

ORIENTAÇÃO PELO CAMPO GEOMAGNÉTICO

PEDRO HENRIQUE ARRUDA ARAGÃO^a

RESUMO

Estudos realizados nestes últimos anos têm mostrado que algumas espécies de organismos fazem uso do campo geomagnético como mecanismo de orientação. Em setembro último, analisando amostras de água e sedimentos da periferia do Lago Igapó-Londrina, pudemos observar a existência de microorganismos que utilizam as linhas de campo para orientação.

PALAVRAS-CHAVE: Mecanismo de orientação, microorganismos magnetotático, orientação pelo campo magnético.

1. INTRODUÇÃO

A obra "De magnete, magneticisque corporibus et de magno tellure physiologia nova" de William Gilbert, publicada em 1600, é considerada o marco inicial dos trabalhos científicos na área de magnetismo. Ele mostrou ser a Terra um gigantesco ímã natural circundado por água, solo, etc, utilizando para tanto um ímã em forma esférica com superfície irregular e pedaços de arame¹.

Somente nos últimos vinte anos levantou-se a hipótese de o campo magnético da Terra influenciar no comportamento dos seres que vivem sob sua ação. Estudos realizados nessas últimas décadas com pombos, abelhas, tartarugas, borboletas e até mesmo com o homem tem mostrado resultados surpreendentes em relação a sensibilidade ao campo geomagnético dessas espécies^{2,3,7}. No trabalho de R. Blakemore, publicado em 1975, com bactérias coletadas em águas de lagoa que fazem uso desse campo para sua orientação e preservação da espécie, esta hipótese tornou-se verificável⁴.

Utilizando-se técnicas em microscopia eletrônica e microanálise identificou-se no interior do citoplasma desses microorganismos partículas densas com alto conteúdo em ferro que, através da espectroscopia⁵, revelou serem cristais de material ferromagnético, magnetita (Fe₃O₄). Estes cristais de tamanho médio da ordem de 500 Å (1 Å = 10⁻¹⁰m), estão compreendidos na região de monodomínio magnético⁶.

Os processos bioquímicos utilizados por esses microorganismos na biomineralização desse material são, até o momento, pouco conhecidos, constituindo-se numa importante linha de pesquisa.

2. MECANISMOS DE ORIENTAÇÃO ANIMAL

Todos os organismos utilizam mecanismos de orientação no meio que os circunda, como forma de sobrevivência

e preservação da espécie. Existem vários desses mecanismos, podendo ser citados a quimiotaxia, a fonotaxia, a fototaxia, a geotaxia, mecanismos elétricos e também a magnetotaxia.

A quimiotaxia é uma resposta do organismo à presença de algum composto químico existente no meio em que vive. Fato bastante curioso e interessante é a alta sensibilidade olfativa de cachorros, bois, peixes, etc. Tomemos como exemplo, o salmão que é um peixe de água doce, que ao nascer migra para o mar, permanecendo aí de dois a quatro anos, tempo em que atinge a maturidade sexual. Utilizando um apurado sistema olfativo o salmão retorna ao mesmo local onde nasceu para desovar e morrer⁷.

O mecanismo de utilização dos sons, em algumas espécies para comunicação, noutras para orientação, é a fonotaxia. Este mecanismo ocorre em vários animais, tais como golfinhos, morcegos, cachorros, gatos, etc. Os morcegos ao voarem emitem sons acima da faixa de audição humana; a reflexão de tais sons os informa da posição e forma dos objetos^{7,8}.

A fototaxia envolve dois tipos de mecanismos, um diz respeito à sensibilidade luminosa, isto é, atração pela luz, como é o caso de insetos de um modo geral. Outras espécies possuem em sua estrutura, mecanismos para emissão de luz que podem ser utilizados tanto para orientação como identificação sexual, é o caso, por exemplo, dos perilampos machos que são atraídos pela luz das fêmeas⁹.

A influência da gravidade sobre os seres vivos é de fundamental importância, como se pode observar em experiências realizadas a bordo de naves espaciais, onde esta influência pode ser grande e variada, utilizando-se plantas, abelhas, etc. Este mecanismo de utilizar o campo gravitacional é definido como geotaxia⁸.

As descargas elétricas, lançadas por determinada classe de peixes, são utilizadas tanto para orientação como proteção. A descarga refletida informa, a esses organismos, o tamanho, a distância dos obstáculos, a composição quí-

^a Departamento de Física, CCE/UDEL.

mica, etc^{7,9}

O mecanismo de orientação de microorganismos pelo campo geomagnético, assunto deste texto, será discutido a seguir.

3. MICROORGANISMOS MAGNETOTACTICOS

Em 1975 R. Blakemore, da Universidade de New Hampshire, quando tentava isolar bactérias de amostras de lama da lagoa de Woods Hole, observou a existência de bactérias que se dirigiam rapidamente, numa trajetória retilínea, para um lado específico de uma gota dessa amostra, quando analisada em microscópio. A princípio, Blakemore não deu muita importância a estas bactérias pois supôs tratar-se de um mecanismo de resposta à luz, já que havia muita luz entrando no laboratório por este lado. Entretanto, após alguns instantes, o número dessas bactérias ia aumentando nessa extremidade da gota, e ele concluiu que não podia ser o mecanismo de fototaxia o responsável direto pela alta concentração desses microorganismos. A partir de diversos experimentos, percebeu que a posição inicial dessas bactérias era modificada quando se colocava ímãs nas proximidades do microscópio. Logo imaginou que, de alguma forma, o campo magnético da Terra deveria influenciar o comportamento desses organismos⁴. Ao fixar essas bactérias, as mesmas deixavam de se movimentar, porém, continuavam a se orientar conforme se invertia a posição do ímã. Este fato levou-o a concluir que este mecanismo de orientação independia de qualquer função vital das bactérias, passando a chamá-las de "Bactérias Magnetotáticas".

Pesquisas em microscopia eletrônica revelaram a existência de vários tipos morfológicamente distintos dessas bactérias, como exemplo: as cocus; as bacilos, as espirilus, as quais constituem a única espécie isolada, até agora¹⁰. Foram identificadas, no interior da sopa citoplasmática dessas bactérias, regiões de alta densidade, com forma cúbica em algumas bactérias e de prismas de base hexagonal em outras. (fotografia de 1 a 5).

A análise espectroscópica da espécie isolada "asquaspirillum magnetotacticum" tem revelado que essas regiões densas têm tamanho médio da ordem de 500 Å e são de magnetita (Fe₃O₄) os quais estão compreendidos na região de monodomínio magnético⁶.

Desejando-se uma maior observação do comportamento dos microorganismos magnetotacticos, acopla-se ao microscópio uma bobina de Helmholtz (par de anéis de mesmo raio, com o mesmo eixo comum, separados por uma distância igual ao raio dos anéis), já que assim é possível obter um campo magnético uniforme em sua região central. Quando se faz passar corrente elétrica num sentido nestas bobinas, os microorganismos migram para uma das extremidades da gota, numa trajetória aproximadamente retilínea alinhada à linha de campo. Ao se inverter o sentido da corrente nas bobinas de Helmholtz os organismos são submetidos a um torque ($\vec{\tau} = \vec{M} \times \vec{B}_0$), devido a magnetita existente em seu citoplasma, movendo-se em direção a outra extremidade de gota, descrevendo uma trajetória semelhante a um U (fotografia 6). Com relação à volta descri-

ta pelos organismos, quando da inversão de sentido do campo magnético, é possível estimar o seu diâmetro (L), bem como o tempo (t) necessário para realização da mesma, em função do momento magnético total (\vec{m}) do organismo¹¹, dados por:

$$L = \frac{8 \pi^2 \eta R^3 V}{m B_0}$$

$$t = \frac{8 \pi^2 \eta R^3}{m B_0} \ln \left(\frac{2m B_0}{K T} \right)$$

onde η é a viscosidade do meio, K a constante de Boltzmann, T a temperatura, R o raio dos microorganismos, assumidos como esféricos, movendo-se a uma velocidade \vec{V} independente do campo magnético externo (\vec{B}_0) aplicado.

Análise de sedimentos de águas do hemisfério Sul, como do hemisfério Norte, tem mostrado que esses microorganismos nadam para o fundo, isto é, para regiões ricas em nutrientes. Este fato, é explicado por ser o campo magnético terrestre inclinado, fora da região do equador¹². Este campo é semelhante ao gerado por uma esfera uniformemente magnetizada, conforme sugeriu W. Gilbert em 1600, de forma que as linhas de campo no hemisfério Sul são inclinadas para cima, enquanto no hemisfério Norte são inclinadas para baixo (figura 1). Isto sugere a existência de dois tipos de microorganismos magnetotacticos, quanto a orientação. Os microorganismos tipo Sul, encontrados no hemisfério Sul, que se movimentam em sentido oposto ao campo magnético aplicado. Os microorganismos tipo Norte, encontrados no hemisfério Norte, que se movimentam no mesmo sentido do campo magnético externo (figura 2). Assim sendo, quando analisamos amostras de sedimentos do hemisfério Sul no hemisfério Norte e vice-versa, os organismos nadam em direção a superfície entrando em contato com o oxigênio e morrendo, já que se tem constatado serem organismos anaeróbicos ou microanaeróbicos¹⁰.

Um fato interessante, e ainda não explicado convincentemente, ocorre na região do Equador onde o campo magnético apresenta inclinação nula. Análises de amostras da região de Fortaleza-CE têm mostrado a existência aproximadamente em igual quantidade de bactérias do tipo Sul e do tipo Norte numa mesma gota¹³. Mesmo que a coleta seja em locais geograficamente diferentes.

Em meados de 81, iniciamos com a professora Darci Motta S. Esquivel, e os professores Henrique G.P. Lins de Barros e J. Danon, do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF - CNPq), estudos em amostras de águas da região do Rio de Janeiro¹⁵.

Foram coletadas águas da Lagoa Rodrigo de Freitas, situada na Zona Sul da cidade, as quais se constituem em amostras ricas em microorganismos magnetotacticos. Nessas amostras o professor L.P.H. de Oliveira identificou algas verdes unicelulares. Utilizando solução de iodo foi possível identificar uma estrutura em forma de copo, cloroplasto, bem como de 4 a 5 pirenóides, o que levou a concluir serem algas do gênero Chlamydo-



manas¹⁴, apresentando comportamento idêntico ao das bactérias tipo Sul descritas anteriormente, pois ao fixar esses microorganismos os mesmos deixam de migrar, alinhando-se com as linhas de campo magnético¹⁵.

Pesquisas recentes têm levado a se admitir a existência de mais tipos de microorganismos magnetotacticos com essas características. Microscopia eletrônica de transmissão com um destes organismos parece confirmar esta suposição; tem-se levantado a hipótese de uma colônia ou aglomerado de bactérias apresentando em seu interior 1500 regiões de alta densidade¹⁶.

Em análise realizada em amostras de sedimentos da periferia do Lago Igapó, em Londrina, observamos a existência de microorganismos que apresentam comportamento

semelhante aos daqueles encontrados no Rio de Janeiro. Entretanto, não foi possível, até o presente momento, obter maiores informações a respeito da morfologia desses microorganismos, bem como de seu comportamento quando submetidos a campos magnéticos gerados por bobinas de Helmholtz de intensidades superiores ao campo magnético da Terra (0.5G). Ainda, não nos foi possível obter dados a respeito de sua velocidade (\vec{V}), momento magnética (\vec{m}), tempo (\vec{t}) de realização da volta em U, diâmetro (L) da volta, etc. Porém, é provável que se trate de uma bactéria magnetotactica. Essa hipótese só poderá ser verificada ao se conseguir microscopia de boa qualidade e colaboração com outras áreas de pesquisas como biologia, química, etc.

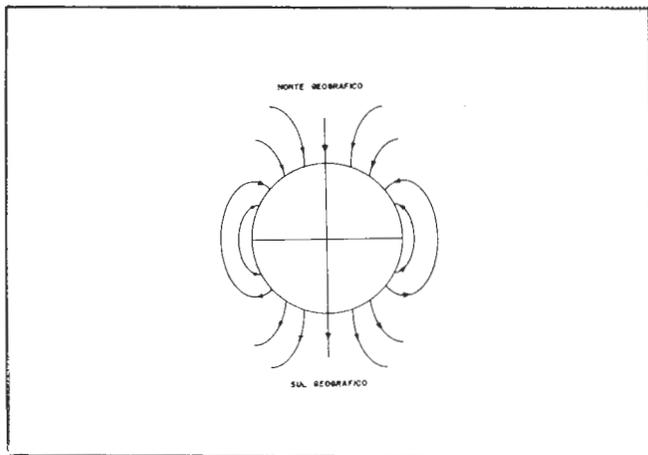


FIGURA 1
LINHAS DE CAMPO MAGNÉTICO DA TERRA

Uma agulha de inclinação "bússola" aponta para baixo no hemisfério norte e para cima no hemisfério sul apresentando inclinação nula na região do Equador.

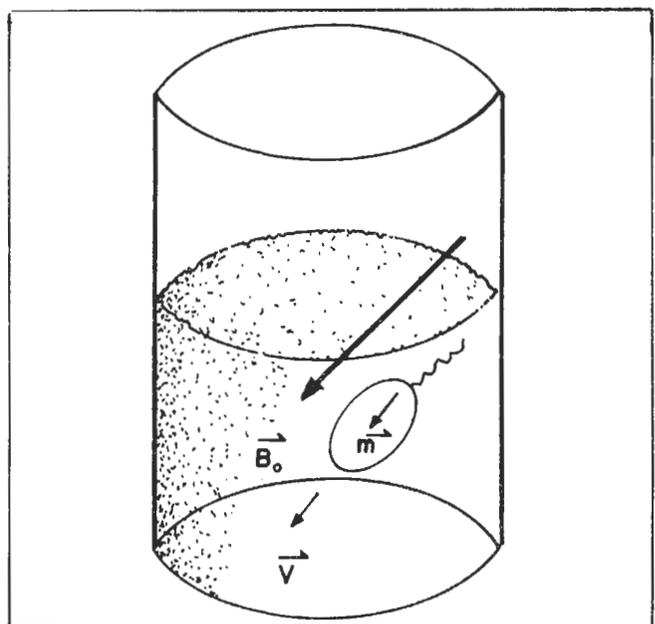
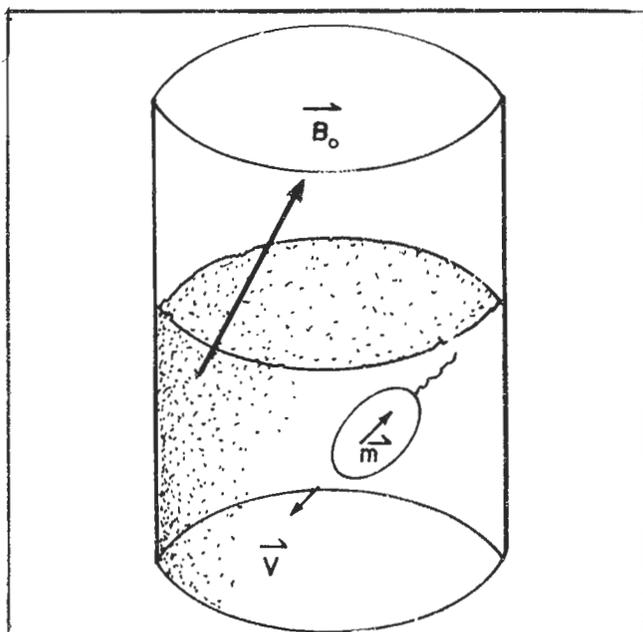


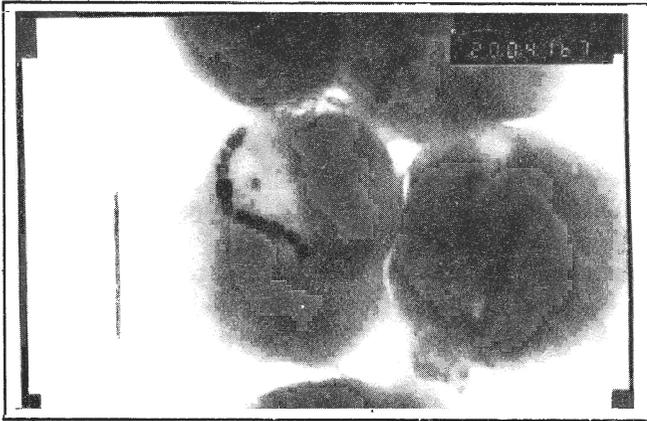
FIGURA 2
TIPOS DE MICROORGANISMOS MAGNETOTACTICOS

a) MICROORGANISMO TIPO SUL

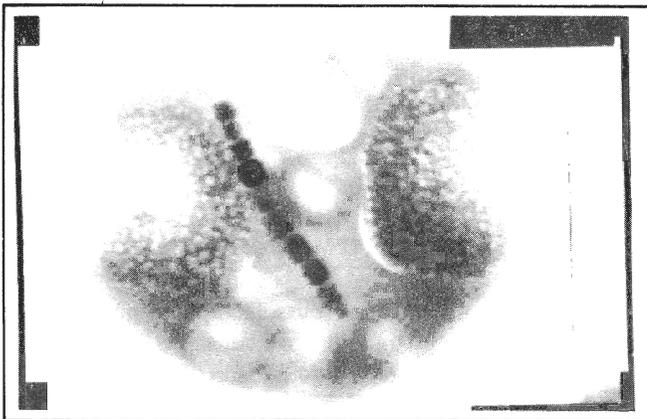
Esses microorganismos são encontrados predominantemente no hemisfério sul. Seu momento magnético (m) alinha-se com o campo magnético externo (B_0), porém seu movimento é oposto a este campo.

b) MICROORGANISMO TIPO NORTE

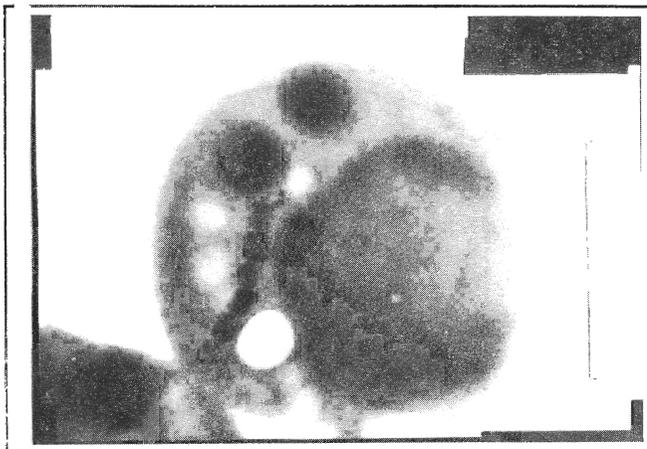
Esses microorganismos são encontrados predominantemente no hemisfério norte. Seu momento magnético (m) alinha-se com o campo magnético aplicado (B_0) entretanto seu movimento é no mesmo sentido deste campo.



Fotografia 1



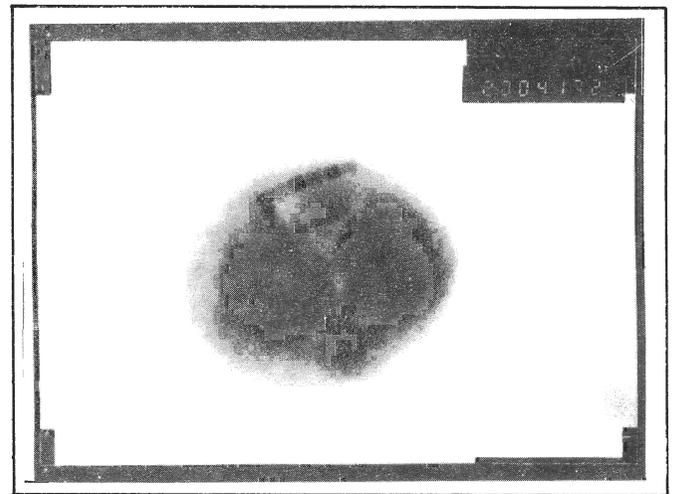
Fotografia 2



Fotografia 3

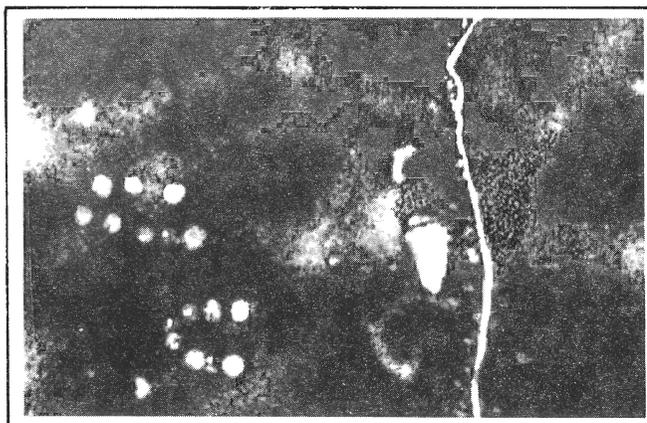


Fotografia 4



Fotografia 5

Microscopia Eletrônica de Bactérias Magnetotativas tipo cocus da Lagoa Rodrigo de Freitas (RJ) obtidas por Marcos Farina - Instituto de Biofísica da UFRJ.



Fotografia 6

Realização da volta em U por um microorganismo magnetotactico quando da inversão de sentido do campo magnético nas bobinas de Helmholtz. Fotografia obtida acoplado-se uma filmadora Super-8 ao microscópio ótico.

ABSTRACT

In the past few years scientists have shown that some kinds of organisms utilize the geomagnetic field as a mechanism of orientation. Last September, in analyzing samples of water and sediments collected from Igapó Lake, in Londrina neighborhood, we realized that it also contained this kind of microorganisms, which also utilizes magnetic field lines for its orientation.

KEY-WORDS: Magnetotactic microorganisms; magnetic fields orientation.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MASON, L.F. *História da ciência: as primeiras correntes do pensamento científico*. Porto Alegre, Globo, 1962.
2. KEETON, W.T. The mystery of pigeon homing. *Scientific American*, 231(6):96-107, 1974.
3. BAKER, R.R. A sense of magnetism. *New Scientist*, 87 (1221):844-846, 1980.
4. BLAKEMORE, R.P. Magnetotactic Bacteria. *Science*, 190: 377-379, 1975.
5. FRANKEL, R.B.; BLAKEMORE, R.P.; WOLFE, R.S. Magnetite in freshwater Magnetotactic Bacteria. *Science*, 203:1355-1365, 1979.
6. BUTLER, R. F. & BANERJEE, S.K. *J. Geophys. Res.*, 80: 4049-4058, 1975.
7. EISNER, T. & WILSON, E.O. *Selecciones de Scientific American*. H. Blume Ediciones, 1978.
8. CHAUVIN, R. *A etologia* (estudo biológico do comportamento animal). Rio de Janeiro, Zahar, 1979.
9. CARTHY, J.D. *Temas de Biologia "Comportamento Animal"* São Paulo, Ed. Pedag. e Universitária; EDUSP, 1980. v.14.
10. BALKWILL, D.L.; MARATEA, D.; BLAKEMORE, R.P. Ultrastructure of a Magnetotactic Spirillum, *Journal of Bacteriology*, 141 (3) : 1399-1408, 1980.
11. BEAN, C. "Dynamics of Magnetotactic Bacterium in a Magnetic Field". (Personal Communication)
12. CLARK JUNIOR, S.P. *Estrutura da terra*. São Paulo, Edgard Blucher, 1973.
13. FRANKEL, R.B.; BLAKEMORE, R.P.B.; TORRES DE ARAUJO, F.F.; ESQUIVEL, D.M.S.; DANON, J. Magnetotactic Bacteria at the Geomagnetic Equator. *Science*, 212:1269-1270, 1981.
14. BARROS, H.G.P.L.; ESQUIVEL, D.M.S.; DANON, J.; OLIVEIRA, L.P.H. *Anais Academia Brasileira de Ciências*, 54:258, 1982.
15. ESQUIVEL, D.M.S.; LINS DE BARROS, H.G.P.; FARINA, M. ARAGÃO, P.H.A.; DANON, J. Bacteries et algues magnetotactiques de la region de Rio de Janeiro. *Biol. Cellulaire*, 47(2):227-234, 1983.
16. FARINA, M.; LINS DE BARROS, H.G.P.; ESQUIVEL DANON, J. Ultrastructure of a magnetotactic Microorganism. *Biol. Cellulaire*, 48:85-86, 1983.

AGRADECIMENTOS

Aos Professores

Darci Motta S. Esquivel e Henrique G.P. Lins de Barros do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas – CNPq, pelas orientações e sugestões úteis à publicação deste texto.
E a Celso Moreira de Mattos pelo trabalho de datilografia.