

# Compensador Espacial Eletromagnético

## *Electromagnetic Space Compensated Device*

Guido N. Lopes

Academia Roraimense de Ciências e Departamento de Solos e Engenharia Agrícola do CCA /UFRR

guido@query.in

**Resumo:** O Compensador Espacial Eletromagnético é um dispositivo simples, confeccionado com solenóides, de baixo custo, capaz de gerar campos magnéticos triortogonais que se compensam em uma região do espaço. Descrevem as características de projeto e uma possível aplicação desse dispositivo na criação de probióticos em iogurtes.

**Palavras-Chave:** Solenóide, dispositivo magnético, campo compensado.

**Abstract:** *The Electromagnetic Space Compensated device is an easy artifact, made with solenoids, of low cost, capable of generating tri-orthogonal magnetic fields which are compensated in a particular area of the space. This article describes the project characteristics and the possible application of this device in the probiotics creation in yogurts.*

**Keywords:** *Solenoid, magnetic device, compensated field.*

### Introdução

A Nanofísica dos fenômenos magnéticos pode ser abordada com os seguintes três enfoques:

1º. A gênese do Nanomagnetismo, ou seja, a compreensão da origem dos magnéticos em termos das grandezas físicas nas escalas moleculares, atômicas e nucleares.

2º. A cognição dos fenômenos magnéticos, ou seja, o entendimento das interações entre os momentos magnéticos na nanoescala e suas implicações com a fenomenologia na macroescala.

3º. A leitura analítica do Nanomagnetismo, ou seja, o desenvolvimento das Mecânicas Estatísticas, Clássica e Quântica, necessárias para descrever as propriedades macroscópicas observáveis com base nas grandezas físicas microscópicas.

Faz-se necessário discutir alguns conceitos e definições fundamentais, como introdutório da teoria clássica do eletromagnetismo (NOVAK, 2006; FRENKEL, 1996; JACKSON, 1975) e particularmente no entendimento da fenomenologia do Compensador Espacial Eletromagnético.

### Carga Elétrica, Campo Elétrico e as Leis de Coulomb e de Gauss.

A carga elétrica,  $1,602\ 176\ 53(14)\ 10^{-19}$  C, é uma grandeza física, uma propriedade fundamental e característica das partículas elementares que constituem a matéria. Há carga positiva e negativa. E toda carga elétrica é múltipla inteira de um valor constante (NIST, 2006).

Do ponto de vista macroscópico, a carga elétrica refere-se à líquida, ou excesso de carga, podem ser reagrupadas e combinadas de modos diferentes, todavia, pode-se estabelecer que a carga elétrica líquida seja conservada, mas a carga total não pode variar num sistema isolado. Quando um objeto está carregado, há um excesso de elétrons (carga negativa) ou um excesso de prótons (carga positiva). Por observações experimentais a carga elétrica não pode ser criada nem destruída.

A distribuição da carga elétrica pode ser qualquer, mas opta-se pelo caso em que a carga é considerada pontual, pois as dimensões espaciais são muito pequenas em comparação a qualquer outro “comprimento” pertinente ao problema macroscópico em questão.

Se há uma distribuição pontual discreta de “ $N$ ” cargas, segundo o princípio da superposição linear as forças mútuas na carga de índice “ $i$ ” devido à presença das cargas de índice “ $j$ ” serão dadas pela Lei de Coulomb,

$$F_i = q_i \sum_{j \neq i}^N \frac{q_j}{4\pi\epsilon_0} \frac{\hat{r}_{ij}}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|^{2+\zeta}}$$

Onde  $\vec{r}_{ij} = \vec{r}_i - \vec{r}_j$ ,  $\hat{r}_{ij}$  é verso unitário. Como a força eletrostática é uma Lei experimental, existem evidências teóricas com experimentais (WILLIAMS *et al.*, 1971) sustentando que a dependência do inverso do quadrado é exata, não podendo diferir de 2 por mais do que uma parte em  $10^{15}$ , ou seja, a incerteza  $\zeta < 10^{-15}$ .

Se a carga elétrica estiver distribuída continuamente num volume “ $V$ ” com uma densidade volumétrica  $\rho$  e, na superfície “ $S$ ” que delimita o volume com uma densidade superficial  $\sigma$ , a força exercida por essa distribuição sobre a

carga pontual  $q$ , localizada em  $\vec{r}$  será:

$$\vec{F}_q = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \iiint_V \frac{\vec{r} - \vec{r}'}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} \rho(\vec{r}') dV' + \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \iint_S \frac{\vec{r} - \vec{r}'}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} \sigma(\vec{r}') dS'$$

A variável  $\vec{r}'$  localiza um ponto no interior da distribuição de carga.

A interação eletrostática se aplica às interações de particular elementares, na microescala até objetos macroscópicos, assim  $F_i$  ou  $F_q$  aplica-se à repulsão eletrostática entre núcleos a distância maior que  $\approx 10^{-14}$  m; para distâncias menores, as forças nucleares, intensas, mas de curto alcance, dominam o cenário da interação.

As cargas livres geram campos elétricos, definido como:

$$E = \lim_{q_i \rightarrow 0} \frac{F_i}{q_i} \quad \text{ou} \quad E = \lim_{q \rightarrow 0} \frac{F_q}{q}$$

O limite está incluído na definição para assegurar que a carga teste ou de prova não afete a distribuição das cargas elétricas que produziram o campo elétrico. O campo elétrico é um campo vetorial, assim como a força eletrostática.

A Lei de *Gauss* investiga a relação entre a integral da componente normal do campo elétrico sobre uma superfície fechada e a carga total encerrada pela superfície, resultando:

$$\oint_S \vec{E} \cdot \hat{n} ds = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{i=1}^N q_i \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{1}{\epsilon_0} \rho$$

Tem-se tratado nessa seção das cargas em repouso, mas deseja-se considerar as cargas em movimento uniforme e os fenômenos associado a essa dinâmica. O que será abordada na próxima seção.

### Natureza da Corrente Elétrica e Equação da Continuidade

Carga elétrica livres em movimento sob ação de campo elétrico estacionário gera corrente elétrica devido à condução, isto implica que vamos tratar com os materiais condutores, como metais, ligas metálicas, mas também esses mesmos fenômenos podem ser vistos em eletrólitos, dielétricos imperfeitos, entre outros materiais.

Num metal<sup>1</sup> ou em liga metálica, a corrente de condução é devido aos elétrons de valências, os mais externos ao íon estão livres para adquirir mobilidade, os outros elétrons, mais internos estão fortemente ligados aos seus íons, visto que os íons pesados e positivos estão fixos na estrutura cristalina em posições regulares. Em condição de estado estacionário, os elétrons livres podem ser introduzidos no metal em um ponto e removidos em outro, produzindo a corrente de condução, porém o metal ou o meio como um todo é eletrostaticamente neutro.

<sup>1</sup> Como o cobre, com configuração eletrônica: [Ar]3d<sup>10</sup>4s<sup>1</sup>, abundância na Terra de 50ppm, condutividade elétrica [298K]: 5,9810<sup>7</sup>Ω<sup>-1</sup>m<sup>-1</sup> e resistividade [293K]: 1,6810<sup>-8</sup>Ωm, segundo (CRC, 2006).

A equação da continuidade traduz o fato que carga elétrica não pode ser criada, nem destruída.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot \vec{J} = 0$$

Vamos agora explorar a fenomenologia da dinâmica das cargas, que geram correntes e que estes geram campos magnéticos. A origem do campo magnético é devido à presença das cargas em movimento no fio o que gera corrente elétrica. O valor numérico do campo magnético está associado ao referencial adotado pelo observador.

### Indução Magnética, Campos Magnéticos de Correntes Estacionárias, a Lei de Biot e Savart e solenóide

Se há cargas em movimento sobre elas há uma força adicional de natureza magnética, tal que a resultante, chamada de Força de *Lorentz* seja  $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$ , onde  $\vec{B}$  é a indução magnética, mas um pseudovetor.

Se a velocidade da partícula carregada for pequena se comparada à velocidade da luz ( $\approx 3,010^8$  m/s), a interação magnética será muito menor que a interação elétrica.

Em uma corrente de condução em um fio metálico, onde estão presentes cargas positivas e negativas em igual densidade, o campo elétrico macroscópico é nulo, porém o campo magnético macroscópico decorrente das cargas em movimento não é nulo.

Em um fio metálico que conduz corrente elétrica, na presença de uma indução magnética, a velocidade de arraste dos elétrons é oposta à densidade de corrente, cada elétron fica sujeito a uma força média dado por  $\vec{F}_m = -e\vec{v} \times \vec{B}$ . As linhas de força da indução magnética criado pela corrente em um fio contornam o fio no sentido anti-horário, quando observado do lado para o qual aponta a corrente.

Decorrentes de resultados experimentais, a Lei de *Biot e Savart* é análogo magnético da Lei de *Coulomb*. Em um dado sistema de coordenadas, o ponto de prova é descrito por um vetor  $\vec{r}$  e os elementos de circuito têm posições descritas pelo vetor  $\vec{r}'$ . Neste caso, o vetor deslocamento do elemento de circuito ao ponto de prova será  $\vec{r} - \vec{r}'$ . A indução magnética no ponto  $\vec{r}$  será então

$$\vec{B}(\vec{r}) = 10^{-7} \int \frac{I(\vec{r}') d\vec{l} \times (\vec{r} - \vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3}$$

O aparecimento de um fator de proporcionalidade exato na expressão para a indução magnética se deve ao fato que as forças elétricas e magnéticas são duas manifestações, distintas, de uma mesma interação eletromagnética.

Solenóide é um dispositivo simples formado pelo bobinamento regular cilíndrico de fios metálicos e condutores, agrupados por “m” camadas, com “n” espiras por camada, de raio interno “a” e raio externo “b” e

comprimento “ $l$ ”. Seja  $\bar{r} = \frac{a+b}{2}$  o raio médio, e  $i$  a corrente direta que percorre o solenóide. Ver Figura 1, a geometria do problema.

A indução magnética em um ponto qualquer no eixo  $z$  de simetria do solenóide pode ser obtida pela aplicação da Lei de *Biot e Savart*, ao se dividir o comprimento do solenóide em elementos diferenciais, este contém  $nmdz/l$  espiras, assim:

$$B_z(z_0) = \frac{2\pi 10^{-7} nmi\bar{r}^2}{l} \int_0^l \frac{dz}{[(z_0 - z)^2 + \bar{r}^2]^{3/2}}$$

Faz-se necessário uma mudança de variável tal que  $z - z_0 = \bar{r} \tan \theta$ . Sendo  $\theta_1 = -\tan^{-1}(z_0/\bar{r})$  e  $\theta_2 = \tan^{-1}(\frac{l-z_0}{\bar{r}})$ , integrando e retomando as variáveis iniciais, temos:

$$B_z(z_0) = \frac{2\pi 10^{-7} nmi}{l} (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2)$$

Os ângulos  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  são positivos, os termos entre parênteses representam as correções das extremidades do solenóide ou efeito de bordas.

Para um ponto no eixo, mas longe, tal que  $\alpha_1 \rightarrow 180^\circ$  e  $\alpha_2 \rightarrow 0^\circ$ , o termo entre parênteses, na equação 10, tenderá para zero, resultando  $B_z = 0$ , esse efeito ocorre simultaneamente em ambas das direções. No centro geométrico do solenóide  $\alpha_1 = \alpha_2 \rightarrow 45^\circ$ ,  $B_z$  assume o valor mais intenso e homogêneo. Na borda do solenóide, um cosseno se anula e o outro mapeia o efeito da distorção do  $B_z$ .

Para um único solenóide, ilustrado na Figura 1, o sistema de refrigeração é projetado para dissipar 2,0kW de calor em regime de operação padrão; com raio médio de  $7,010^{-2}m$ , e comprimento total de fio utilizado na confecção de 54,97m, a resistência do fio à temperatura ambiente é 0,18 $\Omega$ , a corrente máxima é 100A e a indução magnética no centro do solenóide e no eixo de simetria será  $2,00 \cdot 10^{-4}T^2$  para uma corrente estável de 10A.

### Compensador Espacial eletromagnético

O Compensador Espacial Eletromagnético é confeccionado com seis solenóides de cobre, onde cada par produz um campo uniforme e homogêneo de indução magnética, porém em sentido contrário. É montado em uma base isolante de acrílico e revestido por uma malha condutora que constitui a sua blindagem eletromagnética e sendo, também protegido por uma cobertura de acrílico. É projetado para produzir em uma região do espaço um campo resultante nulo, isto é, um campo compensado.

A indução magnética estática,  $B$ , gerado por uma corrente contínua,  $I$ , percorrida em um fio de seção transversal reta é de baixa intensidade. Para se obter campos magnéticos mais intensos é necessário enrolar

mais fios em uma bobina, de modo que a corrente circule pela mesma vizinhança várias vezes. A geometria final corresponde à de várias bobinas superpostos ou solenóide.

Ao se aplicar uma corrente AC ou DC no solenóide, irá produzir indução magnética AC ou DC, respectivamente.

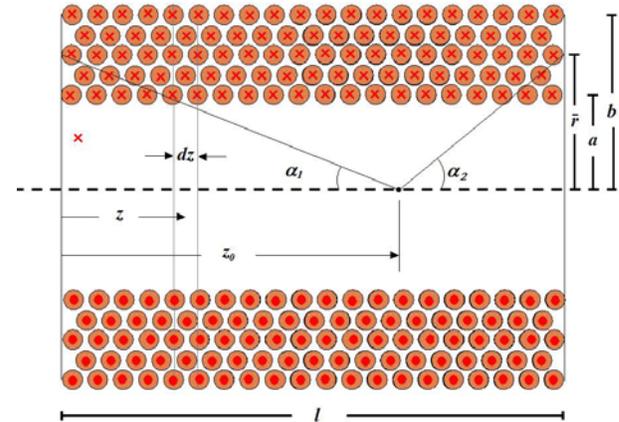


Figura 1: Definições geométricas para o cálculo da indução magnética axial de um solenóide.

A limitação de se produzir campos magnéticos ainda mais intensos está no diâmetro e tipo de material que é confeccionado o fio, do que na corrente elétrica que o percorre, isto é, cargas que fluem no tempo em um fio condutor geram calor, devido ao efeito *Joule*, isso limita o número  $N$  de camadas de bobina no solenóide.

O campo de indução magnética é medido pelo efeito *Hall*.

No caso estático ou DC, a blindagem é basicamente uma superfície metálica que encapsula os arranjos de solenóides. Aplicando a Lei de *Gauss*, onde o campo elétrico externo à superfície induz uma distribuição de cargas na superfície metálica, devido ao fato das cargas no metal, condutor ideal, estarem livres para rearranjarem-se até atingirem uma distribuição que produza um campo elétrico com o módulo igual ao campo elétrico externo que a gerou, mas com sentido contrário. Logo a soma vetorial dos campos elétricos devido a cada uma das cargas em qualquer ponto dentro da superfície fechada é zero.

No caso dinâmico ou AC, a malha fechada ou gaiola de *Faraday* feita de material condutor e ferromagnético, que impede a entrada de campos eletromagnéticos cujos comprimentos de onda sejam superiores ao tamanho da malha.

Para as ondas eletromagnéticas utiliza-se o Modelo de Rede de Osciladores, ou seja, o componente campo elétrico da onda eletromagnética externa faz com que cada elétron da superfície comece a oscilar sob a ação da força elétrica, com a mesma frequência da onda incidente. Conseqüentemente gerando um campo elétrico refletido e um campo elétrico refratado ou irradiado.

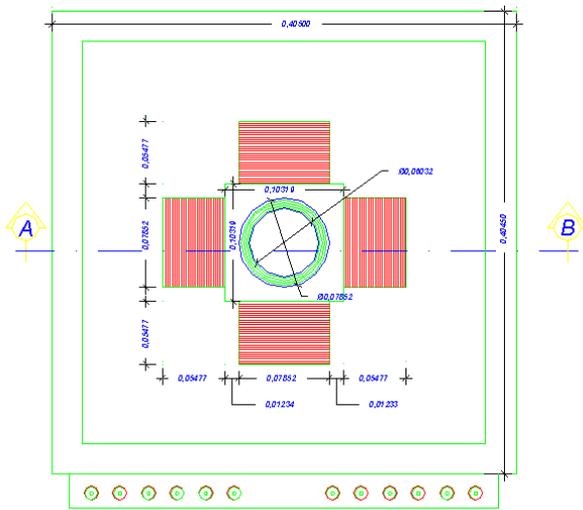
A onda irradiada pode realizar interferência com a onda incidente. Para frequências baixas espera-se que a onda irradiada esteja “quase” em fase com a onda incidente, mas conforme a frequência aumenta, os elétrons começam

<sup>2</sup> Alguns valores típicos de indução magnética são: da Terra  $\approx 10^{-4} T$ , intenso campo DC (estável)  $\approx 40 T$  e intenso campo AC (pulsado)  $\approx 800 T$  (RODITI, 2005).

a “atrasar” nas suas oscilações em relação à onda incidente até a onda irradiada atingir um atraso de fase de 180°. Nessa situação, as duas ondas interferem destrutivamente e a intensidade da onda resultante dentro do material cai para zero, o efeito blindagem.

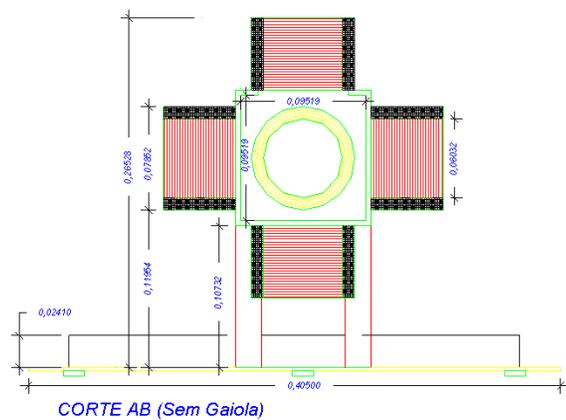


Figura 2: Fotografia do Compensador Espacial Eletromagnético.



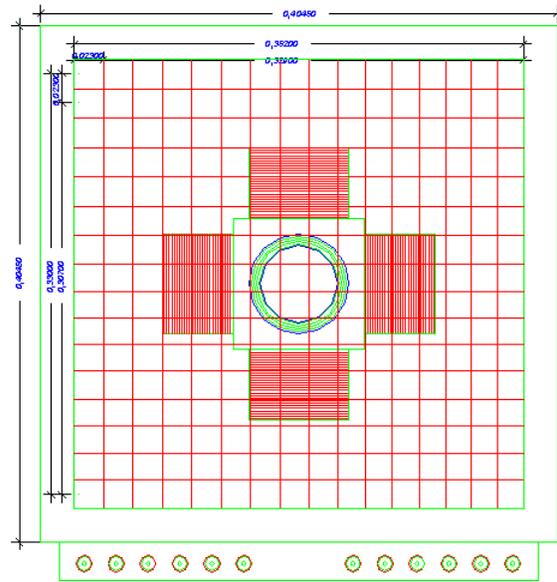
PLANTA BAIXA (Sem Gaiola)

Figura 3: Diagrama em AutoCAD® do Compensador Espacial Eletromagnético vista superior, sem a gaiola de Faraday.



CORTE AB (Sem Gaiola)

Figura 4: Diagrama em AutoCAD® do Compensador Espacial Eletromagnético corte AB, vista lateral da Figura 3.



VISTA SUPERIOR (Com Gaiola)

Figura 5: Diagrama em AutoCAD® do Compensador Espacial Eletromagnético vista superior, com a gaiola de Faraday.

Como as ondas eletromagnéticas operam em determinada frequência e comprimento de onda, quando  $\lambda \gg a$  (distância de centro-a-centro dos condutores da malha), do ponto de vista da onda incidente a malha será uma superfície e a blindagem é eficiente.

Caso contrário  $\lambda \ll a$ , do ponto de vista da onda incidente a malha não será uma superfície, mas simplesmente fios condutores isolados, sem nenhuma influência. Assim que o comprimento de onda se aproxima do tamanho da malha a blindagem não é mais eficaz.

### Uma Possível Aplicação

O termo probiótico é de origem grega e significa ‘para a vida’ ou ‘pró-vida’.

A definição contemporânea dos agentes probióticos (HAVENAAR e HUIS IN’T VELD, 1992) são como microorganismos viáveis, o que inclui bactérias lácticas<sup>3</sup>, e leveduras<sup>4</sup> na forma de células liofilizadas ou de produto fermentado, que exibem um efeito benéfico sobre a saúde do hospedeiro após ingestão, devido à melhoria das propriedades da microflora intestinal.

A importância da microflora intestinal para manutenção da saúde humana foi reconhecida pela comunidade científica no final do século XIX, e consolidada no século XX quando microbiologistas verificaram que havia

<sup>3</sup> Bactérias pertencentes aos gêneros *Lactobacillus* e *Bifidobacterium* e, em menor escala, *Enterococcus faecium*, são mais frequentemente empregadas como suplementos probióticos para alimentos, uma vez que elas têm sido isoladas de todas as porções do trato gastrointestinal do humano saudável.

<sup>4</sup> A maior parte dos probióticos comercializados são bactérias. Apenas duas leveduras são usadas, a *S. boulardii* na medicina humana e a *S. cerevisiae* na medicina veterinária.

diferença na microflora residente no intestino de pessoas saudáveis e de doentes (SUSANA, 2006; MARIO e CARLOS, 2004).

Os probióticos contribuem para a melhoria tecnológica dos produtos alimentícios.

Iogurtes que contêm *Lactobacillus acidophilus* ou *Bifidobacterium* apresentam marcante melhoria de sabor, embora muitas empresas usem o benefício tecnológico dos probióticos, mas não o utilizem como argumento de marketing.

Outra questão interessante, segundo (SUSANA, 2006) é que os microrganismos probióticos geram um antagonismo com os patogênicos, como a salmonela e os coliformes que causam toxinfecções alimentares e problemas gastrintestinais. Isto acontece porque os probióticos produzem bacteriocinas, que inibem as bactérias ruins.

O intervalo de temperaturas para a qual se registra crescimento ótimo nas bifidobactérias oscila entre os 37 e 41 °C, ocorrendo máximos e mínimos de crescimento a 43-45 °C e 25-28 °C, respectivamente. Em relação ao pH, o ótimo verifica-se a valores de pH entre 6 e 7, com ausência de crescimento a valores de pH ácidos de 4.5-5.0 ou a valores de pH alcalinos de 8.0-8.5 (HAVENAAR e HUIS IN'T VELD, 1992).

As condições ótimas para crescimento do gênero *Lactobacillus* são temperaturas de 35-40 °C e valores de pH de 5.5-6.0. Deve salientar-se que o crescimento de *L. acidophilus* pode ocorrer a 45 °C, e que a sua tolerância em termos de acidez do meio varia entre 0.3 e 1.9 % (v/v) de acidez titulável (HAVENAAR e HUIS IN'T VELD, 1992).

A levedura *Saccharomyces boulardii* faz parte de um dos poucos microrganismos utilizados como probióticos que não são de origem humana. É uma levedura não patogênica, termotolerante, que apresenta um ótimo de crescimento na temperatura de 37°C (MCFARLAND e BERNASCONI, 1993; FLAVIANO *et al.*, 2005).

Levanta-se a hipótese que o cultivo de bactérias lácticas pode ser incrementado no interior do Compensador Espacial Eletromagnético, pois a região ao entorno é orientado pelas linhas de indução magnética, porém no ponto (x,y,z) onde a colônia está desenvolvendo-se o campo resultante é nulo. Ou seja, a taxa de crescimento microbiano é “significativamente”, dependente das condições de temperatura, pressão e pH, porém respondem à ação do campo magnético compensado. Em um meio nutritivo específico.

O Compensador Espacial Eletromagnético poderá ser utilizado em escala industrial para produção de probióticos.

Futuros ajustes de designer no Compensador Espacial Eletromagnético poderão assegurar a segurança alimentar que é prescrito pela legislação da ANVISA.

## Conclusões

É apresentado um dispositivo simples, que produz em uma região do espaço, inscrito em um cubo, uma compensação de campos magnéticos, resultando em um campo compensado.

Sugere a utilização do efeito do campo compensado, conjuntamente com as condições de ótima produção de bactérias lácticas para incrementar a produtividade, tornando-a competitiva em um mercado globalizado.

## Referencias

- CRC *Handbook of Chemistry and Physics*, 86<sup>th</sup> edition – Section 4: *Properties of the Elements and Inorganic Compounds*. Disponível em <<http://www.hbcpnetbase.com/>>. Acessado em 19/05/2006.
- FLAVIANO, dos S.M.; FABIANA, da C.P.T; FLÁVIO, H.F.B.; FRANCISCO, J.P.; CARLOS, A.R.; REGINA, M.D.N.; MARIA, J.N e JACQUES, R.N. Utilização de leveduras como probióticos. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, vol.5, n.2, p.1-13, 2005.
- FRENKEL, J. *Princípios de Eletrodinâmica Clássica*. São Paulo: EDUSP, 1996. 416p.
- HAVENAAR, R. e HUIS IN'T VELD, J. H. J. 1992. *Probiotics; a general review*. In: WOOD, B. (ed.). *The Lactic Acid Bacteria in Health and Disease*, Barking: Elsevier. 1992. p. 151-170.
- JACKSON, J.D. *Classical Electrodynamics*. New York: John Wiley & Sons, 1975. 848p.
- MARIO de M.C. e CARLOS, G.T. Probióticos e resposta imune. *Ciência Rural*, vol.34, n.4, p.1297-1303, jul-ago, 2004.
- MCFARLAND, L.V.; BERNASCONI, P. *Saccharomyces boulardii: A review of an innovative biotherapeutic agent*. *Microb. Ecol. Health Dis.*, v. 6, p. 157-171, 1993.
- NIST *fundamental physical constants - 2002 CODATA recommended values*.
- NOVAK, M.A. Introdução ao Magnetismo (*e-book* da II Escola Brasileira de Magnetismo), Rio de Janeiro: CBPF, Disponível em <<http://www.cbpf.br/>>. Acessado em 01/04/2006.
- RODITI, I. *Dicionário Houaiss de Física*. Rio de Janeiro: Objetiva, 2005. 248p.
- SUSANA, M.I.S. Probióticos e prebióticos: o estado da arte. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, vol. 42, n. 1, p.1-16, jan./mar., 2006.
- WILLIAMS, E.R., FALLER, J.E. e HILL, H.A., *Phys. Rev. Letters*, vol. 26, p.721, 1971.

Recebido e aceito para publicação em 23/11/07.