



RELATIVIDADE GERAL E GEOTECTÓNICA

por
FREDERICO MACHADO
Inst. Univers. dos Açores (Horta)

RESUMO

O movimento galáctico do Sol, juntamente com uma possível oscilação perpendicular ao plano galáctico, constituem mecanismos suficientes para produzir os principais fenómenos tectónicos, se admitirmos que ao longo da órbita há variações da gravitação (ou da correspondente «constante»). A oscilação com um semiperíodo de 11 anos parece produzir as crises sísmicas dos Açores. O efeito do movimento da Terra em torno do Sol, sobreposto àquela oscilação, pode também ser responsável pela pulsação de câmaras magmáticas dos vulcões açorianos.

ABSTRACT

Rotation of the Sun in the Galaxy, as well as a possible oscillation perpendicular to the galactic plane, are acceptable mechanisms for producing the main tectonic phenomena, if we assume along that orbit, the existence of changes in gravitation (or in the so-called gravitational «constant»). The oscillation, with a semi-period of 11 years, seems to produce the earthquake swarms of the Azores. The effect of the Earth's movement round the Sun, superimposed on that oscillation, could also be responsible for some pulsation of the magma chambers of Azorean volcanoes.

1 — INTRODUÇÃO

A influência de factores cósmicos em fenómenos geológicos tem sido discutida por vários investigadores (KROPOTKIN, 1970; WESSON, 1973). Alguns resultados da teoria da Relatividade Geral, aplicados aos fenómenos físicos do interior da Terra, têm provado também ser um caminho promissor para estabelecer mecanismos de muitos fenómenos tectónicos (MACHADO, 1975).

Este método parece conveniente para explicar a periodicidade dos sismos dos Açores e, porventura, certas pulsações vulcânicas destas ilhas, conforme será discutido no fim do presente artigo.

A Relatividade Geral não é o único meio de encontrar mecanismos geotectónicos. Por exemplo, as correntes de convecção térmica no manto terrestre são uma teoria alternativa com boa aceitação entre os especialistas (veja-se, por exemplo, RUNCORN, 1965). Não foi, infelizmente, possível encontrar bons testes experimentais que permitam comparar as duas teorias; estas continuam assim a ter carácter especulativo.

2 — TEORIA RELATIVISTA DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

Para desenvolver as ideias da Relatividade Geral, vamos considerar um espaço-tempo de Riemann com a métrica ortogonal

$$ds^2 = e^{1-\kappa\psi} (dx^4)^2 - \frac{\kappa\psi}{c^2} \sum_i (dx^i)^2 \quad (1)$$

onde ds é a diferencial do arco (a 4 dimensões), x^4 é a coordenada tipo tempo e x^i ($i = 1, 2, 3$) são as coordenadas tipo espaço; c é a velocidade da luz, κ é uma constante definida por

$$\kappa = \frac{8\pi f}{c^2} \quad (2)$$

onde f é a constante habitual da gravitação; e ψ é o potencial newtoniano, devido às massas do Universo «visível», definido pela expressão

$$\psi = \frac{1}{4\pi} \int_{\Omega} \frac{\rho}{r} d\Omega \quad (3)$$

Aqui ρ é a densidade do elemento $d\Omega$ à distância r do ponto considerado («centro» do Universo). O integral estende-se evidentemente ao Universo visível, correspondente a cada ponto do espaço.

O uso desta métrica no cálculo das geodésicas do espaço-tempo sugere que todas as massas devem ser multiplicadas por um factor $\sqrt{\kappa\psi}$ (MACHADO, 1972) o que é equivalente a dever considerar-se na atracção newtoniana uma «constante» $f\kappa\psi$ (que pode variar de ponto para ponto do Universo).

Para experiências físicas realizadas na Terra, o factor $\kappa\psi$ é sempre vizinho da unidade, facto que é uma consequência ou forma como se determina a constante f .

Na equação (3) a densidade ρ deve ser também afectada por este factor $\sqrt{\kappa\psi}$, além de dever incluir a massa equivalente à energia distribuída no Universo.

Por outro lado, a utilização da métrica descrita em (1) para escrever as equações do campo de Einstein conduz, como era de esperar, a uma generalização de equação de Poisson, com a forma (cf. MACHADO, 1972)

$$\sum_i \frac{\delta^2 \psi}{\delta x_i^2} = -\rho \sqrt{\kappa\psi} \quad (4)$$

onde ρ é uma densidade média «local».

Aqui admitiu-se que a variação de ψ com o tempo se pode desprezar em face das variações espaciais; a equação está já referida a coordenadas «locais» x_i .

Se houver simetria esférica virá, em vez de (4),

$$\frac{1}{r} \frac{\delta^2}{\delta r^2} (r\psi) = -\rho \sqrt{\kappa\psi} \quad (5)$$

onde r é a distância ao centro de simetria.

Supondo que para as massas distantes $\kappa\psi = 1$, o potencial $\Delta\psi$ devido a uma massa local M satisfará à equação

$$\frac{1}{r} \frac{\delta^2}{\delta r^2} [r(\psi + \Delta\psi)] = -\rho \sqrt{1 + \kappa\Delta\psi}$$

ou, por ser $\kappa\Delta\psi$ muito pequeno em face da unidade,

$$\frac{1}{r} \frac{\delta^2}{\delta r^2} (r\Delta\psi) = -\frac{\kappa\rho}{2} \Delta\psi \quad (6)$$

A solução desta equação diferencial é

$$\Delta\psi = \frac{A}{r} \cos\left(\sqrt{\frac{\kappa\rho}{2}} r\right) \quad (7)$$

onde $A = M/4\pi$.

Isto mostra que o potencial gravitacional é certamente muito mais complexo do que se admite na teoria clássica. A grandes distâncias, o potencial parece poder tornar-se mesmo crescente (força repulsiva), o que explicaria a expansão do Universo descoberta por Hubble (veja-se, por exemplo, SCHATZMAN, 1966, p. 187).

Na proximidade do sistema solar (r muito pequeno) a aproximação de Newton

$$\Delta\psi = \frac{1}{4\pi} \frac{M}{r} \quad (8)$$

é, porém, suficiente em todos os casos práticos.

3—MOVIMENTO GALÁCTICO DO SISTEMA SOLAR

Admitindo que o potencial ψ (e portanto a massa ou a «constante» da gravitação) varia muito pouco no tempo, mas pode ter diferenças apreciáveis de ponto para ponto do Universo. Então, se o observador se deslocar no espaço, pode haver variações de ψ que serão agora função do tempo. É isto justamente o que sucede no movimento galáctico.

Como se sabe, o Sol faz parte da Galáxia Via Láctea. Esta galáxia é de tipo espiral e todas as estrelas que a constituem descrevem órbitas razoavelmente circulares. Para o Sol, o período de rotação galáctica é de cerca de 230 milhões de anos. Actualmente, a deslocação do Sol é sensivelmente perpendicular ao plano da órbita da Terra em torno do Sol.

Esta rotação galáctica do sistema solar vai sujeitar a Terra às condições gravitacionais que existirem ao longo da respectiva órbita galáctica.

Uma hipótese adicional refere-se à existência de valores altos de ψ na vizinhança do plano galáctico. Estes valores altos excederiam os que resultam das massas próprias da Galáxia, sendo portanto devidos às outras massas do Universo.

Nesta hipótese, tudo se passará como se o Sol (ou o sistema solar) fosse atraído pelo plano galáctico; estas condições tornam possível uma oscilação do sistema solar ao longo da trajectória (Fig. 1). Para explicar certos fenómenos geológicos, o semi-período desta oscilação deveria ser de cerca de 11 anos, o que é sempre possível com uma distribuição adequada dos valores de ψ (MACHADO, 1973).

Em consequência da oscilação referida, os valores da gravitação (ou do produto $f\psi$) terão variações com intervalos iguais ao semiperíodo da oscilação (11 anos). Esta variação de curto período irá sobrepor-se às variações muito mais lentas resultantes da rotação galáctica.

FREDERICO MACHADO

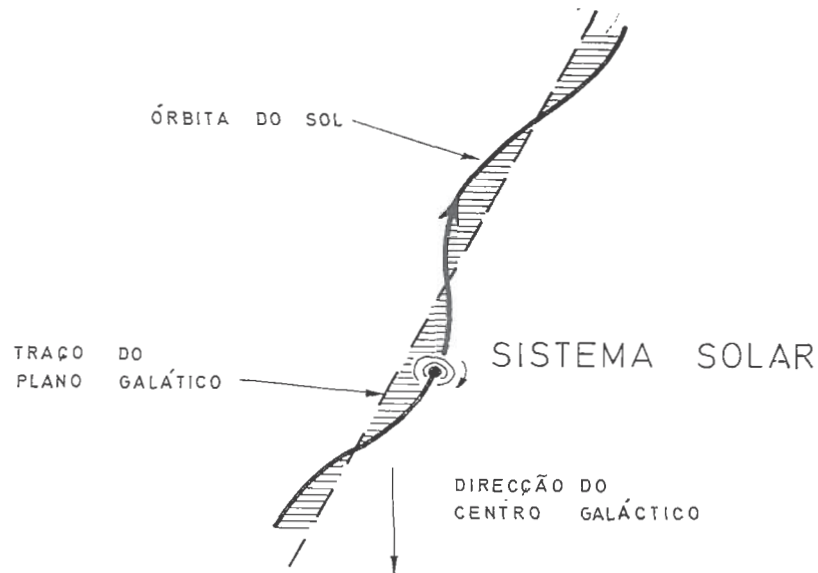


FIGURA 1 — Oscilação do sistema solar ao longo da órbita galáctica (seg. MACHADO, 1973)

4 — CONSEQUÊNCIAS GEOLÓGICAS

As variações da gravitação influem na radiação solar (TELLER, 1948). Esta pode ser a causa das glaciações que têm ocorrido com intervalos de 200 a 250 milhões de anos; estes intervalos têm a ordem de grandeza do período de rotação galáctica (230 milhões de anos).

Mais importantes parecem ser, porém, os efeitos nos fenômenos geotectônicos.

Um aumento de gravitação aumentará a pressão no interior da Terra; e a conseqüente diminuição de volume forçará a crosta a encurtar. Pelo contrário, um decréscimo de gravitação

produzirá expansão no interior da Terra e a crosta que fica sujeita a tracções acabará por fracturar-se.

Parece que esta fracturação ocorre nos riftes médios dos oceanos, repetindo-se com intervalos de cerca de 11 anos (cf. MACHADO, 1973). Cada vez que abre uma fenda, ela é invadida pelo magma que existe debaixo da litosfera; o magma começa imediatamente a solidificar e vai impedir que a fase intermédia de compressão feche novamente a fenda. Desta forma, a contracção da crosta é transferida para as zonas de subducção que marginam as faixas orogénicas.

Os fenómenos repetem-se e quer a expansão quer o encurtamento vão-se acumulando progressivamente. Admite-se que a abertura do Oceano Atlântico tenha vindo a processar-se durante os últimos 200 milhões de anos.

Os movimentos são decerto um pouco irregulares, mas em média haverá abertura de 20 a 30 cm durante 5 ou 6 anos, havendo interrupção do processo nos 5 ou 6 anos seguintes. Analogamente haverá uma contracção intermitente nas faixas orogénicas. Os fenómenos exigem uma pulsação da gravitação com amplitude relativa da ordem de 10^{-7} apenas (MACHADO, 1973), variação que é inferior ao erro com que se tem determinado a constante da gravitação.

A intensidade dos fenómenos parece sujeita a flutuações lentas, produzindo-se desta forma os chamados ciclos orogénicos que se repetem com intervalos de cerca de 200 milhões de anos. Estes ciclos estão aparentemente relacionados também com a rotação galáctica.

5 — APLICAÇÃO AOS FENÓMENOS SISMOVULCÂNICOS DOS AÇORES

A ideia duma pulsação gravitacional com período de 11 anos surgiu pela primeira vez, no estudo da sismicidade dos Açores.

Conforme já dissemos, as variações de gravitação têm influência na actividade solar, parecendo inversamente correlacionadas com a área de manchas solares. Por este motivo, as crises sísmicas dos Açores foram inicialmente correlacionadas com as manchas solares, só mais tarde se admitindo que as pulsações de gravitação pudessem representar o mecanismo real da actividade sísmica.

As fases de expansão parecem produzir sismos nas ilhas do Faial e do Pico, ao passo que as fases de contracção produzem sismos na Terceira e S. Miguel (Fig. 2).

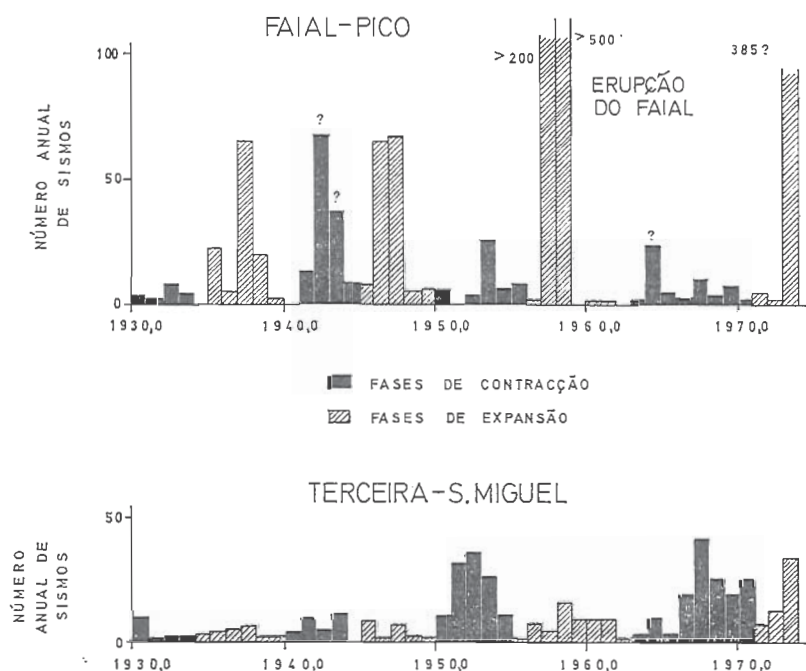


FIGURA 2 — Variação anual da sismicidade em ilhas dos Açores (seg. MACHADO & AL., 1974)

A actividade sísmica do Faial e Pico estará portanto ligada com a abertura do rift médio do Atlântico. Por seu lado, os

sismos da Terceira e S. Miguel parecem relacionados com a actividade do extremo ocidental da faixa alpina (onde poderá haver um pequeno leque de expansão, a oeste do ponto de deformação nula, situado à longitude de cerca de 22° W; cf. MACHADO & AL., 1972).

Um aspecto importante, relacionado com a oscilação do Sol na órbita galáctica, resulta do facto do movimento de «translação» da Terra poder actuar como excitação no desencadeamento das crises. Esta excitação ocorreria em diferentes épocas do ano, conforme a direcção do movimento fosse para um ou outro lado do plano galáctico (Fig. 1). O facto é razoavelmente confirmado pela distribuição mensal dos abalos de Terra (MACHADO, 1973); as irregularidades notadas podem resultar duma distribuição mais ou menos complicada dos valores de ψ junto ao plano galáctico.

Recentemente, tem sido medida no vulcão do Pico uma oscilação vertical com amplitude de cerca de 1 metro (MACHADO, 1977). Esta oscilação (Fig. 3) parece ter período vizinho de 1 ano, podendo ser também devida à variação produzida

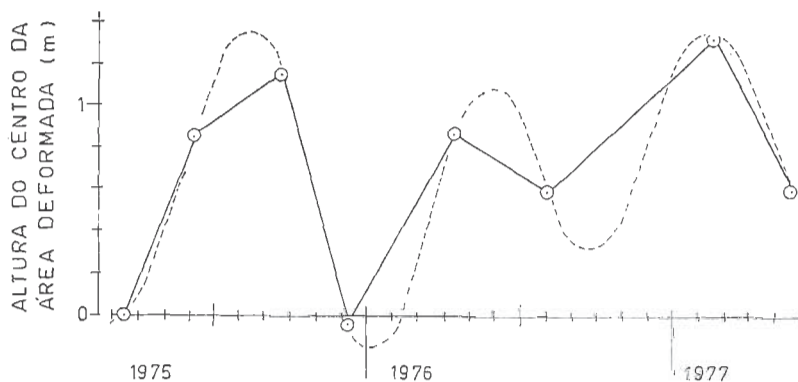


FIGURA 3 — Oscilação vertical no vulcão do Pico. A curva tracejada é uma possível interpretação.

na pressão da câmara magmática pelo movimento da Terra em torno do Sol, segundo o modelo da Fig. 1. É de esperar que efeito análogo se venha a encontrar noutros vulcões açorianos.

AGRADECIMENTO

O autor agradece a José Ávila Martins a leitura crítica do manuscrito do presente artigo.

REFERÊNCIAS

- KROPOTKIN, P. N., 1970 — The possible role of cosmic factors in Geotectonics. *Geotektonika*, v. 2, pp. 80-88.
- MACHADO, F., 1972 — Variações da gravitação na Relatividade Geral. *Rev. Fac. Ciên. Lisboa*, 2.^a sér. C, v. 17, pp. 159-174.
- , 1973 — A hipótese de uma pulsação de gravitação com período de 11 anos. *Garcia de Orta, Sér. Geol.*, v. 1, pp. 27-36.
- , 1975 — Pulsation of tectonic phenomena and tectonophysical mechanisms. *Geol. Rund.*, v. 64, pp. 74-84.
- , 1977 — Ground movement on Pico Volcano, Azores (abstract). *Proc. IASPEI-IAVCEI Joint General Assemblies, Durham*, p. 240.
- MACHADO, F., QUINTINO, J. & MONTEIRO, J. H., 1972 — Geology of the Azores and the mid-Atlantic rift. *Proc. 24th Int. Geol. Congress, Montreal*, v. 3, pp. 134-142.
- MACHADO, F., TRÉPA, M. V., FÉRIN, C. & NUNES, J. C., 1974 — Crise sísmica do Pico (Açores), Nov. 1973. *Com. Serv. Geol. Port.*, v. 57, pp. 229-242.
- RUNCORN, S. K., 1965 — Changes in the convection pattern in the Earth's mantle and continental drift: evidence for a cold origin of the Earth. *Phil. Trans. Roy. Soc.*, v. 258, pp. 228-251.
- SCHATZMAN, E., 1966 — *The Origin and Evolution of the Universe*. Hutchinson, Londres.
- TELLER, E., 1948 — On the change of physical constants. *Phys. Rev.*, v. 73, pp. 801-802.
- WESSON, P. S., 1973 — The implications for Geophysics of modern cosmologies in which G is variable. *Q. J. Roy. Astr. Soc.*, v. 14, pp. 9-64.