

INÉRCIA TÉRMICA DE ROCHAS OBSERVADA NO INFRAVERMELHO TERMAL

ADMILSON P. PACHÊCO¹
ICARO VITORELLO²

¹ Universidade Federal Fluminense - Instituto De Geociências
Caixa Postal 107061, 24251-970 Niteroi , RJ, Brasil

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Dept. de Geofísica Espacial
Caixa Postal 515, 12201-970 São José dos Campos , SP, Brasil

Abstract. Thermal inertias of rocks were determined in laboratory by transient heating observed in the thermal infrared (8 - 12 μm). The model is based on the mathematic solution for a semi-infinite solid subjected, to a linear flow of heat. The resulting increase in surface temperature is used in the determination of the thermal inertia, when the temperature behaviour of the sample is compared to that of a standard (fused silica). Measurements of the components that constitute the thermal inertia (conductivity, density and specific heat) were used in the evaluation of the determined thermal inertia. A test on the reliability of the determinations was done on samples that are isotropic, of smooth face, and of low porosity. The results present variations in the order of 10% and errors of less than 8%.

1. INTRODUÇÃO

A variação de temperatura da superfície de um meio-espaço homogêneo, periodicamente aquecido, é dependente de uma única propriedade térmica denominada inércia térmica (Carslaw e Jaeger, 1959). A inércia térmica é uma propriedade de volume que fisicamente indica a resposta térmica do material à uma variação de fluxo de calor incidente sobre sua superfície, e está relacionada com a resistência do material a mudanças de temperatura.

Para materiais homogêneos a inércia térmica (P) é dada por $P = (\rho ck)^{1/2}$, onde ρ é a densidade, c é o calor específico e k é a condutividade térmica. As rochas, na sua maioria, apresentam valores de inércia térmica que variam entre 2000 e 4000 $\text{Wm}^{-2} \text{K}^{-1} \text{s}^{1/2}$ (Janza, 1975; Majumdar & Bhattacharya, 1990). As primeiras estimativas de inércia térmica obtidas a partir de dados sensoriados remotamente no infravermelho termal foram adquiridas na superfície da Lua (Jaeger, 1953). Estudos da inércia térmica da Lua e de planetas têm fornecido subsídios teóricos e quantitativos para o estudo da inércia térmica na superfície terrestre. Watson (1971; 1975) adaptou os modelos numéricos desenvolvidos para estudos lunares em aplicações terrestres. Estes estudos desencadearam uma série de trabalhos de sensoriamento remoto aplicado à geologia, onde a inércia térmica é utilizada como técnica para mapeamentos geológicos, com ênfase principalmente na exploração mineral.

Observações radiométricas no infravermelho termal, obtidas em laboratório e campo, podem ser utilizadas na determinação da inércia térmica de materiais da superfície terrestre, o que pode favorecer as aplicações de Sensoriamento Remoto no infravermelho termal.

Este trabalho tem como objetivo avaliar um método de determinação de inércia térmica de rochas através da observação da temperatura de radiação na faixa espectral de 8 a 12 μm , em laboratório.

2. FUNDAMENTOS

O modelo teórico fundamenta-se na solução da equação diferencial de fluxo calor na superfície de um sólido semi-infinito submetido a aquecimento constante durante um intervalo de tempo pré-definido. O método envolve, de uma maneira geral, o aquecimento simultâneo de uma amostra e de um padrão, com energia radiante constante sobre uma pequena área da superfície de cada sólido, com dimensões apropriadas para serem considerados corpos semi-infinitos durante o curto período de aquecimento. A comparação entre as variações de temperaturas de radiação do padrão e da amostra, monitoradas com um radiômetro infravermelho, fornece a inércia térmica da amostra. Para tanto, é necessário que as emissividades destes materiais sejam determinadas e que o padrão tenha inércia térmica conhecida. Este cálculo é baseado nas seguintes suposições:

a) a composição química dos materiais (amostra e padrão) é homogênea; b) a densidade de fluxo de calor é constante e igual para cada material; c) os materiais são considerados corpos semi-infinitos (Marsh et al. 1982). Isto nos permite modelar a inércia térmica da amostra a partir de uma equação adaptada de Carslaw & Jaeger (1959) e Schultz (1968), na seguinte forma:

$$P_a = (\Delta T_b / \Delta T_a) P_b (\varepsilon_a / \varepsilon_b), \quad (1)$$

onde P_a é a inércia térmica da amostra, P_b é a inércia térmica do padrão, ΔT_b é a variação de temperatura do padrão, ΔT_a a variação de temperatura da amostra, ε_a é emissividade da amostra e ε_b é a emissividade do padrão.

3. APARATO E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O procedimento experimental de determinação (radiométrica) da inércia térmica estabelecido neste estudo exigiu a construção de um aparato instrumental constituído de: a) um transformador de potência compatível para uso em laboratório e campo; b) dois irradiadores térmicos à base de resistências de NiCr (Níquel Cromo) de 2,5 Ohms; c) um radiômetro infravermelho modelo PRT-5 com faixa espectral de operação de 8 a 12 μm e ângulo de visada nominal de 2 graus; d) uma aproximação de corpo negro na forma de uma cavidade cônica de alumínio, utilizada na adaptação experimental do modelo, e como suporte de isolamento do alvo das irradiâncias do ambiente circunvizinho.

O procedimento experimental fundamentado em leituras radiométricas realizadas com sistema Radiômetro / Cavidade Cônica de alumínio posicionadas sobre os alvos (amostra e padrão), antes e depois do aquecimento por 10 segundos. As emissividades de ambos os alvos são determinadas em experimentos separados a partir do método da Caixa dos Planos Infinitos. Este método foi desenvolvido por Buettner e Kern (1965) e adaptado por Pachêco (1989).

A inércia térmica do padrão (P_b) é calculada a partir de determinações de seus componentes: condutividade térmica (k), densidade (ρ) e calor específico (c). Utilizou-se os métodos da Barra Dividida, relação Massa/Volume e Misturas, para as determinações k , ρ e c , respectivamente.

Maiores informações sobre a metodologia abordada encontra-se em Pachêco (1995).

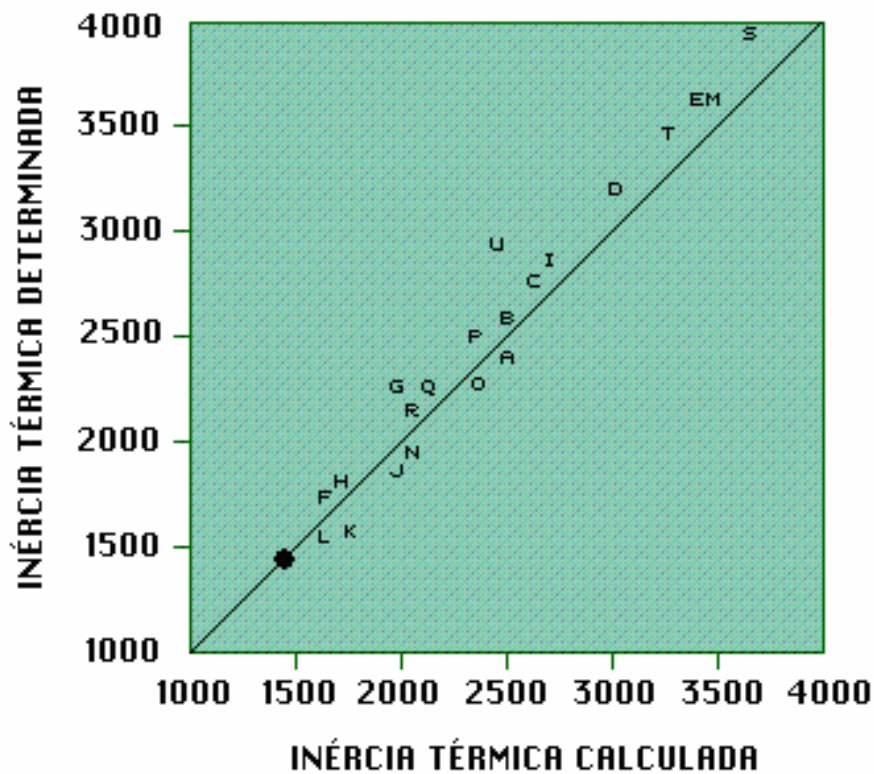
4. RESULTADOS

Resultados foram obtidos em amostras sólidas de diferentes tipos de rochas. Utilizou-se como padrão uma amostra de sílica fundida com inércia térmica (calculada) de $1463 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1} \text{ s}^{1/2}$. Os dados da Figura 1 e Tabela 1 mostram a confiabilidade dos resultados a partir da comparação entre a inércia térmica determinada neste experimento e a inércia térmica calculada a partir de valores de seus componentes (condutividade térmica, densidade e calor específico). As determinações mais precisas foram obtidas em amostras isotrópicas, de baixa porosidade e com superfícies lisas. De uma maneira geral constatou-se que o coeficientes de variação das determinações ficaram em torno de 10% e que os erros percentuais, relativos aos valores calculados, foram menores que 8%. Constatou-se que a precisão e acurácia da técnica depende de fatores tais como: o tipo de padrão utilizado, irradiância ambiental, rugosidade superficial, porosidade, anisotropia e granulometria. Experimentos realizados separadamente com o objetivo de avaliar individualmente a influência dos fatores acima citados confirmaram as variações dos dados mostrados na Tabela 1. O limite de erros nos dados está associado a erros aleatórios relacionados com a imprecisão de 0,5 K nas leituras radiométricas e a erros sistemáticos devido aos irradiadores térmicos.

Constatou-se que é necessário apenas um irradiador térmico, visto que a presença de dois irradiadores introduz erros aleatórios relacionados com o tempo de aquecimento e leituras radiométricas.

Acredita-se que a técnica avaliada neste estudo possa ser aplicada com sucesso em futuras determinações de inércia térmica em campo.

Os autores agradecem ao Instituto de Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo (IAG/USP) pelo fornecimento das amostras de rochas e ao Departamento de Física Experimental da Universidade Federal Fluminense (UFF) pelo apoio instrumental nas medidas de calor específico.



- | | | |
|--------------------|---------------------|-----------------------|
| A - GRANITO | B - PEGMATITO | C - SIENTO |
| D - GABRO | E - PERIDOTITO | F - RIOLITO |
| G - ANDESITO | H - DACITO | I - NORITO |
| J - ARENITO | K - RITIMITO | L - DIAMECTITO |
| M - DOLOMITO | N - FOLHELHO | O - MIGMATITO |
| P - MILONITO | Q - ANFIBOLITO | R - GRANULITO |
| S - QUARTZITO | T - XISTO QUARTZOZO | U - GNAISSE GRANÍTICO |
| • - SÍLICA FUNDIDA | | |

Figura 1 — Diagrama comparativo entre a inércia térmica determinada e calculada em amostras ígneas, sedimentares e metamórficas (Dados da Tabela 1).

TABELA 1 - Resultados de inércia térmica determinada e inércia térmica calculada obtidos em amostras de rochas ígneas, sedimentares e metamórficas.

| AMOSTRA | INÉRCIA TÉRMICA DETERMINADA (Wm ⁻² K ⁻¹ s ^{1/2}) | INÉRCIA TÉRMICA CALCULADA (Wm ⁻² K ⁻¹ s ^{1/2}) |
|-------------------|--|--|
| GRANITO | 2307 ± 224 | 2369 ± 197 |
| PEGMATITO | 2505 ± 240 | 2564 ± 99 |
| SIENITO | 2800 ± 260 | 2718 ± 124 |
| GABRO | 3100 ± 279 | 3014 ± 162 |
| PERIDOTITO | 3547 ± 375 | 3406 ± 185 |
| RIOLITO | 1704 ± 188 | 1676 ± 115 |
| ANDESITO | 2145 ± 206 | 2084 ± 133 |
| DACITO | 1758 ± 185 | 1720 ± 77 |
| NORITO | 2866 ± 289 | 2776 ± 139 |
| ARENITO | 1852 ± 295 | 2030 ± 96 |
| RITMITO | 1500 ± 227 | 1760 ± 75 |
| DIAMECTITO | 1447 ± 174 | 1463 ± 59 |
| DOLOMITO | 3551 ± 356 | 3412 ± 171 |
| FOLHELHO | 1972 ± 197 | 2075 ± 106 |
| MIGMATITO | 2170 ± 297 | 2318 ± 91 |
| MILONITO | 2406 ± 296 | 2291 ± 113 |
| ANFIBOLITO | 2160 ± 212 | 2186 ± 72 |
| GRANULITO | 2028 ± 183 | 2075 ± 112 |
| QUARTZITO | 3929 ± 446 | 3735 ± 192 |
| GNAISSE GRANÍTICO | 2857 ± 502 | 2483 ± 100 |
| XISTO QUARTZOZO | 3415 ± 380 | 3237 ± 181 |
| SILÍCA FUNDIDA | 1447 ± 111 | 1463 ± 37 |

REFERÊNCIAS

- BUETTNER, K. J. & KERN, C. D. The determination of infrared emissivities of terrestrial surfaces. *Journal of Geophysical Research*, 70 (6): 1329-1337, 1965.
- CARSLAW, H. S. & JAEGER, J. C. *Conduction of Heat in Solids*. Oxford Press, London, 1959, 510p.
- JANZA, F. J. Interaction mechanisms, IN REEVES, R.G., ed. *Manual of remote sensing*: Falls Church, VA, American Society of Photogrammetry, p. 75-180, 1975.
- JAEGER, J. C. Pulsed surface heating of a semi-infinite solid. *Quart. Appl. Math.*, 11: 132-137, 1953.
- MAJUMDAR, T. J. & BHATTACHARYA, B. B. Simulation on thermal inertia with daytime HCMM data. *Int. J. Remote Sensing*, 11 (1): 139-147, 1990.
- MARSH, S. E., SCHIELDGE, J. P. & KAHLE, A. B. An instrument for measuring thermal inertia in the field. *Photogrammetric Eng. Rem. Sens.*, 48 (4): 605-607, 1982.
- PACHÊCO, A. P. Análise de métodos de determinação de emissividade para alvos da superfície terrestre, na faixa espectral de 8 a 14 μm . *Dissertação de mestrado, INPE*, São José dos Campos, (INPE - 4984 - TDL / 394). 1989, 155p.
- PACHÊCO, A. P. *Parâmetros térmicos de rochas por aquecimento transiente observado no infravermelho termal (8 a 12 μm)*. Tese de Doutorado, USP/IAG, São Paulo, 1995, 149p.
- SCHULTZ, A. W. An infrared transient method for determining the thermal inertia, conductivity, and diffusivity of Solids. *Applied Optics*, 7 (9): 1845-1851, 1968.
- WATSON, K. A computer program of thermal modeling for interpretation of infrared images: Rep. PB 203578, *U.S. Geological Survey*, Washington, D.C., 1971, 33 p.
- WATSON, K. A. Periodic heating of a Layer over a semi-infinite solid. *J. Geophys. Res.*, 78: 5904-5910, 1973.