6448 |
| 48 | 5 | 6 | 0,09629 | 0,23516 | 10,38540 | -0,6286 | 1,0164 | 1,0331 | -0,6390 |
| | | | | | S | **-15,8377** | **3,6098** | **5,3821** | **-1,1501** |

Em anexo traçamos o gráfico **log(R$^2$ + x$^2$)** versos **log(cotg**q**)**

Aplicando o método dos mínimos quadrados aos pontos encontrados temos:

Fazendo $X_i = \log(\cot g\bar{\theta})$ e $Y_i = \log(R^2 + x^2)$

$$\sum_{i=1}^{14} X_i = 3{,}6098 \quad \sum_{i=1}^{14} Y_i = -15{,}8377 \quad \sum_{i=1}^{14} X_i^{\,2} = 5{,}3821 \quad \sum_{i=1}^{14} X_i \cdot Y_i = -1{,}1501 \quad n = 14$$

$$a = \frac{\left[\sum x_i\right]\cdot\left[\sum y_i\right] - 14\cdot\left[\sum x_i y_i\right]}{\left[\sum x_i\right]^2 - 14\cdot\left[\sum x_i^2\right]} = 0{,}659 \qquad b = \frac{\left[\sum x_i y_i\right]\cdot\left[\sum x_i\right] - \left[\sum (x_i^{\,2})\right]\cdot\left[\sum y_i\right]}{\left[\sum x_i\right]^2 - 14\cdot\left[\sum x_i^2\right]} = -1{,}301$$

***Equação da melhor reta:***

$\log(R^2 + x^2)$ **= 0,659**x $\log(\cot g\bar{\theta})$ - **1,301**

O coeficiente de determinação da reta será dado por:

$$r^2 = \frac{\left(\sum X_i Y_i - \frac{\sum X_i \cdot \sum Y_i}{n}\right)^2}{\left(\sum X_i^2 - \frac{\sum X_i^2}{n}\right)\cdot\left(\sum Y_i - \frac{\left(\sum Y_i\right)^2}{n}\right)} =$$

,que é um valor próximo de 1.

***Pontos de ajuste***

| Pontos | log(cotgq) | Log(R$^2$ + x$^2$) |
|---|---|---|
| $P_1$ | – 0,7537 | –1,7977 |
| $P_2$ | 1,0164 | – 0,6312 |

***IV.3 – Observação do ângulo de deflexão com a variação angular da bobina.***

Para:

$$\left.\begin{array}{l}\textbf{x}\text{ menor possível: 10,5 cm}\\ \textbf{I}\text{ maior possível: 250 mA}\end{array}\right\}\ \theta = 82^{o}$$

1) O que ocorre quando a bobina é girada de um pequeno ângulo ( $30^{o}$) no sentido horário?

   Notamos que no sentido horário o ângulo θ diminui de $82^{o}$ para $78^{o}$.

2) O que ocorre quando a bobina é girada de um pequeno ângulo ( $30^{o}$) no sentido anti-horário?

   Notamos que no sentido anti-horário o ângulo θ diminui de $82^{o}$ para $86^{o}$.

***CONCLUSÃO:***

Para o método ***IV-1***

Encontramos o valor de $1,7 \cdot 10^{-5}$ T para a indução magnética da terra, tanto pelo método gráfico, quanto pelo o método dos mínimos quadrados.

Para o método ***IV-2***

Comparando os coeficientes das três retas obtidas com o valor teórico $\left(2/3 = 0,666...\right)$

Para **I = 50 mA** obtivemos **a = 0,666**

Para **I = 100 mA** obtivemos **a = 0,658**

Para **I = 200 mA** obtivemos **a = 0,659**

Observamos que o coeficiente angular é melhor determinado para **I = 50 mA.**

A partir dos coeficientes angulares das três retas, vamos determinar o valor de K e calcular a partir deles o valor correspondente de K.

$$R^2 + x^2 = \left(\frac{\mu_o}{2} \cdot N \cdot I \cdot \frac{R^2}{B_{TH}}\right)^{2/3} \cdot (\cot g\theta)^{2/3}$$

Fazendo: $X = \cot g\ \theta$

$Y = R^2 + x^2$

$$K = \left(\frac{\mu_o}{2} \cdot N \cdot I \cdot \frac{R^2}{B_{TH}}\right)^{2/3} \quad \Rightarrow \quad B_{TH} = \frac{\mu_o}{2} \cdot N \cdot I \cdot \frac{R^2}{K^{3/2}}$$

$$Y = K \cdot X^{2/3}$$

$$\log Y = \log(K \cdot X^{2/3})$$

$$\log Y = \log K + \log X^{2/3}$$

$$\log Y = \log K + \frac{2}{3}\log X$$

- ✓ Para I = 50 mA ⇒ log $K_1$ = – 1,722 ⇒ $K_1$ = 0,01895

$$B_{TH1} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2} \cdot 320 \cdot 0{,}05 \cdot \frac{\left(6{,}9 \cdot 10^{-2}\right)^2}{0{,}01895^{3/2}} = 1{,}8 \cdot 10^{-5}\,T$$

- ✓ Para I = 100 mA ⇒ log $K_2$ = – 1,518 ⇒ $K_2$ = 0,03034

$$B_{TH2} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2} \cdot 320 \cdot 0{,}1 \cdot \frac{\left(6{,}9 \cdot 10^{-2}\right)^2}{0{,}03034^{3/2}} = 1{,}8 \cdot 10^{-5}\,T$$

- ✓ Para I = 200 mA ⇒ log $K_3$ = – 1,301 ⇒ $K_3$ = 0,05000

$$B_{TH} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2} \cdot 320 \cdot 0{,}2 \cdot \frac{\left(6{,}9 \cdot 10^{-2}\right)^2}{0{,}05^{3/2}} = 1{,}7 \cdot 10^{-5}\,T$$

O valor médio de $B_{TH}$ será $\overline{B}_{TH} = \frac{1{,}8 \cdot 10^{-5} + 1{,}8 \cdot 10^{-5} + 1{,}8 \cdot 10^{-5}}{3} = 1{,}8 \cdot 10^{-5}\,T$ comparando com o $B_{TH}$ determinado pelo método IV-1, $B_{TH}$ = 1,7 · $10^{-5}$ T, podemos dizer que os resultados são inteiramente compatíveis.

Comparando o nosso $B_{TH}$ determinado em laboratório com o valor conhecido para a cidade de Salvador ($B_{TH}$ = 2,0 · $10^{-5}$ T) concluímos que o nosso resultado tem uma boa precisão.
O seu desvio relativo será dado por:

$$\Delta B_{TH} = \frac{B_{THS} - B_{TH}}{B_{THS}} = 10\%$$

A partir da equação $B = \frac{\mu_o}{2} \cdot I \cdot \frac{R^2}{\left(R^2 + x^2\right)^{3/2}}$, vamos construir o gráfico $B \times x$

Dados: $\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Wb/A·m

I = 200 mA

R = 6,9 · $10^{-2}$ m

| **x(cm)** | $R^2 + x^2$ | B ($10^{-8}$T) |
|---|---|---|
| 10,5 | 0,01579 | 30,16 |
| 12,0 | 0,01916 | 22,56 |
| 15,0 | 0,02726 | 13,29 |
| 18,0 | 0,03716 | 8,35 |
| 21,0 | 0,04886 | 5,54 |
| 24,0 | 0,06236 | 3,84 |
| 27,0 | 0,07766 | 2,76 |
| 30,0 | 0,09476 | 2,05 |
| 33,0 | 0,11366 | 1,58 |
| 36,0 | 0,13436 | 1,22 |
| 39,0 | 0,15686 | 0,96 |
| 42,0 | 0,18116 | 0,78 |
| 45,0 | 0,20726 | 0,63 |
| 48,0 | 0,23516 | 0,52 |

B é inversamente proporcional a $\sqrt{(R^2+x^2)^3}$ e depende diretamente da intensidade da corrente I, tendo decaimento exponencial de B em relação a x, como mostra o gráfico.

Da relação $B = \frac{\mu_o}{2} \cdot I \cdot \frac{R^2}{(R^2+x^2)^{3/2}}$ , também podemos concluir que B é inversamente proporcional a R

Observando do ângulo de deflexão com a variação angular da bobina

Para **x** menor possível (10,5 cm) e **I** maior possível (250 mA) obtemos θ = 82°.

Ao girar a bobina de um pequeno ângulo ( 30°) no sentido horário, notamos que no sentido horário o ângulo θ diminui de 82° para 78°.

Ao girar a bobina de um pequeno ângulo ( 30°) no sentido anti-horário, notamos que no sentido anti-horário o ângulo θ diminui de 82° para 86°.
O valor do ângulo encontrado, ao invertermos a corrente I, é de – θ, porque ao invertermos a corrente I invertemos também o sentido do vetor indução B devido à corrente.
θ' poderia ser diferente de –θ, se tivéssemos uma outra indução externa, próxima à bússola devido a algum aparelho elétrico ou algum metal.
Comparando os desvios relativos para os valores encontrados para $B_{TH}$

$$\Delta B_{TH} = \frac{B_{THS} - B_{TH}}{B_{THS}}$$

Método IV-1: $\Delta B_{TH} = \frac{1{,}7 \cdot 10^{-5} - 2{,}0 \cdot 10^{-5}}{2{,}0 \cdot 10^{-5}} = -15\%$

Método IV-2: $\Delta B_{TH} = \frac{1{,}8 \cdot 10^{-5} - 2{,}0 \cdot 10^{-5}}{2{,}0 \cdot 10^{-5}} = -10\%$

Concluímos que o segundo método é mais preciso.