

ALTERAÇÃO DE TEMPERATURA DO SOLO ASSOCIADA A VARIAÇÕES DE INTENSIDADE DE FONTES INTERNAS

Maria Rosa Duque

mrad@uevora.pt

Universidade de Évora, Rua Romão Ramalho, 59, 7000 Évora, Portugal

1. INTRODUÇÃO

A temperatura medida no solo, abaixo da superfície, resulta das transferências de energia térmica proveniente do Sol, propagando-se por condução até ao ponto onde é feita a medição, e energia térmica proveniente do interior da Terra, propagando-se por condução em sentido oposto. Iremos falar apenas desta última transferência de energia.

As fontes térmicas no interior da Terra são essencialmente energia proveniente de zonas mais internas, relacionada com o processo de formação e desenvolvimento do planeta e fontes radioativas (^{235}U , ^{238}U , ^{232}Th e ^{40}K) que se localizam principalmente nas camadas mais externas (crusta).

Iremos considerar como épocas de referência do nosso estudo a época atual (época do *Homo Sapiens*) e a época dos *Australopithecus* que ocorreu a aproximadamente 4 milhões de anos.

2. DIMINUIÇÃO SECULAR DO FLUXO DE CALOR DO MANTO

A diminuição secular do fluxo de calor proveniente do manto pode ser estudada através de uma expressão do tipo

$$Q_m(t) = Q_{mo} e^{(-\alpha t)} \quad (1)$$

Sendo t o intervalo de tempo considerado desde o instante inicial e α é a constante de decaimento. No nosso estudo iremos considerar $\alpha = 3 \times 10^{-9}$ anos (Jaupart e Mareschall, 2011).

Analisando esta expressão podemos concluir que, há aproximadamente 1×10^9 anos o fluxo de calor proveniente do manto seria aproximadamente o dobro do que é atualmente.

Na litosfera continental espessa, a escala de tempo para o transporte de calor é da ordem das meias vidas do Urânio Tório e Potássio, e, portanto, as temperaturas não estão em equilíbrio com a taxa instantânea de geração na fonte. Por este facto, a espessura da litosfera é um fator muito importante quando se estuda a propagação das perturbações de temperatura.

Na tabela 1 são apresentados dados correspondentes a diferentes épocas associadas ao aparecimento de diferentes antecessores do *Homem Sapiens*.

TABELA 1. Variação secular do fluxo do manto, considerando valores atuais de 25 e 30 mW m⁻²

Δt (anos)	Espécie	$Q_m = 25 \text{ mW m}^{-2}$	$Q_m = 30 \text{ mW m}^{-2}$
13×10^6	Primeiros primatas	25,99	31,19
4×10^6	Australopithecus	25,30	30,36
3×10^5	Homo Sapiens	25,02	30,03

3. DIMINUIÇÃO DAS FONTES RADIOATIVAS NA CRUSTA

A distribuição de fontes de calor na crosta é muito difícil de obter devido a problemas de heterogeneidade química, dimensão de grãos, tipos de fronteira, etc. Na TABELA 2 encontram-se os isótopos radioativos considerados no estudo das fontes térmicas, as suas meias-vidas e o calor associado ao decaimento dos isótopos radioativos considerados. A produção atual de calor devida ao decaimento destes isótopos numa dada amostra de rocha, pode obter-se por (Jaupart and Mareschall, 2011)

$$H = 10^{-11} (9,52 [U] + 2,56 [\text{Th}] + 3,48 [K]) \quad (2)$$

sendo $[U]$ e $[\text{Th}]$ as concentrações do Urânio e Tório, em p.p.m. e $[K]$ é a concentração do Potássio, em %. A produção de calor por unidade de volume da rocha obtém-se multiplicando H por ρ (a densidade da rocha).

5. REFERÊNCIAS

- Jaupart, C. and Mareschal, J.-C. "Heat Generation and Transport in the Earth" Cambridge University Press, pp. 357-378, 2011.
- Rybach, L., 1988. Determination of heat production rate. Pages 125-142 of: Haenel, R., Rybach, L. and Stegena, I. (eds) *Handbook of Terrestrial Heat Flow Density Determination*, Kluwer (Netherlands)

TABELA 2. Principais isótopos radioativos existentes na Terra, meias vidas e produção de calor por unidade de massa de isótopo (Rybach, 1988)

Isótopo	Meia-vida (anos)	Produção de calor por unidade de massa (W/ Kg)
^{238}U	$4,46 \times 10^9$	$9,17 \times 10^{-5}$
^{235}U	$7,04 \times 10^8$	$5,75 \times 10^{-4}$
^{232}Th	$1,40 \times 10^{10}$	$2,56 \times 10^{-5}$
^{40}K	$1,26 \times 10^9$	$2,97 \times 10^{-5}$

3.1 EXEMPLO 1

Os valores obtidos numa amostra são:

$$U = 6,12 \text{ p.p.m.}; \text{Th} = 23,43 \text{ p.p.m.}; \text{K} = 4,04 \%$$

A geração atual de calor e a gerada há 4 milhões de anos para densidades de rocha de 2700 e 2800 Kg / m³ são:

Δt (anos)	Calor gerado (W / Kg)	Calor gerado ($\mu\text{W} / \text{m}^3$) $\rho = 2700 \text{ Kg} / \text{m}^3$	Calor gerado ($\mu\text{W} / \text{m}^3$) $\rho = 2800 \text{ Kg} / \text{m}^3$
0	$132,32 \times 10^{-11}$	3,573	3,705
4×10^6	$132,56 \times 10^{-11}$	3,579	3,712

3.2 EXEMPLO 2 – Modelo de crosta média

Crusta superior – Espessura 12 Km – Densidade 2700 Kg / m³

$$[U] = 2,7 \text{ p.p.m.}; [\text{Th}] = 10,5 \text{ p.p.m.}; [K] = 2,33 \%$$

Δt (anos)	Calor gerado (W / Kg)	Calor gerado ($\mu\text{W} / \text{m}^3$)	Fluxo gerado na crosta (mW / m ²)
0	$60,712 \times 10^{-11}$	1,639	19,668
4×10^6	$60,751 \times 10^{-11}$	1,643	19,716

Crusta média- Espessura 11 Km – Densidade 2850 Kg / m³

$$[U] = 1,3 \text{ p.p.m.}; [\text{Th}] = 6,5 \text{ p.p.m.}; [K] = 1,92 \%$$

Δt (anos)	Calor gerado (W / Kg)	Calor gerado ($\mu\text{W} / \text{m}^3$)	Fluxo gerado na crosta (mW / m ²)
0	$35,697 \times 10^{-11}$	1,017	11,191
4×10^6	$35,723 \times 10^{-11}$	1,018	11,198

Crusta inferior - Espessura 17 Km – Densidade 2850 Kg / m³

$$[U] = 0,2 \text{ p.p.m.}; [\text{Th}] = 1,2 \text{ p.p.m.}; [K] = 0,5 \%$$

Δt (anos)	Calor gerado (W / Kg)	Calor gerado ($\mu\text{W} / \text{m}^3$)	Fluxo gerado na crosta (mW / m ²)
0	$6,751 \times 10^{-11}$	0,192	3,264
4×10^6	$6,757 \times 10^{-11}$	0,193	3,281

Fluxo gerado em toda a crosta – 34,123 mW / m² - 34,195 mW / m²

Fluxo gerado crosta+ manto – (25+34,123) mW / m² - (25,3+34,195) mW / m²

Diferença entre valores – 0,372 mW / m²

Se considerarmos uma camada de ar com 5 cm de espessura, junto ao solo num dia sem vento, este aumento de fluxo seria responsável por um aumento de temperatura de cerca de 0,3 ° C.

4. CONCLUSÕES

-- Os resultados obtidos permitem-nos deduzir que, no passado, as fontes de calor na crosta teriam sido mais elevadas que as actuais originando temperaturas mais elevadas na crosta.

-- O conteúdo e distribuição heterogénea das fontes de calor faz com que seja difícil determinar com rigor a influência da sua variação.

-- Os valores das variações a nível do fluxo do manto são relativamente elevados mas o intervalo de tempo necessário para se propagarem na crosta faz com que seja difícil obter o seu valor à superfície numa época definida.

-- O exemplo apresentado permite-nos concluir que as camadas de ar junto ao solo principalmente em dias sem vento, sofreriam aquecimento passível de alterar a sua densidade.