

IDADES K-Ar DE ROCHAS ALCALINAS DO BRASIL MERIDIONAL E PARAGUAI ORIENTAL: COMPILAÇÃO E ADAPTAÇÃO ÀS NOVAS CONSTANTES DE DECAIMENTO

I.K. Sonoki¹
G.M. Garda²

RESUMO

Uma compilação de 295 dados geocronológicos de 52 ocorrências alcalinas do Brasil Meridional e Paraguai Oriental é apresentada. Estes dados, previamente publicados em sua quase totalidade, foram recalculados, utilizando-se as novas constantes de decaimento recomendadas por STEIGER & JAEGER (1977) para o método K-Ar. Indica-se, também, a estimativa do erro analítico da idade, determinada em função das condições experimentais (COX & DALRYMPLE 1967).

O presente trabalho visa, especificamente, compatibilizar as idades publicadas anteriormente a 1977 com os dados mais recentes, permitindo, por exemplo, comparações entre idades de um mesmo maciço alcalino ou de maciços alcalinos vizinhos.

Ao se calcular a idade K-Ar utilizando-se as constantes de STEIGER & JAEGER (op. cit.) ocorre um acréscimo de 2,1 a 2,4% no valor da idade calculada pelas constantes anteriores.

ABSTRACT

A compilation of 295 geochronological data of 52 alkaline occurrences from Southern Brazil and Eastern Paraguay is presented. These data, mostly available in previous publications, were recalculated, using the new decay constants recommended by STEIGER & JAEGER (1977) for the K-Ar method. The estimated analytical error of the age determined using experimental parameters is also indicated (COX & DALRYMPLE, 1967).

This paper aims, specifically, at making ages published prior to 1977 compatible with recent data, allowing, for example, comparisons between ages obtained from a single alkaline massif or from neighbouring massifs.

By calculating K-Ar ages using the constants recommended by STEIGER & JAEGER (op. cit.), there occurs an increase of 2.1 to 2.4% in the value of the age calculated with the previous constants.

INTRODUÇÃO

O cálculo da idade K-Ar de um material (mineral ou rocha total) é feito, segundo FAURE (1977), através da equação (1):

¹Centro de Pesquisas Geocronológicas, IG/USP.

²Pós-graduanda - Departamento de Mineralogia e Petrologia, IG/USP.

$$T = \frac{1}{\lambda} \ln \left(1 + \frac{\lambda}{\lambda_e} \frac{{}^{40}\text{Ar}_{\text{Rad}}}{{}^{40}\text{K}} \right) \quad (1)$$

onde: T = idade do material (mineral ou rocha)

λ = constante de decaimento total = $\lambda_e + \lambda_\beta$

λ_e = constante de decaimento do ${}^{40}\text{K}$ a ${}^{40}\text{Ar}$

λ_β = constante de decaimento do ${}^{40}\text{K}$ a ${}^{40}\text{Ca}$

${}^{40}\text{K}$ = concentração de potássio radioativo no material

${}^{40}\text{Ar}_{\text{Rad}}$ = concentração de argônio radiogênico no material

Como pode ser observado na equação (1), T é função dos dados experimentais ${}^{40}\text{Ar}_{\text{Rad}}$ e ${}^{40}\text{K}$. O ${}^{40}\text{Ar}$ é extraído da amostra (mineral ou rocha) e medido pelo método da diluição isotópica, que é realizada adicionando-se uma determinada quantidade de ${}^{38}\text{Ar}$ ("spike" ou traçador isotópico) ao ${}^{40}\text{Ar}$ da amostra. A composição isotópica da mistura resultante é medida de forma estática por espectrometria de massa. Deste resultado deve ser subtraído o ${}^{40}\text{Ar}$ atmosférico contaminante, obtendo-se o ${}^{40}\text{Ar}$ radiogênico. O potássio total presente na amostra (aqui referido como K) é medido por fotometria de chama. Conhecendo-se a razão ${}^{40}\text{K}/\text{K}$, que é a porcentagem de ${}^{40}\text{K}$ na quantidade total de potássio natural, calcula-se ${}^{40}\text{K}$. (Para maiores detalhes sobre técnicas analíticas, consultar DALRYMPLE & LANPHERE, 1969; AMARAL et al., 1966; CORDANI, 1970).

As constantes λ_e , λ_β e a razão ${}^{40}\text{K}/\text{K}$ têm sofrido algumas correções desde o advento da metodologia K-Ar. Até 1977, os valores mais correntemente utilizados foram os seguintes (WETHERILL, 1966; NIER, 1950):

$$\lambda_e = 0,585 \times 10^{-10} \text{ anos}^{-1},$$

$$\lambda_\beta = 4,72 \times 10^{-10} \text{ anos}^{-1}, \text{ e}$$

$${}^{40}\text{K}/\text{K} = 0,0119\%$$

Mais recentemente, STEIGER & JAEGER (1977) recomendaram os seguintes valores, hoje mundialmente aceitos (ver também BECKINSALE & GALE, 1969; GARNER et al., 1976):

$$\lambda_e = 0,581 \times 10^{-10} \text{ anos}^{-1},$$

$$\lambda_\beta = 4,962 \times 10^{-10} \text{ anos}^{-1}, \text{ e}$$

$${}^{40}\text{K}/\text{K} = 0,01167\%$$

A utilização destas novas constantes reduz a equação (1) à forma:

$$T = 1804,1 \times \ln \left(1 + 9,54045 \frac{{}^{40}\text{Ar}_{\text{Rad}}}{{}^{40}\text{K}} \right) \quad (2)$$

onde T é expresso em milhões de anos.

Se ${}^{40}\text{Ar}_{\text{Rad}}$ for medido em 10^{-6} cc STP/g e K for expresso em %, a equação (2) pode ser escrita:

$$T = 1804,1 \times \ln \left(1 + 0,014258892 \frac{{}^{40}\text{Ar}_{\text{Rad}}}{\%K} \right) \quad (3)$$

AS IDADES K-Ar DAS ROCHAS ALCALINAS DO BRASIL MERIDIONAL E PARAGUAI ORIENTAL

A datação de rochas alcalinas do Brasil Meridional e Paraguai Oriental pelo método K-Ar tem sido o objetivo de diversos trabalhos, entre os quais se destaca o de AMARAL et al. (1967), que apresenta a primeira relação mais detalhada de datações de ocorrências de rochas alcalinas conhecidas até então. Neste trabalho e em outro anterior (AMARAL et al., 1966), é descrita a metodologia e discutidas precisão e validade do método K-Ar para as amostras analisadas.

Após esta etapa pioneira, seguem-se diversos trabalhos de cunho essencialmente geocronológico e geotectônico e que completam as informações apresentadas nas publicações iniciais. Uma compilação destas informações que também incluem uma avaliação preliminar mais crítica, pode ser encontrada em várias publicações de caráter interpretativo (HERZ, 1977; ULBRICH & GOMES, 1981; ALMEIDA, 1983).

Mais recentemente, novas idades calculadas com as constantes de STEIGER & JAEGER (1977) vêm se somar às já existentes e são colocadas sob um enfoque geológico-petroológico (RUBERTI, 1984; MOTOKI, 1986; SCHEIBE, 1986; BARBIERI et al., 1987; GOMES & TAMURA, 1988).

REVISÃO E COMPILAÇÃO DAS IDADES K-Ar DAS ROCHAS ALCALINAS DO BRASIL MERIDIONAL E PARAGUAI ORIENTAL

As idades K-Ar das rochas alcalinas brasileiras e paraguaias são freqüentemente citadas e utilizadas, tanto na literatura brasileira como internacional, para interpretações das mais variadas. Para compatibilizar os dados mais antigos com os mais recentes, é necessário recalcular os primeiros com as novas constantes de decaimento.

A Tabela 1 reúne todas as datações disponíveis até o presente momento, ordenadas pelo nome da ocorrência em ordem alfabética. Cada ocorrência recebe uma numeração (PONTO), pela qual pode ser localizada na Figura 1. São fornecidas a longitude e a latitude da ocorrência; quando possível, indicam-se diretamente as coordenadas da amostra datada. O número entre parênteses identifica a referência listada sob o título Referências Bibliográficas da Tabela 1, ao final do trabalho, onde também se encontram observações referentes à Tabela 1. Aí faz-se

menção especial a datações Rb/Sr realizadas por KAMASHITA et al. (1964), em amostras do Maciço de Poços de Caldas.

As análises efetuadas no Centro de Pesquisas Geocronológicas do IG-USP (CPGeo), aparecem relacionadas na Tabela 1 com a sigla SPK. A seguir, listam-se o número de campo, o material (nome da rocha e material analisado), a porcentagem de potássio total (%K), a concentração de ^{40}Ar radiogênico ($^{40}\text{Ar}_{\text{Rad}}$) e a porcentagem de ^{40}Ar atmosférico ($^{40}\text{Ar}_{\text{Atm}}$), que foram colhidas da referência original ou dos arquivos do CPGeo. Algumas amostras foram datadas em outros laboratórios, como as de Iporá, GO (referência 13), Poços de Caldas, MG-SP (referência 7) e Sapucaí, Paraguai Oriental (referências 6 e 24). Amostras com a mesma numeração de campo representam análises em duplicata ou datações obtidas de diferentes minerais da rocha.

As idades estão acompanhadas por seus erros analíticos absolutos (entre parênteses), a respeito dos quais serão tecidas algumas considerações a seguir.

ERROS EXPERIMENTAIS E AVALIAÇÕES

O valor do erro analítico que acompanha uma idade é apenas uma estimativa da precisão com que aquela determinação foi obtida.

A estimativa do desvio padrão da precisão analítica, que aqui é considerada uma estimativa do erro analítico da idade determinada, será referida neste texto por erro. O erro percentual (s) de uma única determinação de idade, segundo COX & DALRYMPLE (1967), é dado por:

$$s \approx \left\{ (s_k)^2 + (s_x)^2 + (s_{\frac{40}{38}})^2 \times \left(\frac{1}{r}\right)^2 + (s_{\frac{38}{36}})^2 \times \left(\frac{1-r}{r}\right)^2 \right\}^{1/2} \quad (4)$$

onde: s_k = erro da análise do potássio

s_x = erro introduzido pela calibração do "spike" de ^{38}Ar

$s_{\frac{40}{38}}$ = erro na determinação da razão $^{40}\text{Ar}/^{38}\text{Ar}$

$s_{\frac{38}{36}}$ = erro na determinação da razão $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$

r = fração do ^{40}Ar que é radiogênico

sendo os erros expressos em %.

O erro s_k atribuído ao potássio, elemento que no CPGeo é analisado em duplicata por amostra, é calculado pela fórmula simplificada:

$$s_k = \frac{|K1 - K2|}{M} \times 75 \quad (5)$$

onde $K1$ e $K2$ são os teores percentuais de potássio, determinados por fotometria de chama, e M é a média entre $K1$ e $K2$.

Os erros $s_{\frac{40}{38}}$ e $s_{\frac{38}{36}}$ são estimados a partir de várias medições das razões $^{40}\text{Ar}/^{38}\text{Ar}$ e

$^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ por espectrometria de massa em um certo intervalo de tempo de análise; estas, representadas num gráfico em função deste tempo, definem duas retas experimentais. As razões iniciais $^{40}\text{Ar}/^{38}\text{Ar}$ e $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ são obtidas por extrapolação das duas retas para o tempo zero (ou seja, o da introdução do argônio no espectrômetro de massa), e os erros a elas atribuídos representam a dispersão dos respectivos pontos experimentais.

O erro s_x é relativo à calibração do "spike" de ^{38}Ar , repetida periodicamente, utilizando-se padrões inter-laboratoriais (LINARES et al., 1973).

O ^{40}Ar atmosférico contaminante condiciona fortemente o erro final da idade. A maior proporção de Ar atmosférico é constituída por ^{40}Ar ; o restante corresponde aos conteúdos de ^{38}Ar e ^{36}Ar . A medição do ^{36}Ar de origem exclusivamente atmosférica dá subsídios para o cálculo do conteúdo de ^{40}Ar atmosférico contaminante da amostra. Os erros na determinação de idades são da ordem de 3% para amostras em que o ^{40}Ar atmosférico é menor que 60%, aumentando depois, de forma exponencial, sendo a ordem de 20% a 35% para conteúdos de 90% e 95% de ^{40}Ar atmosférico, respectivamente (P.E. Damon, citado em CORDANI, 1970).

Os erros analíticos absolutos nas datações K-Ar efetuadas no CPGeo oscilam ao redor de 4%, refletindo as contribuições dos erros acima discutidos. Há casos em que os erros obtidos são consideravelmente maiores e podem ser resultantes de uma grande proporção de ^{40}Ar atmosférico contaminante, em relação ao ^{40}Ar radiogênico, conforme discutido acima, ou de erros significativos na determinação de K, sobretudo quando são datadas rochas ultramáficas ou minerais pobres nesse elemento, como piroxênios e anfibólicos ou, ainda, devido a impurezas ou ao estado de alteração do material.

De posse da idade e do seu erro analítico, cabe ao usuário avaliar a sua representatividade em função de critérios geológicos, estratigráficos e/ou geotectônicos. Deve-se ter em mente que o método K-Ar parte do pressuposto de que o mineral ou rocha datados não perderam ou ganharam ^{40}K ou ^{40}Ar desde sua cristalização. Alguns minerais retêm estes isótopos melhor do que outros (DALRYMPLE & LANPHERE, 1969) e os processos geológicos podem ser os principais responsáveis pela modificação dos teores desses elementos e de seus derivados radiogênicos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Centro de Pesquisas Geocronológicas do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, na pessoa de Koji Kawashita, por colocar à nossa disposição a quase totalidade dos dados aqui citados; aos Profs. Drs. H.H.G.J. Ulbrich e Gilberto Amaral, que forneceram sugestões e revisaram o manuscrito; a Pedro Morettin, do Instituto de Matemática e Estatística, pela assessoria na questão referente a erros analíticos.

Nossos agradecimentos são extensivos às Empresas Nucleares Brasileiras (NUCLEBRÁS), na pessoa de João Hilário Javaroni, por permitir a publicação dos dados das amostras de Poços de Caldas, de prefixo RAA.

Parte do trabalho de compilação foi realizada no escopo dos auxílios fornecidos pelo CNPq (processo 407.383/87) e pela FINEP (convênio FINEP-USP, 42.86.0491.00, coordenador H.H.G.J. Ulbrich).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.F.M. de (1983) Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da Plataforma Sul-Americana. *Revista Brasileira de Geociências*, 13(3):139-158.

- AMARAL, G.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J.H. (1966) Potassium-argon dates of basaltic rocks from Southern Brazil. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 30:159-189.
- AMARAL, G.; BUSHEE, J.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J.H. (1967) Potassium-argon ages of alkaline rocks from Southern Brazil. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 31:117-142.
- BARBIERI, M.; BECCALUVA, L.; BROTZU, P.; CONTE, A.; GABARINO, C.; GOMES, C.B.; LOSS, E.L.; MACCIOTTA, G.; MORBIDELLI, L.; SCHEIBE, L.F.; TAMURA, R.M.; TRAVERSA, G. (1987) Petrological and geochemical studies of alkaline rocks from Continental Brazil. Part 1: The phonolite suite from Piratini, RS. *Geochimica Brasiliensis*, 1:109-138.
- BECKINSALE, R.O. & GALE, N.H. (1969) A reappraisal of the decay constants and branching ratio of ^{40}K . *Earth and Planetary Science Letters*, 6(4):289-294.
- CORDANI, U.G. (1970) Idade do vulcanismo do Oceano Atlântico Sul. *Boletim IGA*, 1:9-75.
- COX, A. & DALRYMPLE, G.B. (1967) Statistical analysis of geomagnetic reversal data and precision of potassium-argon dating. *Journal of Geophysical Research*, 72(10):2603-2614.
- DALRYMPLE, G.B. & LANPHERE, M.A. (1969) *Potassium-Argon Dating: principles, techniques and applications to geochronology*. San Francisco, Freeman. 258p.
- FAURE, G. (1977) *Principles of isotope geology*. New York, John Wiley and Sons. 464p.
- GARNER, E.L.; MURPHY, J.J.; GRAMLICH, J.W.; PAULSEN, P.J.; BARNES, I.L. (1976) Absolute isotopic abundance ratios and the atomic weight of a reference sample of potassium. *Journal of Research of the U.S. National Bureau of Standards, Sect. A*, V.79A, p.713-725.
- GOMES, C.B. & TAMURA, R.M. (1988) *Petrologia do Maciço Alcalino de Tunas, PR. Trabalho em andamento. Comunicação pessoal*.
- HERZ, N. (1977) Time of spreading in the South Atlantic: information from Brazilian alkalic rocks. *Geological Society of American Bulletin*, 88:101-112.
- KAWASHITA, K.; MAHIQUES, M.M.; ULBRICH, H.H.G.J. (1984) Idades Rb/Sr de nefelina sienitos do Anel Norte do Maciço Alcalino de Poços de Caldas, MG-SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, Rio de Janeiro, 1984. Resumos, Rio de Janeiro, SBG. p.244-245.
- LINARES, E.; KAWASHITA, K.; KLEINER, L. (1973) Constantes de calibración y factores de corrección para la aplicación del método potasio-argón en el Laboratorio del Ingeis. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 28(2):133-146.
- MOTOXI, A. (1986) *Geologia e Petrologia do Maciço Alcalino de Ilha de Vitória, SP. São Paulo, Instituto de Geociências. 245p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências/USP)*.
- NIER, A.O. (1950) A redetermination of the relative abundances of the isotopes of carbon, nitrogen, oxygen, argon and potassium. *Physical Review*, 77:789.
- RUBERTI, E. (1984) *Petrologia do maciço alcalino do Barhadão, PR. São Paulo, Instituto de*

- Geociências. 240p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências/USP).
- SCHEIBE, L.F. (1986) Geologia e petrologia do distrito alcalino de Lajes, SC. São Paulo, Instituto de Geociências. 224p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências/USP).
- STEIGER, R.H. & JAEGER, E. (1977) Subcommittee on Geochronology: convention on the use of decay constants in Geochronology and Cosmochronology. Contribution to the Geologic Time Scale. *Studies in Geology, AAPG*, 6:67-71.
- ULBRICH, H.H.G.J. & GOMES, C.B. (1981) Alkaline rocks from continental Brazil. *Earth Science Reviews*, 17:135-154.
- WETHERILL, G.W. (1966) Radioactive decay constants and energies. In: CLARK, S. (ed.) *Handbook of Physical Constants*. Geological Society America, Memoir, 97:513-519.