

TERMOCRONOLOGIA EM CINTURÕES METAMÓRFICOS: CONCEITOS E APLICAÇÃO NO COMPLEXO COSTEIRO - CINTURÃO RIBEIRA (SP).

Colombo C. G. Tassinari

(Centro de Pesquisas Geocronológicas da Universidade de São Paulo) - ccgtassi@usp.br

José M.U. Munhá

(Departamento de Geologia da Universidade de Lisboa - Portugal)

Coriolano M. Dias Neto

(Centro de Pesquisas Geocronológicas da Universidade de São Paulo)

INTRODUÇÃO

Um dos problemas cruciais na interpretação da influência dos processos tectônicos na evolução P-T-t das rochas metamórficas esta relacionado com a distinção entre a cronologia dos diferentes estágios da evolução do metamorfismo que podem ser caracterizados como eventos termotectônicos significativos, e os eventos que podem efetivamente serem datados por estudos isotópicos. A calibração termocronológica do metamorfismo, que é fundamental para a compreensão dos estágios metamórficos e suas implicações na tectônica crustal, tem permanecido como uma área onde a aplicação da geocronologia parece ser realizada de uma forma bastante simplista.

Cinturões metamórficos tem sido datados em rotina nos últimos 30 anos, embora uma melhor compreensão dos processos envolvidos no metamorfismo e no estabelecimento da temperatura de fechamento dos sistemas isotópicos tenham aumentado, a influência nas datações de alguns fatores controladores dos processos metamórficos continua incerta. Portanto a distinção entre idades isotópicas e idades reais de alguns eventos metamórficos que se pretendem datar, permanece ainda como uma das grandes dificuldades para a aplicação de termocronologia de alta e baixa temperaturas em reconstruções geodinâmicas.

Avanços recentes nas técnicas geocronológicas e nos conhecimentos sobre a difusão de isótopos entre as fases minerais durante processos metamórficos, tem levado um progresso significativo no estabelecimento da caracterização termocronológica do metamorfismo. Neste sentido é objetivo deste trabalho demonstrar o poder interpretativo da aplicação dos conceitos de termocronologia no estabelecimento da evolução geodinâmica dos cinturões metamórficos, exemplificando com rochas do Complexo Costeiro, no segmento central da Faixa de Dobramentos Ribeira em São Paulo. Além disto, pretende também mostrar como alguns fatores intrínsecos a própria rocha e ao metamorfismo afetam o comportamento dos sistemas isotópicos em minerais perante os processos orogênicos.

CONCEITOS

Nos últimos anos a geoquímica isotópica aplicada a caracterização da história térmica das rochas tem sofrido avanços consideráveis tornando a TERMOCRONOLOGIA, definida como a "Avaliação Quantitativa da História de Resfriamento de Terrenos Ígneos e Metamórficos", uma ferramenta importante em estudos tectônicos de cinturões metamórficos.

A termocronologia utiliza o fato de que diferentes sistemas isotópicos, quando aplicados a diferentes fases minerais, possuem diferentes Temperaturas de Bloqueio, que são definidas como "A Temperatura onde a Difusão de Isótopos entre um Mineral e o Ambiente Geoquímico Cessa". Esta Temperatura de Bloqueio, também chamada de Temperatura de Fechamento de Sistemas Isotópicos, tem sido determinada em diferentes minerais por vários autores. Para o sistema Rb-Sr as temperaturas de fechamento do K-feldspato, da albita e da apatita são semelhantes em $500 \pm 50^\circ\text{C}$, enquanto que a da biotita situa-se próximo de $350 \pm 50^\circ\text{C}$. Apesar de não existirem dados experimentais, é aceito que a temperatura de fechamento da muscovita, na cinética difusiva do Sr, é $\sim 200^\circ\text{C}$ mais elevada que da biotita, desta forma $T_{\text{Musc}}(\text{Sr}) \approx 500^\circ\text{C}$ (1,2,3,4). A temperatura de fechamento de granadas, no sistema Sm-Nd, é de aproximadamente, 600°C . (5) Os resultados experimentais sobre o transporte difusivo de Ar (1), em conjunto com determinações empíricas (6), indicam que as idades K-Ar em hornblenda, muscovita e biotita devem corresponder a temperaturas de fechamento de $500 \pm 50^\circ\text{C}$, $\sim 350 \pm 50^\circ$ e $300 \pm 50^\circ\text{C}$, respectivamente.

Como consequência temos que em terrenos metamórficos, onde o processo de arrefecimento for suficientemente lento, será de esperar que os diferentes minerais produzam idades isotópicas distintas, cada uma relativa a um estágio de temperatura. Esta implícito nestas interpretações o entendimento claro da diferença da idade de cristalização e da idade relativa a Temperatura de Bloqueio do mineral para cada caso específico.

Apesar destas temperaturas de fechamento de sistemas isotópicos serem consideradas como absolutas sabe-se, hoje em dia, que elas dependem de alguns fatores que podem modificá-las, algumas vezes substancialmente, produzindo alterações

- Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos 9: 2003: Buzios
- Intern. Symp. on Tectonics (3: 2003: Buzios)

significativas nas idades obtidas. Estes fatores são: Composição Modal da Rochas; Granulometria e Presença de Fluidos Intergranulares.

Termocronologia significa história térmica (Temperatura-tempo, T-t); em metamorfismo a história térmica é frequentemente estabelecida recorrendo à obtenção de isócronas internas em minerais que, pelas propriedades intrínsecas, constituem marcadores temporais característicos dos vários estágios da evolução no espaço Pressão-Temperatura das rochas metamórficas (2, 1, 7, 8). Normalmente, em zonas orogênicas que apresentam resfriamento lento os minerais fecham o sistema em diferentes épocas e seus respectivos pontos analíticos não se alinham nas isócronas minerais Rb-Sr e Sm-Nd. Nestes casos são utilizadas isócronas de dois pontos, envolvendo um par de minerais, que registrará a temperatura de fechamento e a correspondente idade isotópica desse par. A idade isocrônica obtida (definida pelo par mineral considerado) refletirá a temperatura de fechamento do difusor mais lento; ou seja, o processo difusivo cessará quando for atingida a temperatura de fechamento mais elevada (9).

Com relação a granulação é demonstrado que a temperatura de fechamento decresce com a granulação; os resultados mostram que o decréscimo da temperatura de fechamento pode chegar a ~10 %.

Os conceitos de termocronologia podem ser utilizados em tectônica nas estimativas dos seguintes parâmetros: Tempo de Crescimento Crustal; Idade de Processos de Soerguimento; Taxa de Resfriamento de Terrenos Metamórficos; Idade do Início e do Pico de Processos de Fusão Parcial; de Episódios Colisionais e de Magmatismos Relacionados a Espessamento Crustal.

APLICAÇÃO NO COMPLEXO COSTEIRO

Em terrenos metamórficos a utilização moderna da Termocronologia pode ser exemplificada no Complexo Costeiro, em São Paulo, que é constituído por rochas metassedimentares de alto grau metamórfico, intercaladas com rochas anfíbolíticas e intrudidas por corpos de composição granítica de diversas naturezas.

O segmento da Faixa de Dobramentos Ribeira estudado é organizado segundo uma estrutura de cisalhamento dúctil em flor positiva, cujo eixo, que se orienta ENE-WSW, aloja as principais ocorrências dos corpos anfíbolítico, que ocorrem no interior dos predominantes gnaisses kinzigíticos. Os anfíbolitos, com características litoquímicas de toleítos continentais, se cristalizaram em 580 ± 26 Ma (U-Pb SHRIMP). Datações U-Pb (SHRIMP) nos sobrecrecimentos dos cristais detríticos de zircão, que ocorrem nos paragneisses, indicaram a idade de 571 ± 10 Ma (2 σ), interpretada como do evento metamórfico de alto grau, indicando temperaturas da ordem de 700°C.

Os resultados geocronológicos Rb-Sr, em rocha total, nas rochas graníticas e migmatíticas associadas aos terrenos do Complexo Costeiro indicaram idade isocrônica de 633 ± 59 Ma, que corresponde a temperaturas de ~750°C.

Resultados Sm-Nd em rocha total e concentrados de granadas dos paragneisses e pegmatitos indicam idade ao redor de 530 Ma, relacionada a temperatura de 600°C, relativas ao fechamento das granadas neste sistema. Amostras de plagioclásio e de rocha total dos paragneisses, forneceram idades isocrônicas Rb-Sr pouco acima de 500 Ma, correspondendo a uma temperatura de cerca de 550°C.

Os pares plagioclásio-muscovita, de pegmatitos, indicaram idades isocrônicas Rb-Sr próximas de 500 Ma, sendo a temperatura de fechamento da muscovita, neste sistema, de 500°C. O par biotita-apatita (totalidade mineralógica dos biotitos, que ocorrem, como reações de borda, na interface de rochas anfíbolíticas e pegmatitos, interiores aos paragneisses), indicou idade isocrônica Rb-Sr de 488 Ma, que corresponderia a temperatura de 450°C (temperatura de fechamento mais elevada, que, no caso, é a apatita).

O par plagioclásio e biotita dos paragneisses e anfíbolitos forneceram idades Rb-Sr isocrônicas de 480 Ma, relativas ao fechamento das biotitas ao redor de 400°C. Analisadas pelo sistema K-Ar (Tabela C4), As muscovitas dos pegmatitos forneceram idades K-Ar perto de 480 Ma, retratando a época da temperatura de 350°C. Já a biotita do paragneisse e do biotitito forneceu idades K-Ar ao redor de 470 Ma, sugerindo temperatura de 300°C.

O K-feldspato dos pegmatitos forneceram idades K-Ar também da ordem de 470 Ma, indicando temperaturas entre 150 e 200°C.

Estes dados permitem a visualização da história térmica do Complexo Costeiro, na área trabalhada, onde, entre 580 e 480 Ma, as temperaturas passaram, gradualmente, de 750°C para 450°C, configurando uma taxa de resfriamento lenta de 3°C/Ma. Em 480 Ma ocorreu um processo de resfriamento rápido, interpretado como um acentuado soerguimento regional, que coincidiria com a instalação e preenchimento das bacias molássicas Neoproterozóicas-Eopaleozóicas e das seqüências sedimentares iniciais da Bacia do Paraná. Neste sentido os dados obtidos demonstraram a existência de uma orogênese que teve seu pico metamórfico iniciando-se há 630 Ma, permanecendo em temperaturas acima de 450°C por cerca de pelo menos 100 milhões de anos e há 480 -470 Ma teve sua fase de inversão, com soerguimento e resfriamento rápido, atingindo, então, a estabilidade tectônica regional.

REFERÊNCIAS

- [1] Harrison, T.M., Duncan, I.J., McDougall, I. (1985) – Diffusion of ^{40}Ar in biotite: Temperature, pressure and compositional effects. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 49, 2461-2468.
- [2] Jager, E. (1979) – Introduction to geochronology. In: Jager, E. & Hunziker, J.C. (eds), *Lectures in Isotope Geology*, Springer-Verlag (Berlin), pp. 1-12.
- [3] Jenkin, G.R.T., Rogers, G., Fallick, A.E., Farrow, C.M. (1995) – Rb-Sr closure temperatures in bi-mineralic rocks: A mode effect and test for different diffusion models. *Chemical Geology (Isotope Geoscience)*, 122, 227-240.
- [4] Gilotti, B.J. (1991) – Rb and Sr diffusion in alkali feldspars with implications for cooling histories of rocks. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 55, 1331-1343.
- [5] Mezger K.; Essene, E.J.; Halliday, A.N. (1992) - Closure Temperatures of the Sm-Nd system in metamorphic garnets. *Earth Planetary Science letters*, v.113, 397-409.
- [6] Purdy, J.W., Jager, E. (1976) – K-Ar ages on rock-forming minerals from the Central Alps. *Mem. Inst. Geol. Mineral. Univ. Padova*, 30, 1-31.
- [7] Christensen, J.N., Rosenfeld, J.L., DePaolo, D.J. (1989) – Rates of tectonometamorphic processes from rubidium and strontium isotopes in garnet. *Science*, 244, 1465-1469.
- [8] Burton, K.W. O'Nions, R.K. (1991) – High-resolution garnet chronometry and the rates of metamorphic processes. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 107, 649-671.
- [9] Munhá, J.M.U.& Tassinari, C.C.G. (1999) - Modelos de Difusão em termocronologia metamórfica: filosofia e Métodos. *Revista Brasileira de Geociências*, v.29, n.4,593-598.