



**Rafael Mendes Barbosa dos Santos**

**Estudo do efeito de magnetoresistência  
em semicondutores orgânicos utilizando a técnica de  
modulação do campo magnético**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Física da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Física.

Orientador: Prof. Marco Cremona

Rio de Janeiro  
Setembro de 2011



**Rafael Mendes Barbosa dos Santos**

**Estudo do efeito de magnetoresistência  
em semicondutores orgânicos utilizando a técnica de  
modulação do campo magnético**

Dissertação apresentada como requisito parcial  
para obtenção do título de Mestre pelo Programa  
de Pós-Graduação em Física da PUC-Rio.  
Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo  
assinada.

**Prof. Marco Cremona**

Orientador

Departamento de Física – PUC-Rio

**Prof. Antonio Carlos Oliveira Bruno**

Departamento de Física – PUC-RIO

**Prof. Ruben Luis Sommer**

CBPF

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico – PUC-Rio

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **Rafael Mendes Barbosa dos Santos**

Graduou-se em Física pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio em 2008. Atualmente é aluno de doutorado na PUC-Rio.

#### Ficha Catalográfica

Santos, Rafael Mendes Barbosa dos

Estudo do efeito de magnetoresistência em semicondutores orgânicos utilizando a técnica de modulação do campo magnético / Rafael Mendes Barbosa dos Santos; orientador: Marco Cremona. – Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Física, 2011.

129 f. : il.(color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Física, 2011.

Inclui bibliografia.

1. Física – Teses. 2. Nanotecnologia. 3. Compostos orgânicos. 4. Filmes finos. 5. OLED. 6. Magnetoresistência. 7. Sensor. I. Santos, Rafael Mendes Barbosa dos. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Física. III. Título.

CDD:530

Ao SENHOR, pois:

"As suas misericórdias são a causa de não sermos consumidos, porque as suas misericórdias não têm fim;"

Lamentações 3:22

## Agradecimentos

Agradeço ao Senhor, meu Deus, em primeiro lugar pela vida que me deu e pelas suas bênçãos sem fim. Agradeço a minha esposa Leila, minha outra metade, que sempre esteve do meu lado com todo auxílio e carinho mais que necessário. Aos meus pais, meu irmão e a Telma, por ser para mim uma família. Agradeço também aos professores Dr. Marco Cremona e Dr. Antonio Carlos de Oliveira Bruno pela enorme paciência e excelente orientação e aprendizagem que me proporcionaram.

Fica aqui registrado o meu “muito obrigado” a todos os meus amigos e companheiros de trabalho por todas as conversas elucidativas, conselhos e apoio ao meu trabalho de mestrado desenvolvido. Em especial para os incríveis amigos: Hélio Ricardo, Sully, Alex e Carla, Sergio do vdg, professor Guedes, André Tavares, Paula Galvão, Rafael Coutinho, Eric Cardona, Kelly Carvalho, Vanessa Luz, Mary, Juan Serna, Gustavo Lanza, Harold Camargo, Alexandre Camara, Rogerio Valaski, Welber Gianini, Cristiano Legnani, Jeferson, a todos os professores e funcionários do departamento de física que ao longo destes dois anos de mestrado juntos completaram a minha formação.

Não seria nenhuma novidade eu me esquecer de alguns nomes nesta lista de agradecimentos, por isso peço desculpas aos amigos que estão no meu coração, mas esqueci de por neste papel e mais uma vez posso dizer: Muito obrigado a todos! Por fim, agradeço ao CNPq e a PUC-Rio pelo suporte físico e financeiro dados durante o meu mestrado.

## Resumo

Santos, Rafael Mendes Barbosa dos; Cremona, Marco. **Estudo do efeito de magnetoresistência em semicondutores orgânicos utilizando a técnica de modulação do campo magnético**. Rio de Janeiro, 2011. 129p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Física, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Neste trabalho foi implementado um sistema capaz de realizar medições do efeito de magnetoresistência em dispositivos baseados em semicondutores orgânicos. Este efeito foi recentemente descoberto em dispositivos construídos utilizando filmes finos de materiais orgânicos não magnéticos de baixo peso molecular e poliméricos. O sistema implementado é capaz de medir pequenas variações na corrente do dispositivo (da ordem de nanoampère), à temperatura ambiente, utilizando a técnica de modulação do campo magnético. Nesta técnica dois campos magnéticos, um contínuo e um alternado, são aplicados na região onde se encontra o dispositivo. A variação da corrente sofrida pelo dispositivo devida à aplicação do campo contínuo é medida utilizando um amplificador Lock-in que está em fase com a frequência de oscilação do campo magnético alternado. Após a implementação do sistema, no trabalho foi investigada a influência de alguns parâmetros do mesmo sobre a medição da magnetoresistência nos dispositivos orgânicos produzidos. Foi realizado também um estudo preliminar da magnetoresistência em função de diferentes compostos orgânicos. Este estudo foi dividido em duas etapas: na primeira, o composto  $Alq_3$  foi utilizado como camada transportadora de elétrons e camada emissora e foram utilizados diferentes materiais orgânicos como camada transportadora de buracos. Na segunda etapa o polímero PEDOT foi utilizado como camada transportadora de buracos e foram utilizados dois complexos orgânicos de terras-raras como camadas emissoras e transportadoras de elétrons. Por fim, o sistema permitiu realizar um estudo preliminar do efeito da degradação sobre o valor da magnetoresistência nos dispositivos orgânicos.

### Palavras-chave

Eletrônica Orgânica; OLED; Magnetoresistência; Semicondutor Orgânico; Técnica de Modulação do Campo Magnético.

## Abstract

Santos, Rafael Mendes Barbosa dos; Cremona, Marco (Advisor) **Investigation on the magnetoresistance effect in organic semiconductors using the magnetic field modulation technique.** Rio de Janeiro, 2011. 129p. MSc. Dissertation - Departamento de Física, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

In this work a system capable to measure the magnetoresistance (MR) effect on organic based devices was mounted and characterized. The MR effect was recently discovered on devices performed by using thin films of non-magnetic organic materials (a number of polymers and small molecules). The mounted system is able to measure small variations in the device current (up to nano-ampere), at room temperature, using the magnetic field modulation technique (MFMT). In the MFMT two different magnetic fields, one DC and another AC, are applied on the region where the device is placed. The current variation of the device, due to the DC magnetic field applied, is detected by a Lock-in amplifier in phase with the AC magnetic field. In addition to the installation of the system, this work allows to study the behaviour of MR effect from the performed devices, as a function of some parameters of the system. Moreover, a preliminary investigation of the MR effect as a function of different organic compounds was also carried out. This study was divided in two parts: in the first, the organic material Alq<sub>3</sub> was used as electron transporting and emission layer and four different organic materials were used as hole transporting layer in the devices. In the second part, the PEDOT polymer was used as hole transporting layer whereas two different rare-earth compounds were used as electron transporting and emission layer to produce the devices. Finally, an investigation of the MR dependence as a function of the degradation of the produced devices was achieved.

## Keywords

Organic Electronics; OLED; Magnetoresistance; Organic Semiconductor; Magnetic Field modulation technique.

## Sumário

1	Introdução	21
1.1.	Os semicondutores orgânicos e a eletrônica orgânica	21
1.2.	Dispositivos orgânicos emissores de luz – OLEDs	25
1.3.	A Magnetoresistência	28
1.4.	Motivação	32
2	Magnetoresistência em semicondutores orgânicos	33
2.1.	Introdução	33
2.2.	Histórico	34
2.3.	O funcionamento de um dispositivo OLED.	34
2.3.1.	Injeção e transporte de cargas	34
2.3.2.	Recombinação, transferência de energia e emissão de luz	39
2.4.	O efeito de magnetoresistência nos SO	44
3	Experimental	48
3.1.	Preparação das amostras	48
3.1.1.	Litografia do ITO	48
3.1.2.	Limpeza dos substratos	49
3.1.3.	Materiais	50
3.1.4.	Deposição de filmes finos	52
3.1.5.	Calibração dos sistemas de deposição	55
3.1.6.	Encapsulamento	57
3.2.	Técnicas de caracterização dos filmes finos orgânicos	58
3.2.1.	Medidas de espessura e morfologia	58
3.2.2.	Absorção óptica e luminescência	58
3.3.	Montagem do sistema de medição do efeito MR nos SO	60
3.3.1.	Técnica de modulação do campo magnético	61
3.3.2.	Porta-amostras	62
3.3.3.	Campo magnético contínuo	65



3.3.4. O amplificador <i>Lock-in</i>	68
3.3.5. Medição do efeito de MR nos dispositivos orgânicos	69
4 Resultados	73
4.1. Teste do sistema de medição do efeito de MR à temperatura e pressão ambientes	74
4.1.1. Investigação da relação sinal-ruído no sistema de medição do efeito de MR nos dispositivos orgânicos	77
4.1.2. Estudo da reprodutibilidade do efeito de MR nos dispositivos utilizados	81
4.2. Investigação da influência da amplitude do campo magnético alternado sobre o efeito de MR nos dispositivos orgânicos	83
4.3. Influência do ângulo $\theta$ sobre o efeito de magnetoresistência nos dispositivos orgânicos	85
4.4. Investigação da influência da frequência de oscilação do campo magnético alternado sobre o efeito de MR nos dispositivos orgânicos	89
4.5. Investigação do efeito de MR em função de diferentes camadas orgânicas	91
4.5.1. Influência da camada transportadora de buracos	91
4.5.2. Influência da camada emissora / camada transportadora de elétrons	98
4.5.3. Sensibilidade dos dispositivos orgânicos produzidos	103
4.6. Influência da degradação dos dispositivos orgânicos por exposição atmosférica sobre o efeito de MR	105
4.6.1. Eficiência do encapsulamento	105
4.6.2. Influência da exposição atmosférica sobre a MR dos dispositivos orgânicos	109
5 Conclusões	110
5.1. Trabalhos futuros	114
6 Referências Bibliográficas	115

## Lista de figuras

- Figura 1.1 - Estrutura química de algumas moléculas orgânicas semicondutoras [5]. 22
- Figura 1.2 - Exemplificação da diferença morfológicas entre os SI e os SO. (a) imagem gerada por um STM (microscópio de varredura por tunelamento) da superfície de silício (111) - LNM, Madri. (b) imagem gerada por um AFM (microscópio de força atômica) da superfície do filme fino polimérico SP(PCO20) [6]. (c) imagem gerada por um STM da superfície do filme fino polimérico PEDOT[7]. 22
- Figura 1.3 - Esquerda: Gráfico da mobilidade dos elétrons e dos buracos, em função da temperatura, para naftaleno ultra puro, [5]. Direita: Gráfico da mobilidade dos elétrons em função do campo elétrico aplicado, para uma molécula conhecida como Alq<sub>3</sub> [10]. 23
- Figura 1.4 - Estrutura típica de um OLED multicamada. 25
- Figura 1.5 - Diagrama de energia simplificado de um OLED em funcionamento.  $\Phi$  é a função trabalho de eletrodo. Quando um buraco e um elétron se encontram na CE um éxciton é formado, transferindo energia para estados excitados de energia da molécula orgânica que, por sua vez emite luz. [16]. 26
- Figura 1.6 - Representação esquemática do efeito de magnetoresistência gigante. 30
- Figura 1.7 - Representação esquemática do transporte de elétrons em um dispositivo multicamadas para configuração de magnetização (a) paralela e (b) antiparalela, das sucessivas camadas de materiais ferromagnéticos. 31

- Figura 2.1 - (a) Injeção termiônica via impurezas ou defeitos estruturais no SO. (b) Injeção por emissão de campo numa barreira potencial fina do tipo triangular. 35
- Figura 2.2 - Curva de dependência da densidade de corrente em função da tensão aplicada para dois tipos de dispositivos: sextiofeno (6T) sobre ITO (eletrodo transparente: óxido de índio dopado com estanho) e 6T sobre tertiofeno (3T) previamente crescido sobre ITO. Modificado de [42]. 38
- Figura 2.3 - Diagrama rígido de energia de um OLED. 39
- Figura 2.4 - Ilustração da transferência de energia via Dexter. (a) condição de superposição dos níveis de energia do doador e do receptor. (b) esquema de cargas para a transferência de elétrons. (c) esquema de spins para a transferência dos elétrons. 40
- Figura 2.5 - Ilustração da transferência de energia via Förster. (a) esquema de cargas para a transferência de elétrons. (b) esquema de spins para a transferência dos elétrons. 41
- Figura 2.6 - Esquema da transferência de energia para um dispositivo orgânico baseado em composto fosforescente que permite o aproveitamento de 100% dos ES e ET no processo de emissão. 42
- Figura 2.7 - (a) Esquema de um complexo orgânico de íon terra-rara (CTR). (b) Ilustração do efeito antena: a molécula ligante absorve a energia de excitação do éxciton e transfere de forma eficiente para o íon TR que por sua vez emite luz. 43
- Figura 2.8 - Diagrama de energia para o complexo de  $\text{Eu}^{3+}$  mostrando os principais canais de transferência de

energia intramolecular. Modificado de [45].	43
Figura 2.9 - Esquema do processo de eletroluminescência para dispositivos OLEDs baseados em moléculas pequenas. Modificado de [21].	44
Figura 2.10 - Esquema do processo de interação do campo magnético contínuo $B$ aplicado com o spin do portador de carga ( $S(t)$ ) e com o campo hiperfino molecular de cada sítio ( $B_{hf, i}$ ).	47
Figura 3.1 - Esquema dos procedimentos de litografia e limpeza realizados no processo de preparação das amostras.	50
Figura 3.2 - Desenho, fora de escala, do circuito de ITO utilizado na produção dos dispositivos orgânicos.	50
Figura 3.3 - Sistema de deposição para filmes orgânicos. Esquerda: esquema do sistema; Direita: foto da câmara de deposição, em detalhe o porta-máscara e o porta-substrato utilizados na produção dos dispositivos com diferentes arquiteturas.	53
Figura 3.4 - Esquema de deposição por “spin-coating”.	54
Figura 3.5 - Montagem experimental de um aparato de medição da velocidade do equipamento <i>spin-coating</i> .	56
Figura 3.6 - Curva de calibração do equipamento <i>spin-coating</i> .	56
Figura 3.7 - Ilustração do dispositivo encapsulado. O dispositivo é isolado através da selagem da borda da tampa de vidro com o substrato de ITO. (a) vista superior; (b) vista lateral; (c) foto.	57
Figura 3.8 - Espectro de absorção de um filme fino de $Alq_3$ na vizinhança do comprimento de onda onde ocorre a absorção fundamental.	59
Figura 3.9 - Esquema do sistema de medição do efeito magnetoresistência em SO.	60
Figura 3.10 – Diagrama de blocos do aparato experimental utilizado na TMCM [62].	61

- Figura 3.11 - (a) porta-amostra 1 (carretel). (b) Bobina 1 utilizada para a maioria das medições do efeito de MR nos dispositivos orgânicos. 62
- Figura 3.12 - (a) porta-amostra 2. (b) bobina 2 utilizada no estudo da influência da variação do ângulo  $\theta$  no efeito de MR. 62
- Figura 3.13 - (a) Esquema da geração de campo magnético alternado. (b) Circuito equivalente de CA utilizado para descrever o sistema de geração do campo alternado.  $V$  é a tensão de saída do gerador,  $i_L$  é a corrente no indutor,  $\omega$  é a frequência de oscilação,  $L$  é a indutância,  $R$  é a resistência do sistema. 63
- Figura 3.14 - Eletroímã e sua fonte de corrente utilizados. 66
- Figura 3.15 - Esquema da região espacial onde foi realizada a calibração do campo magnético gerado pelo eletroímã utilizado. 67
- Figura 3.16 - Curva de calibração do campo magnético contínuo para os pontos A, B e C. 67
- Figura 3.17 - Configuração simplificada para medição de uma amostra utilizando o amplificador *Lock-in*. Modificado de [65]. 68
- Figura 3.18 - Foto do amplificador *Lock-in* utilizado. 69
- Figura 3.19 - Sistema de medição do efeito de magnetoresistência nos dispositivos orgânicos: 1 - Eletroímã; 2 - Fonte de corrente; 3 - Amplificador e bobina de campo magnético alternado; 4 - Amplificador *Lock-in*; 5 - Gerador de funções; 6 - Fonte de tensão contínua; 69
- Figura 3.20 - Efeito de MR em um dispositivo orgânico produzido neste trabalho de mestrado. As curvas são obtidas para diferentes valores de tensão aplicada sobre o dispositivo. 70
- Figura 3.21 - Gráfico do efeito de MR medido em um dispositivo

orgânico sem a utilização da TMCM.	71
Figura 3.22 - Gráfico do efeito de MR medido em um dispositivo orgânico com a utilização da TMCM; dB é a amplitude do campo magnético alternado e dl é amplitude da variação de corrente no dispositivo medida no amplificador <i>Lock-in</i> .	72
Figura 3.23 - O efeito de MR em dispositivos orgânicos utilizando a técnica de modulação do campo magnético.	72
Figura 4.1 - Esquema do sistema de medições do efeito de MR nos dispositivos orgânicos.	73
Figura 4.2 - Diagrama rígido de energia do dispositivo 1.	75
Figura 4.3 - Gráfico dl/dB em função do campo magnético contínuo aplicado, para o dispositivo apresentado acima.	75
Figura 4.4 – Esquerda: Gráfico do efeito de MR no dispositivo 1. Direita: Gráfico da MR para o dispositivo reportado na literatura. Modificado de [35].	76
Figura 4.6 - Espectro da rede elétrica do laboratório utilizado para diferentes configurações de funcionamento do sistema de medição.	78
Figura 4.7 - (a) Dispositivo orgânico com três camadas orgânicas. (b) Capacitor de placas paralelas com uma única camada orgânica com constante dielétrica é $\epsilon_{ef}$ .	79
Figura 4.8 - Diagrama rígido de energia do dispositivo 2.	82
Figura 4.9 - Gráfico do efeito de MR medido em dois dispositivos com a mesma arquitetura construídos com intervalo de seis meses.	82
Figura 4.10 - Diagrama rígido de energia do dispositivo 3.	83
Figura 4.11 - Gráfico da influência do valor de dB sobre a MR nos dispositivos orgânicos.	84
Figura 4.12 - Diagrama rígido de energia do dispositivo 4.	85
Figura 4.13 - Esquema das duas configurações utilizadas para o	

estudo da influência do ângulo entre o plano do dispositivo e o campo magnético contínuo aplicado.	86
Figura 4.14 - Gráfico da dependência do efeito de MR sobre o ângulo $\theta$ para a configuração (I).	86
Figura 4.15 - Gráfico da dependência do efeito de MR sobre o ângulo $\theta$ para a configuração (II).	87
Figura 4.16 - Efeito da MR medido cinco vezes consecutivas para o dispositivo 5.	88
Figura 4.17 - Gráfico de $\Delta I/I_0$ em função de B para diferentes valores de frequência com $\delta B = 6\text{mT}$ e tensão aplicada de 10V.	89
Figura 4.18 - Diagrama rígido de energia dos dispositivos 7, 8 e 9.	92
Figura 4.19 - Gráfico do efeito de MR para o dispositivo 7 para diferentes valores de tensão aplicada. Juntamente estão indicados os valores de $B_0$ calculados a partir do ajuste lorentziano.	93
Figura 4.20 - Gráfico do efeito de MR para o dispositivo 8 para diferentes valores de tensão aplicada. Também estão indicados os valores de $B_0$ calculados a partir do ajuste lorentziano.	94
Figura 4.21 - Gráfico do efeito de MR para o dispositivo cujo material MTCD foi utilizado como camada transportadora de buracos.	95
Figura 4.22 - Gráfico do efeito de magnetoresistência normalizado, correspondente à máxima variação de corrente no dispositivo, para quatro os dispositivos apresentados acima.	96
Figura 4.23 – Diagrama rígido de energia dos dispositivos 10 e 11.	99
Figura 4.24 - Gráfico do efeito de MR do dispositivo 10 para diferentes valores de tensão aplicada.	100
Figura 4.25 - Gráfico do efeito de MR normalizado para os	

dispositivos 1 e 10.	100
Figura 4.26 - Gráfico do efeito de MR para um dispositivo 11 para diferentes valores de tensão aplicada.	102
Figura 4.27 - Ilustração da obtenção do ajuste linear do efeito de MR para o dispositivo apresentada na figura 4.2. (a) em destaque, a região de comportamento linear do efeito. (b) ajuste linear na faixa de campo magnético adequada.	103
Figura 4.28 - Degradação do dispositivo 12a em função do tempo.	106
Figura 4.29 - Degradação do dispositivo 12b em função do tempo.	106
Figura 4.30 - Degradação do dispositivo 12c em função do tempo.	107
Figura 4.31 - Degradação do dispositivo 12d em função do tempo.	107
Figura 4.32 - Gráfico do percentual de área ativa dos dispositivos encapsulados com diferentes resinas.	108
Figura 4.33 - Gráfico da influência da degradação por exposição atmosférica sobre o efeito de MR no dispositivo apresentado na seção 4.1 Estão indicados somente a primeira e a última medição.	109



## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Semicondutores orgânicos utilizados neste trabalho de mestrado e suas respectivas funções no dispositivo.	51
Tabela 2 - Níveis HOMO e LUMO e técnicas de deposição utilizadas na produção dos filmes finos dos diferentes materiais.	51
Tabela 3 - Tabela de correlação entre a frequência de oscilação do campo magnético na bobina 1 e a tensão de saída do gerador.	64
Tabela 4 - Tabela de correlação entre a frequência de oscilação do campo magnético na bobina 2 e a tensão de saída do gerador.	65
Tabela 5 - Intensidade do sinal (em volt) induzido pela bobina em função da frequência do campo magnético alternado.	80
Tabela 6 - Principais parâmetros calculados para os dispositivos construídos no estudo da influência da CTB sobre o efeito de MR	97
Tabela 7 - Tabela dos valores de sensibilidade dos dispositivos orgânicos produzidos neste trabalho.	103

## Lista de Símbolos

MR = magnetoresistência

EO = eletrônica orgânica

SO = semicondutores orgânicos

SI = semicondutores inorgânicos

STM = microscópio de varredura por tunelamento

AFM = microscópio de força atômica

LUMO = orbital molecular mais baixo desocupado

HOMO = orbital molecular mais alto ocupado

OLED = dispositivo orgânico emissor de luz

CTE = camada transportadora de elétrons

CTB = camada transportadora de buracos

CE = camada emissora

CBE = camada bloqueadora de elétrons

CBB = camada bloqueadora de buracos

ES = éxciton singleto

ET = éxciton tripleto

$S_0$  = estado fundamental

AMR = magnetoresistência anisotrópica

TMR = efeito túnel magnético

GMR = magnetoresistência gigante

ITO = óxido de estanho dopado com índio

LiF = fluoreto de lítio

Al = alumínio

Alq<sub>3</sub> = tris-(8-hidroxiquinolato) de alumínio

NPB = N,N'-difenil-N,N'-bis(3-metilfenil)-(1,1'-bifenil)-4,4'-diamina

PEDOT:PSS = poli(3,4-etilenodioxitiofeno) poli(stirenosulfonato)

TPD = N, N'-bis(1-naftil)-N, N'- difenil-1,1'-bifenil-4,4'-diamina

MTCD = 1-(3-metilfenil)-1,2,3,4 tetrahydroquinolina-6-carboxialdeido-1,1'-difenilhidrazona

PC = bisfenol-A-policarbonato

PFO = poli(9,9-dioctilfluorenil-2,7-diil)

RRP3HT = regio-regular poli(3-hexiltiofeno)

PPV = polifenileno vinileno

PVK = polivinilcarbazol

EA = efeito antena

Eu(bipy) = tris(4,4,4-trifluoro-1-fenil-2,4-butanedione)-(2,2'-bipiridina) de europio

Eu(phen) = tris(dibenzoilmetano)fenantrolina de europio

CuPc = Ftalocianina de cobre

PVD = physical vapor deposition

TF = tooling factor

UPS = ultraviolet photoelectron spectra

TMCM = técnica de moludação do campo magnético

$\Delta/I_0$  = variação percentual da corrente

Ninguém se engane a si mesmo. Se alguém dentre vós se tem por sábio neste mundo, faça-se louco para ser sábio.  
Porque a sabedoria deste mundo é loucura diante de Deus; pois está escrito: Ele apanha os sábios na sua própria astúcia.  
E outra vez: O Senhor conhece os pensamentos dos sábios, que são vãos.  
Portanto, ninguém se glorie nos homens; porque tudo é vosso;  
Seja Paulo, seja Apolo, seja Cefas, seja o mundo, seja a vida, seja a morte, seja o presente, seja o futuro; tudo é vosso,  
E vós de Cristo, e Cristo de Deus.

1ª Carta de Paulo aos Coríntios 3:18-22.