

0970431



## X SEMANA DE GEOQUÍMICA

## IV CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA

DEDALUS - Acervo - IGC



30900000947

*Actas*



## O VALOR INTERPRETATIVO DOS MÉTODOS RADIOMÉTRICOS EM GEOLOGIA. PERSPECTIVAS FUTURAS

Cordani U.G., Kawashita, K.

Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

### ABSTRACT

In recent years, in addition to the normal progress in all systems employed in geochronology, significant advances occurred, such as the establishment of the Re-Os and to some extent the Lu-Hf methods, the U-Pb dating of single zircon crystals, and the  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  method, by laser extraction in small domains within selected mineral crystals.

The present trends in geochronological research, toward upgrading of the analytical tools, and to employ micro-analyses, will surely remain. Moreover, new technologies, such as the Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS), and perhaps new ones borrowed from analytical Chemistry, or experimental Physics, are likely to be more and more adapted to geochronological research, in the near future.

### INTRODUÇÃO

A partir de fins da década de trinta, quando tornaram-se disponíveis as técnicas de medição de composições isotópicas, através de espectrometria de massas, as datações radiométricas revolucionaram as ciências geológicas. Ao mesmo tempo em que os físicos iam determinando, com precisão cada vez melhor, as constantes de desintegração dos sistemas radioativos, medidas efetuadas com a devida precisão entre pares de isótopos "radioativo-radiogênico" através da técnica de diluição isotópica permitiam datações de minerais e rochas, situando eventos no tempo geológico de uma maneira precisa, como nunca antes. Trataremos aqui dos métodos geocronológicos utilizados para toda a escala de tempo geológico, baseados em sistemas naturais, com exceção daqueles métodos cobertos pela geocronologia do Quaternário ( $^{14}\text{C}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{234}\text{U}$ , etc.)

Em princípio, todos os nuclídeos radioativos de meia-vida longa, da mesma ordem de grandeza do tempo geológico, podem ser empregados em geocronologia (v. por ex. Faure, 1986). São eles os dois isótopos do Urânio (235 e 238), o isótopo 40 do Potássio, o isótopo 87 do Rubídio, o isótopo 232 do Tório, o isótopo 147 do Samário, o isótopo 187 do Rênio e o isótopo 176 do Lutécio. Na prática, o baixo teor de diversos destes elementos nos materiais geológicos (Sm, Lu, Re), além de outras dificuldades tecnológicas, tornavam inviável o desenvolvimento adequado das respectivas metodologias.

Durante as três ou quatro décadas seguintes, até os anos 70, foram desenvolvidos alguns métodos de datação radiométrica, relativos aos nuclídeos presentes em quantidade significativa em muitos minerais (U-Th-Pb, K-Ar, Rb-Sr), com aplicações crescentes a quase todas as rochas existentes na crosta terrestre (e também em meteoritos). Diversas rotinas analíticas foram estabelecidas, e os avanços tecnológicos, tanto na parte química (laboratórios superlimpos) como na parte espectrométrica (resolução de medidas precisas de razões isotópicas), permitiram o estabelecimento de novas técnicas e interpretações, aprimorando a utilização da geocronologia nas pesquisas geológicas. Basicamente, a melhoria na precisão das medidas espectrométricas (até a quinta decimal!), e a diminuição drástica do nível de contaminação foram fatores determinantes.

Além das aplicações puramente geocronológicas, para a datação de eventos, as variações naturais na composição isotópica dos isótopos radiogênicos do Sr e do Pb foram também

empregadas com grande sucesso nas interpretações da evolução geológica dos materiais a eles relacionados, como indicadores importantes das fontes originais e/ou dos processos de formação ou de evolução das rochas que os continham.

Na década de setenta, com a obtenção das amostras lunares pela NASA, e os incentivos para pesquisas com maior controle analítico, o aprimoramento das técnicas de espectrometria de massas tornou possível o desenvolvimento de outros métodos geocronológicos, como o Sm-Nd e o Lu-Hf, de valor interpretativo diferente. Em especial, o método Sm-Nd mostrou-se extremamente rico para interpretações da evolução dos materiais terrestres, de tal modo que nos últimos anos a determinação da composição isotópica do Nd tornou-se essencial para tais pesquisas, tanto quanto a do Sr e do Pb.

#### METODOLOGIAS CONVENCIONAIS K-Ar, Rb-Sr e Pb-Pb.

Após cerca de 40 anos, desde a sua implantação os métodos K-Ar e Rb-Sr continuam sendo largamente utilizados, tendo em vista a sua aplicação em grande número de minerais e rochas portadores de K e de Rb. Entretanto, são empregados quase que somente nas condições em que é possível uma interpretação direta dos resultados, em termos geológicos.

O método K-Ar é largamente utilizado para regiões vulcânicas jovens (do Cenozóico), com evolução tectonomagnética simples, de sequências de extrusões ou intrusões rasas. Em levantamentos geológicos de reconhecimento, o método se torna útil também para a determinação dos últimos eventos térmicos regionais, característicos da província tectônica em análise. Por outro lado, a partir de 1981 foi desenvolvida uma importante variante do método, descrita mais adiante (método  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ), a qual permite interpretações muito mais sofisticadas.

O método Rb-Sr continua a ser um dos mais empregados em geocronologia, normalmente através de análises em rocha total, e técnicas interpretativas pelo método isocrônico, em amostras cogenéticas. Presentemente, o método é aplicável em quase todos os tipos de rocha, em vista das melhorias tecnológicas alcançadas na parte analítica. Além disso, um de seus parâmetros, a razão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  inicial, tornou-se o indicador genético mais empregado nas pesquisas de geoquímica isotópica sobre quaisquer materiais da crosta terrestre, sejam rochas magmáticas, sedimentares, materiais resultantes de alteração intempérica ou hidrotermal, etc.

Ao mesmo tempo em que a composição isotópica do Pb era analisada para minerais de Pb (galenas), com a interpretação associada da evolução do Pb nos reservatórios terrestres, análises Pb-Pb em rocha total, em amostras regionais, eram tentadas em vários laboratórios especiais. Nestes últimos casos, a dificuldade era manter nos níveis mais baixos possíveis a contaminação laboratorial, em virtude do baixo teor em Pb das amostras. Normalmente, os resultados principais eram apresentados em diagramas isocrônicos similares aos do método Rb-Sr, para amostras consideradas cogenéticas, de onde resultavam também indicadores petrogenéticos, como o parâmetro  $\mu_1$ .

#### METODOLOGIAS DO SISTEMA U-Th-Pb

A vantagem dessas metodologias é a possibilidade de utilizar-se, ao mesmo tempo, resultados de análises de três isótopos radiogênicos do mesmo elemento, o Pb. Normalmente, as datações são efetuadas em minerais contendo U e Th em quantidades razoáveis, e Pb inicial em quantidades muito pequenas, próximas de zero, de modo que praticamente todo o Pb analisado seria radiogênico.

De longe, os melhores minerais para as análises U-Th-Pb são os zircões, minerais ubíquos e muito resistentes a fenômenos de alteração posteriores à sua cristalização. Desde a década de 50, foram aprimoradas as interpretações de datações U-Pb, pela utilização dos gráficos

Concordia, e análises em frações multi-grãos de zircão, retiradas de uma mesma amostra de rocha, quase sempre de caráter granítóide. Por outro lado, foram sendo também acumulados os conhecimentos a respeito da tipologia dos zircões, ficando constatado que, na maioria dos casos, as populações multigrãos retiradas de uma amostra eram heterogêneas, evidenciando origens diversas, e possivelmente idades diferentes de cristalização. Tais evidências levaram ao desenvolvimento de datações em cristais isolados de zircão, durante a década de 70, pelo aprimoramento das metodologias convencionais, em laboratórios químicos "superlimpos", partindo de minúsculas quantidades de material. Posteriormente, a partir da década de 80, apareceram novas metodologias para análises U-Pb em monocrystalais, como descrito adiante.

### AVANÇOS TECNOLÓGICOS RECENTES

Nos últimos anos, além do progresso normal baseado nos conhecimentos de rotina produzidos, e com reflexo nas interpretações geocronológicas, pelo menos quatro direções de pesquisa tiveram avanços significativos:

1 - Melhoria na sensibilidade e precisão dos espectrômetros de massa;

O desenvolvimento tecnológico da espectrometria de massa, com equipamentos multi-coletores, e melhoria no desempenho de análises por ionização térmica convencional (TIMS) ou utilizando íons negativos (NTI-MS), ou ainda ionização por ICP (e.g. Walder e Furuta, 1993; Christensen et al., 1995), permitiu análises precisas da composição isotópica de elementos refratários, como o Hf e o Os, e portanto o estabelecimento das metodologias Lu-Hf, e Re-Os. Além disso, a precisão melhor das análises, já na sexta decimal, já está ensejando a possibilidade de utilização do método K-Ca.

2 - Desenvolvimento de técnicas interpretativas;

Nos últimos anos, destaque deve ser dado ao aprimoramento de diversas técnicas interpretativas para o método Sm-Nd, ligadas ao conhecimento crescente dos processos de diferenciação manto-crosta. No momento, são muito comuns interpretações com base em diagramas correlacionando razões isotópicas do Nd com o do Sr, e em valores de idades modelo  $T_{Dm}$ , obtidos considerando situações de diferenciação a partir de reservatórios de manto empobrecido. Neste último aspecto, idades modelo Re-Os também estão sendo cada vez mais empregadas, para investigar os processos de diferenciação manto-crosta, em especial para o Arqueano (e.g., Lambert et al., 1995).

3 - Datações U-Pb em cristais isolados de zircão;

Em vista do melhor conhecimento existente atualmente a respeito de zircões, de sua tipologia e de seu comportamento em relação a processos de metamictização, e difusão de Pb (através de técnicas de catodoluminescência, por exemplo), análises isotópicas em cristais isolados tornaram-se essenciais para determinadas interpretações. Desta forma, os cristais a serem analisados podem ser escolhidos de acordo com sua tipologia. Os métodos mais utilizados são a evaporação direta dos cristais sobre filamento do espectrômetro de massa, e as análises pelo SHRIMP (Sensitive High Resolution Ion MicroProbe) conforme descrito por Compston e Williams (1984). Este último método permite análises muito rápidas, embora menos precisas do que os métodos químicos normais, de pequenos domínios internos (diâmetro de 30 microns) dos cristais de zircão, com a vantagem adicional dos melhores sítios destes cristais poderem ser escolhidos para as determinações.

4 - Metodologia  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$

Iniciado há cerca de 30 anos, este método, que utiliza reator nuclear, e não precisa de análise química de K, teve grande desenvolvimento interpretativo nos últimos anos, segundo duas linhas principais. Na primeira, ao aquecer as amostras a serem analisadas por etapas, a técnica

consegue separar frações diferentes de argônio, de modo que as chamadas idades "plateau", obtidas em frações não afetadas por excesso de argônio 40, podem indicar episódios geologicamente significativos. Na segunda, ao aquecer pequenos domínios, com feixe de raios laser, o método consegue selecionar porções especiais de determinados minerais, facilitando as interpretações.

## POTENCIAL DA GEOCRONOLOGIA PARA OS PRÓXIMOS ANOS

Pelo exposto, a tendência dominante, nestes 60 anos de geocronologia, tem sido a de contínuos avanços tecnológicos, no sentido de melhorar precisão e sensibilidade de espectrômetros de massa, únicos equipamentos utilizados nas medições de razões isotópicas de elementos. Ao mesmo tempo foram sendo aperfeiçoadas ao máximo as técnicas de extração, de ataque químico, ou de preparação para as análises espectrométricas. Ao nosso ver, esta tendência deverá continuar nos próximos anos, permitindo interpretações mais confiáveis para os métodos já disponíveis.

Outra tendência é em direção a micro-análises, buscando as melhores condições de controle interpretativo, ao tratar de minerais isolados, ou de pequenos domínios no interior destes, evitando trabalhar com frações heterogêneas, ou com porções de retículo cristalino com evidente alteração, situações que muitas vezes prejudicam as datações.

Finalmente, tecnologias inteiramente novas já estão sendo colocadas à disposição dos pesquisadores, tais como: abrasão com raios laser (e.g., Christensen et al., 1995) e fontes de plasma acopladas diretamente a espectrômetros de massa com multicoletores (ICP-MS). Ainda é muito cedo para verificar o possível desempenho futuro de tais equipamentos, mas seu potencial é fantástico. As análises podem ser extremamente rápidas, e de precisão similar às obtidas em equipamentos tradicionais de ionização térmica, para os elementos visados normalmente (Sr, Nd, Pb), mas com possibilidades de obtenção de análises de precisão sem precedentes, no caso de elementos refratários e de elevado potencial de ionização, tais como Hf, Os, e outros.

O campo ainda está aberto a novas idéias, e a geocronologia poderá beneficiar-se expressivamente dos avanços obtidos pela química analítica instrumental moderna e/ou pela física de partículas. Os exemplos já existentes da utilização de aceleradores lineares (exemplo:  $^{14}\text{C}$ ), na detecção de alguns poucos átomos de determinados elementos (por exemplo as pesquisas com o  $^{10}\text{Be}$ ) mostram o caminho que pode ser seguido no futuro, se tais técnicas se fizerem disponíveis a nível de rotina.

## REFERÊNCIAS

- Christensen, J.N., Halliday, A.N., Lee, D., C., Hall, C.M., 1995 Express Letter: In situ Sr Isotopic analysis by laser ablation. *Earth Plan. Sci. Lett.* 136:79-85.
- Faure, G., 1986 *Principles of Isotopic Geology*. John Wiley & Sons. 589p.
- Lambert, D.D., Shirey, S.B., Bergman, S.C., 1995 Proterozoic lithospheric mantle source for the Prairie Creek lamproites: Re-Os and Sm-Nd isotopic evidence. *Geology* 23:273-276.
- Compston, W., Williams, I.S., 1984 U-Pb geochronology of zircons from lunar breccia 73217 using a sensitive high-mass resolution in ion microprobe. *J. Geophys. Res.* 89, Suplement, B525-534.
- Walder, A.J., Furuta, N., 1993 High-Precision Lead Isotope Ratio Measurement by Inductively Coupled Plasma Multiple Collector Mass Spectrometry. *Analytical Sciences*, 9:675-680.