

## A estrutura interna da Terra

Um dos problemas mais interessantes da física do globo terrestre consiste em procurar determinar as propriedades físicas que reinam no interior da Terra.

Sabe-se que a Terra se pode considerar como um esferóide de raio aproximadamente igual a 6378 km. As dimensões adoptadas em geodesia, referentes ao elipsóide internacional de Hayford, são:

$$\begin{aligned} \text{semi-eixo maior} \quad a &= 6378,388 \pm 0,018 \text{ km} \\ \text{achatamento} \quad e &= \frac{a - c}{a} = \frac{1}{297,0 \pm 0,5} \end{aligned}$$

Evidentemente que a região, acessível directamente à observação, limita-se a alguns quilómetros, de modo que todas as conclusões acerca do interior terrestre têm de ser obtidas por métodos indirectos. Alguns dos métodos indirectos baseiam-se na aplicação dos princípios da mecânica ao movimento dos corpos celestes, ao passo que outros métodos fundamentam-se em processos geofísicos.

Assim, por exemplo, os estudos de mecânica celeste, baseados na lei de atracção de Newton, permitem deduzir a densidade média dos planetas e, por vezes, se o planeta possui um núcleo interior de constituição diferente do envólucro que o rodeia.

Os principais processos geofísicos utilizam a propriedade de propagação das ondas nos meios sólidos ou líquidos. Devemos destacar os métodos, aperfeiçoados em sismologia, destinados ao estudo dos tremores de terra e que permitem a observação, em pontos muito afastados da superfície terrestre, das ondas provenientes dos sismos. Além disso, as técnicas de prospecção geofísica destinadas à localização de jazigos minerais (especialmente de petróleo), têm permitido aperfeiçoar os conhecimentos acerca das camadas mais

superficiais da Terra, denominando-se crosta terrestre a região situada até cerca de 40 km da superfície.

Para uma substância perfeitamente elástica, as velocidades  $v_P$  e  $v_S$ , respectivamente das ondas  $P$  e  $S$ , satisfazem às equações

$$(1) \quad \frac{k}{\rho} = v_P^2 - \frac{4}{3} v_S^2$$

$$(2) \quad \frac{\mu}{\rho} = v_S^2$$

sendo  $\rho$  a densidade,  $k$  a incompressibilidade e  $\mu$  o módulo de rigidez da substância. No caso particular em que o módulo de rigidez da substância é nulo ( $\mu = 0$ ), deduz-se imediatamente da expressão anterior que as ondas  $S$  não se propagam.

Os dois tipos de ondas que acabamos de indicar são designados, em sismologia, por ondas primárias ( $P$ ) e secundárias ( $S$ ). No caso dos tremores de terra, a distância, entre a estação sismológica, que regista os deslocamentos locais provocados pelos sismos, e a região na qual se originou o sismo (região epicentral), é bastante apreciável na grande maioria dos casos. Este facto permite-nos considerar as ondas sísmicas como planas, de acordo com a teoria matemática das ondas. Neste caso, os deslocamentos associados com as ondas  $P$  e  $S$  são respectivamente longitudinais e transversais.

A partir do conhecimento, obtido pelo estudo dos sismogramas, das velocidades de propagação das ondas  $P$  e  $S$  no interior do globo terrestre, podem-se determinar, pelas equações anteriores, os valores de  $\frac{k}{\rho}$  e  $\frac{\mu}{\rho}$  para as diferentes camadas concêntricas que se supõem constituir a Terra.

O conhecimento dos valores de  $\frac{k}{\rho}$  e  $\frac{\mu}{\rho}$  oferece a possibilidade de os comparar com os valores obtidos para os diferentes tipos de rochas conhecidas, de modo a procurar identificar os materiais constituintes das diversas camadas interiores da Terra. Evidentemente que estas identificações são difíceis de se efectuarem, em virtude das condições reinantes no interior da Terra não serem fáceis de reproduzir nos laboratórios.

Desta maneira conseguiu-se identificar a camada mais superficial da crosta terrestre e que se denomina a *camada granítica*, em virtude das velocidades  $v_P$  e  $v_S$  corresponderem a materiais de constituição granítica; esta conclusão é também corroborada por investigações geológicas. A camada seguinte denomina-se *camada intermédia*, e a sua identificação com materiais conhecidos já se torna mais difícil, supondo-se ser constituída por rochas básicas, de tipo intermédio entre as que constituem a camada granítica e as camadas subjacentes.

Os estudos acerca dos tempos de propagação das ondas  $P$  e  $S$ , provenientes de numerosos sismos, permitiram identificar várias regiões nas quais aparecem discontinuidades nas velocidades de propagação das ondas sísmicas. Deste modo foi identificada a discontinuidade de Mohorovicic, que separa a crosta terrestre (de espessura aproximadamente igual a 40 km) das camadas subjacentes, as quais se designaram por envólucro. Verifica-se que no envólucro se propagam tanto as ondas  $P$  como as  $S$ , podendo-se assim concluir que a Terra é sólida nesta região, subentendendo-se que é sólida na acepção de que apresenta uma certa rigidez ( $\mu \neq 0$ ).

A análise das velocidades de propagação das ondas  $P$  também permitiu identificar, nos princípios deste século, uma outra discontinuidade separando o envólucro de uma região central, denominada núcleo. Verifica-se que esta discontinuidade é a mais bem definida entre todas as que se conhecem no interior da Terra, estando situada a uma dis-

tância de cerca de 2900 km da superfície; investigações recentes permitiram determinar a distância como sendo  $2898 \pm 4$  km.

Na região denominada núcleo verifica-se que só as ondas  $P$  são transmitidas. Deste modo, de acordo com a equação (2), deduz-se que a rigidez do núcleo deve ser desprezível ou nula (pelo menos numa região bastante extensa), visto que não permite a transmissão das ondas  $S$  e, por isso, diz-se geralmente que se encontra num estado líquido.

Acontece porém que a região do núcleo, situada nas vizinhanças do centro da Terra, poderá apresentar uma certa rigidez (da mesma ordem de grandeza da existente no envólucro), admitindo-se esta hipótese em virtude de investigações teóricas; além disso, existe uma discontinuidade na propagação das ondas  $P$ , situada a 5120 km da superfície. Por este motivo é conveniente considerar o núcleo dividido em 2 regiões, denominadas núcleo exterior (no qual  $\mu = 0$ ) e interior (em que se supõe  $\mu \neq 0$ ). A existência de um núcleo interior, sólido, ainda não foi confirmada pela análise dos sismogramas, em virtude da grande dificuldade em observar a passagem das ondas  $S$  por uma região de dimensões relativamente pequenas.

\*

Os estudos referentes à evolução térmica da Terra, no decurso das centenas de milhões de anos desde a sua formação, permitiram concluir que a densidade terrestre deverá aumentar à medida que nos aproximamos do centro da Terra.

Supõe-se que a tensão no interior da Terra é equivalente a uma pressão hidrostática, podendo-se escrever

$$(3) \quad \frac{dp}{dr} = -g\rho$$

sendo  $p$  a pressão,  $\rho$  a densidade e  $g$  a gravidade no interior da Terra a uma distância  $r$  do centro. Designando por  $m$  a massa da esfera de raio  $r$  será

TELEF. 77 66 82

## Correia & Polónia, L.<sup>da</sup>

- PAPELARIA
- TIPOGRAFIA
- ENCADERNAÇÃO
- E ARTIGOS DE ESCRITÓRIO

Rua Conde Sabugosa, 7-A (à Av. Roma)  
LISBOA

## Tipografia LISBONENSE

de

António Joaquim de Alencastre Telo

FABRICANTE DE SACOS DE PAPEL  
EM TODOS OS GÉNEROS  
ENCADERNAÇÕES

IMPRESSÃO EM PAPEL CELOFANE  
ARTIGOS DE ESCRITÓRIO

Rua do Passadiço, 48 a 56  
Telef. 54357 - LISBOA

Tipografia // Litografia // Encadernação

S O C I E D A D E  
T I P O G R Á F I C A

«A Mundial»  
LIMITADA

ESCRITÓRIO:

AVENIDA ALMIRANTE REIS, 45-A

TELEFONE 83 36 66

LISBOA 1

OFICINAS: NOVAS INSTALAÇÕES,  
REGUEIRÃO DOS ANJOS, 36



## CENTRO FORNECEDOR DE MÓVEIS

FABRICANTES

MÓVEIS E DECORAÇÕES

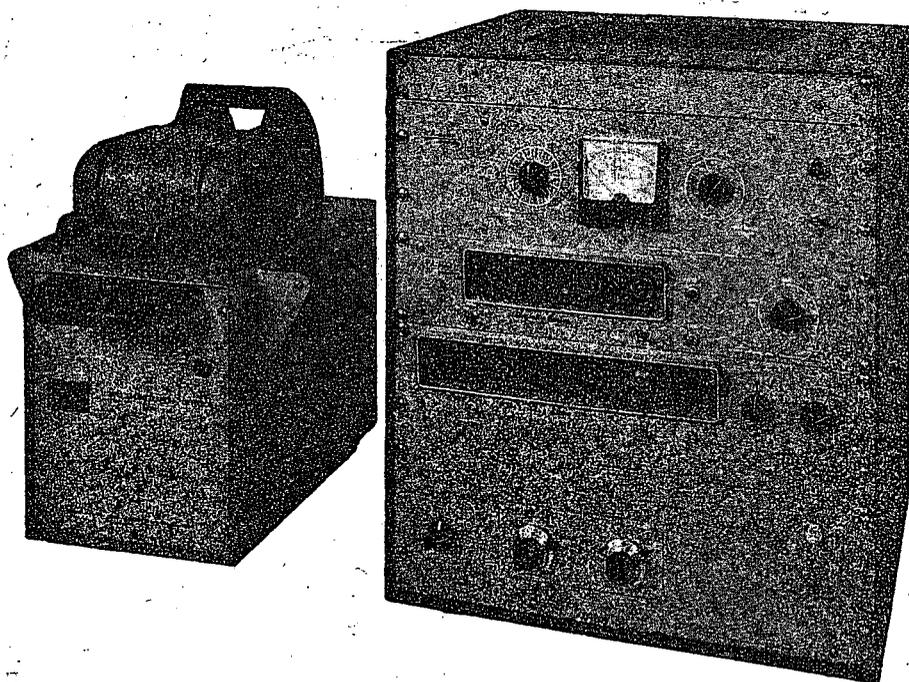
Especializados em mobiliário  
comercial

Estudos e orçamentos em mobiliário  
de qualquer estilo

Rua da Madalena, 112-1.º  
Telef. 86 92 81 - LISBOA



**BAIRD-ATOMIC, INC.**



**Conjunto Modelo 745A**  
para contagem por cintilação de amostras líquidas

---

## **BAIRD-ATOMIC**

Apresenta a maior linha de aparelhos para trabalhos nucleares, fabricados nos E. U. A. e na Holanda. Trata-se de instrumentos de concepção moderna, de grande precisão, muito robustos, esplêndida apresentação e a preços compatíveis com similares de outras industriais europeias. Em Portugal já estão instalados muitos aparelhos B/A em diversos laboratórios, a funcionarem em perfeitas condições. Se ainda não tem, com muito gosto remeteremos os catálogos descritivos.

**REPRESENTANTES EXCLUSIVOS EM PORTUGAL:**

**EMÍLIO DE AZEVEDO CAMPOS & C.<sup>A</sup> LDA.**

CASA FUNDADA EM 1854

Rua Antero de Quental, 17, 1.<sup>o</sup> • LISBOA • Telef. 55 33 66  
Rua Santo António, 137-145 • PORTO • Telef. 2 02 54/5/6

$$(4) \quad g = \frac{fm}{r^2}$$

onde  $f$  é a constante de gravitação universal.

Considerando camadas de composição uniforme e assumindo condições adiabáticas será

$$(5) \quad \frac{k}{\rho} = \frac{dp}{d\rho}$$

A partir das equações (2) a (5), e como  $\frac{dp}{dr} = \frac{dp}{d\rho} \frac{d\rho}{dr}$ , é fácil deduzir a seguinte equação diferencial

$$\frac{d\rho}{dr} = - \frac{fm\rho}{r^2 \left( v_P^2 - \frac{4}{3} v_S^2 \right)}$$

Esta equação dá-nos a variação da densidade em qualquer região da Terra cujas condições físicas se aproximem das hipóteses feitas na sua dedução. A resolução desta equação, por métodos de cálculo numérico, permitiu determinar os valores da densidade nas diversas regiões em que se considera dividida a Terra.

Uma vez determinada a densidade, e como são conhecidas as velocidades  $v_P$  e  $v_S$  para toda a Terra, calculam-se imediatamente os valores de  $k$  e dos coeficientes de Lamé  $\lambda, \mu$  pelas equações (1) e (2).

A variação da pressão no interior da Terra determina-se a partir das equações (3) e (4)

$$\frac{dp}{dr} = - \frac{fm\rho}{r^2}$$

A integração numérica desta equação diferencial permite conhecer as pressões reinantes no interior do globo terrestre.

A variação da gravidade com a distância é dada imediatamente pela equação (4).

Alguns dos valores obtidos, para as grandezas mencionadas, estão agrupados na tabela seguinte.

TABELA

Região	Distância km	$\rho$ g/cm <sup>3</sup>	$\mu$ $\times 10^8$ bar	$k$ $\times 10^8$ bar	$p$ $\times 10^8$ bar	$g$ cm/s <sup>2</sup>
Crusta	33	3,32	0,63	1,16	0,009	985
	100	3,38	0,67	1,24	0,031	989
	413	3,64	0,90	1,73	0,141	998
	1800	5,10	2,39	4,87	0,78	985
Envólucro	2898	5,66	3,03	6,51	1,37	1037
	2898	9,7		6,2	1,37	1037
	4982	11,9		12,6	3,17	
	5121	12,0			3,27	
Núcleo interior	6370	12,3			3,64	0

Apesar da simplicidade das expressões teóricas indicadas, os cálculos numéricos, necessários para se obterem os valores desta tabela, são bastante morosos. Não estão indicados alguns valores correspondentes ao núcleo, em virtude da maior incerteza na sua determinação; além disso, estes valores também dependem do facto de se considerar o núcleo interior como sólido ou líquido. Assim, por exemplo, o valor da gravidade a 4000 km da superfície supõe-se estar afectado de um erro da ordem dos 5%, aumentando a incerteza à medida que nos aproximamos do centro da Terra.

Esta tabela resume assim os conhecimentos actuais acerca dos valores, no interior da Terra, das grandezas indicadas, procurando-se aperfeiçoá-los à medida que vão melhorando os dados referentes às velocidades de propagação das ondas  $P$  e  $S$ .

As investigações teóricas referentes ao estado físico em que se encontra a matéria, tanto no envólucro como no núcleo, também têm grande importância para o melhor conhecimento das grandezas acima tabuladas.

R. O. VICENTE