

CONDUÇÃO DE CALOR EM REGIME TRANSIENTE: INTRUSÕES ÍGNEAS

TAMIRES BOJJIS DA COSTA¹; MARCELO SCHRAMM²; CLÁUDIO PETERSEN³

¹Universidade Federal de Pelotas – tamires.bojjis@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – schrammmarcelo@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – claudiopetersen@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

O efeito térmico das intrusões ígneas nas rochas adjacentes tem sido amplamente investigado em diferentes contextos geológicos. Vários modelos de fluxo de calor foram desenvolvidos a fim de obter a evolução térmica dessas rochas durante o resfriamento de intrusões magmáticas e, posteriormente aplicado à exploração e avaliação de recursos minerais.

Portanto, o conhecimento do gradiente de temperatura é primordial nos estudos de distribuição de calor através de meios como a crosta ou o manto terrestre. Apesar de em casos de grandes e espessos corpos magmáticos ou de seções que incluem os mantos litosférico e astenosférico terrestres, o mecanismo de convecção e radiação possui um expressivo papel no processo de transferência de energia. Entretanto, na maioria das situações geológicas, a condução é o mais importante mecanismo no processo de distribuição de calor.

Este trabalho apresenta o processo de evolução da temperatura em uma soleira com 100 metros de espessura considerando apenas a transferência de calor por condução, baseado no modelo descrito por GALUSHKIN (1997).

Vale ressaltar que o modelo desenvolvido no presente trabalho é um modelo simplificado, que não leva em consideração a influência dos dissipadores de calor dos quais são: a evaporação da água nos poros, a desidratação e decarbonização.

2. METODOLOGIA

2.1 MODELAGEM TÉRMICA

O caso discutido no presente trabalho aborda uma soleira básica com 100 metros de espessura localizada a 300 metros abaixo da superfície da bacia sedimentar. Os parâmetros físicos utilizados são descritos a seguir: a temperatura inicial do magma e das rochas adjacentes é $T_m = 1423\text{ K}$, $T_h = 348\text{ K}$; condutividade térmica da matriz da rocha encaixante, do magma fundido e do magma solidificado ($k_h = 3\text{ J/m}^3\text{K}$, $k_m = 2.1\text{ J/m}^3\text{K}$, $k_s = 2.1\text{ J/m}^3\text{K}$); massa específica da encaixante, do magma fundido e do magma sólido ($\rho_h = 2400\text{ Kg/m}^3$, $\rho_m = 2600\text{ Kg/m}^3$, $\rho_s = 2600\text{ Kg/m}^3$); calor específico da encaixante, do magma fundido e solidificado ($c_h = 820\text{ Kg/K}$, $c_m = 850\text{ Kg/K}$, $c_s = 820\text{ Kg/K}$); a temperatura do magma quando este se encontra totalmente solidificado ($T_s = 1223\text{ K}$) e o calor latente de fusão ($L = 320\text{ KJ/Kg}$).

A partir do emprego da equação da condução de calor, começamos a expressar as mudanças de temperatura (T) ocorridas na intrusão e nas rochas

adjacentes de acordo com a posição (z) e o tempo (t). Em relação ao magma a equação da condução de calor é expressa como,

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(k_{\text{magma}} \frac{\partial T_{\text{magma}}}{\partial z} \right) = \frac{\partial (\rho_{\text{magma}} c_{\text{magma}} T_{\text{magma}})}{\partial t} + \frac{\rho_{\text{magma}}}{L_2 - L_1} \frac{\partial T_{\text{magma}}}{\partial t} \quad (1)$$

E para a rocha hospedeira:

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(k_{\text{host}} \frac{\partial T_{\text{host}}}{\partial z} \right) = \frac{\partial (\rho_{\text{host}} c_{\text{host}} T_{\text{host}})}{\partial t} \quad (2)$$

Como a intrusão e o resfriamento de corpos intrusivos são essencialmente um evento instantâneo em uma escala de tempo geológico, o método numérico adotado para a resolução da equação diferencial parcial foi o método de diferenças finitas (MDF).

De acordo com GALUSHKIN (1997), a temperatura inicial das rochas hospedeiras é calculada com base na temperatura da superfície, do gradiente geotérmico e da profundidade de deposição. Neste caso, foi suposto que a temperatura inicial das rochas adjacentes é igual à temperatura da superfície da bacia. E a temperatura das rochas hospedeiras nos limites do modelo é especificada para ser constante durante o resfriamento da soleira (WANG et al. 2012).

A condutividade térmica e a densidade de intrusões ígneas básica variam apenas ligeiramente com a temperatura (Wang et al. 2010). Portanto, o calor específico c_p e a massa específica da matriz das rochas adjacentes ρ_h foram definidos para serem iguais aos valores médios da maioria das rochas.

Para as condições iniciais, foi utilizada uma variação linear entre a profundidade inicial e final da bacia sedimentar exceto na intrusão, onde a temperatura inicial da rocha adjacente é considerada a mesma temperatura inicial do magma,

$$T \Big|_{t=0} = T_s + \frac{T_f - T_s}{z_f} z \quad (3)$$

Em relação à mudança de fase que ocorre no interior da intrusão, os parâmetros foram calculados a partir da média aritmética ponderada pela fração de líquido. Quando a temperatura está entre as temperaturas do magma 100% sólido e 100% líquido, significa que o mesmo está em processo de mudança de fase.

Ou seja, se a temperatura avaliada for menor que a temperatura de cristalização do magma, $T < T_s$, o magma está solidificado; se a temperatura for maior que a temperatura do magma fundido, $T > T_m$, o magma encontra-se no estado líquido.

Determinado o estado físico do magma em cada ponto da intrusão, obtemos a condutividade térmica k_i e a massa específica ρ_i , assim como, o calor específico c_i .

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

É possível observar no gráfico abaixo (Figura 1) que em determinadas posições que o magma e a rocha encaixante mantiverem suas temperaturas iniciais, a temperatura no contato permanecerá constante, pois, no contato, a derivada segunda é igual a zero. E ao longo do tempo, não restará nenhum ponto dentro da intrusão com a temperatura inicial do magma.

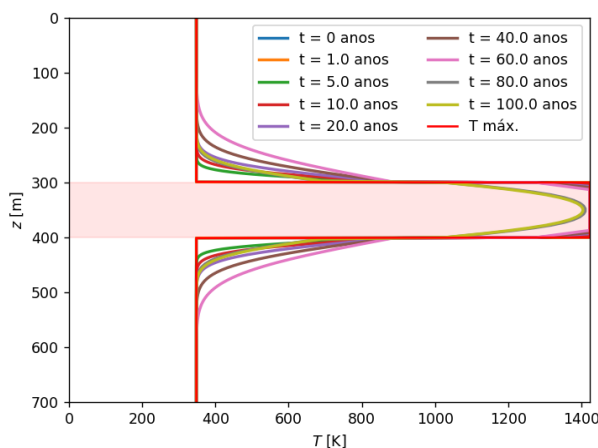


Figura 2. Variação da temperatura com a profundidade.

4. CONCLUSÕES

Após a realização e análise dos modelos numéricos transientes de fluxo térmico por condução é possível tecer algumas conclusões quanto aos resultados obtidos.

A técnica de simulação pelo método de diferenças finitas em ambiente PYTHON, mostrou-se bastante favorável para a implementação do algoritmo numérico, representativo da equação física de fluxo térmico por condução. Os resultados obtidos foram bastante satisfatórios, mesmo com os modelos numéricos possuindo um nível de discretização relativamente baixo.

O algoritmo numérico construído neste trabalho permite a inclusão e modificação de diversos parâmetros de entrada e condições iniciais, assim como a discretização mais detalhada de um modelo geológico. Desta maneira, se torna possível o estudo do comportamento térmico das rochas encaixantes para o caso da injeção de inúmeras soleiras, em tempos diferentes.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GALUSHKIN, Y.I. **Thermal effects of igneous intrusions on maturity of organic matter: a possible mechanism of intrusion.** *Organic Geochemistry* (11–12), v.26, p. 645–658, 1997.

WANG, D., LU, X., ZHANG, X., XU, S., HU, W., WANG, L., 2007. **Heat-model analysis of wall rocks below a diabase sill in Huimin Sag, China compared**

with thermal alteration of mudstone to carbargilite and hornfels and with increase of vitrinite reflectance. *Geophysical Research Letters* 34, L16312. doi:10.1029/2007GL030314.

WANG, D., LU, X., XU, S., HU, W., 2008. **Comment on “Influence of a basic intrusion on the vitrinite reflectance and chemistry of the Springfield (No. 5) coal, Harrisburg, Illinois” by Stewart et al. (2005).** *International Journal of Coal Geology* 73, 196–199.

WANG, D., LU, X., SONG, Y., SHAO, R., QI, T. **Influence of the temperature dependence of thermal parameters of heat conduction models on the reconstruction of thermal history of igneous-intrusion-bearing basins.** *Computers & Geosciences* v. 36, p. 1339–1344, 2010.

WANG, D., SONG, Y., LIU, W., ZHAO, M., QI, T., 2011a. **Numerical investigation of the effect of volatilization and the supercritical state of pore water on maturation of organic matter in the vicinity of igneous intrusions.** *International Journal of Coal Geology* 87, 33–40.

WANG, K., LU, X., CHEN, M., MA, Y., LIU, K., LIU, L., LI, X., HU, W., 2011b. **Numerical modelling of the hydrocarbon generation of Tertiary source rocks intruded by doleritic sills in the Zhanhua depression, Bohai Bay Basin, China.** *Basin Research* 23, 1–14.

WANG, D., LU, X., SONG, Y., SHAO, R., QI, T. **The influence of igneous intrusions on the peak temperatures of host rocks: Finite-time emplacement, evaporation, dehydration, and decarbonation.** *Computers & Geosciences*, v. 38, p. 99-106, 2012.