

A UTILIZAÇÃO DO REATOR NUCLEAR PARA A DETERMINAÇÃO DA IDADE DE ROCHAS: O MÉTODO $\text{Ar}^{39}/\text{Ar}^{40}$

Recebido para publicação em 16/4/1975

MICHEL BERNAT¹, UMBERTO G. CORDANI², KOJI KAWASHITA², e HIDEO KINOSHITA³

ABSTRACT. Utilization of nuclear reactor to determinate age of rocks: the $\text{Ar}^{39}/\text{Ar}^{40}$ method. By the conventional $\text{K}^{40}/\text{Ar}^{40}$ method, the amounts of potassium and argon are measured on separate portions of the material. The argon-40 analysis is performed with a mass spectrometer and potassium usually is determined by flame photometry. In the $\text{Ar}^{39}/\text{Ar}^{40}$ method, the samples are irradiated with neutrons and the potassium analysis is obtained measuring argon-39 with the same mass spectrometer. The measurement of these two isotopes, released from the same sample, with the same instrument, make the $\text{Ar}^{39}/\text{Ar}^{40}$ method more precise than the conventional one.

Eleven determinations carried out by this method on alkalic rocks from the southern part of Bahia State provided at least the same values for interpretation, compared with conventional K-Ar data. The application of special techniques (stepwise degassing and isochron method) gives better and more precise conclusions on the geological evolution of the analysed rocks.

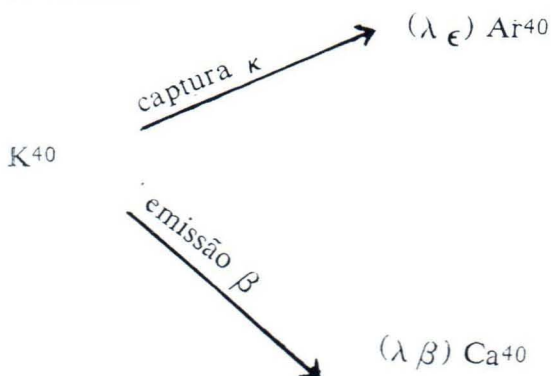
RESUMO. No método convencional K-Ar, as análises de potássio e de argônio são feitas isoladamente em porções diferentes da amostra. A determinação do argônio-40 é feita utilizando-se um espectrômetro de massa e o potássio é dosado por fotometria de chama, usualmente. No método $\text{Ar}^{39}/\text{Ar}^{40}$, em que as amostras são irradiadas em um reator nuclear, os teores de potássio são determinados pela medida do Ar^{39} , utilizando-se o mesmo espectrômetro de massa. A medida desses 2 isótopos, extraídos do mesmo material, com o mesmo instrumento, torna o método $\text{Ar}^{39}/\text{Ar}^{40}$ mais preciso do que o convencional.

Onze determinações efetuadas por este método em sienitos alcalinos que ocorrem na região sul do Estado da Bahia, quando comparadas com os dados K-Ar convencionais, mostraram pelo menos o mesmo valor interpretativo. A utilização de técnicas especiais (fusão das amostras por etapas e interpretação em gráficos isocrônicos) possibilita a obtenção de conclusões melhores e mais precisas sobre a evolução geológica das rochas analisadas.

1. INTRODUÇÃO

ENTRE OS MÉTODOS EMPREGADOS PARA A DETERMINAÇÃO da idade de minerais e rochas, o Potássio-Argônio (K-Ar) tem lugar de destaque, em vista de sua vasta aplicabilidade, pelo ato de o potássio ser um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre. Em São Paulo, no Centro de Pesquisas Geocronológicas da Universidade de São Paulo, já foram efetuadas, desde 1964, mais de três mil determinações de idade de rochas, por este método.

As datações K-Ar baseiam-se no decaimento radioativo do isótopo 40 do potássio, segundo o esquema abaixo:



O método K-Ca, teoricamente possível, não é viável, porque o cálcio é também um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre, o que torna impraticável a medida de pequenas quantidades de Ca^{40} radiogênico, formado pela desintegração do K^{40} . Entretanto, com relação ao argônio, este elemento não está presente nos minerais por ocasião de sua formação, mas vai acumulando-se em seu retículo, à medida que o tempo passa, proveniente da transformação do K^{40} . A idade do mineral, correspondente ao tempo decorrido desde a sua formação, dependerá da relação atual $\text{Ar}^{40}/\text{K}^{40}$, segundo a fórmula:

$$T = \frac{1}{\lambda\beta + \lambda\epsilon} \ln \left(1 + \frac{\lambda\beta + \lambda\epsilon}{\lambda\epsilon} \cdot \frac{\text{Ar}^{40}}{\text{K}^{40}} \right)$$

As constantes de desintegração $\lambda\beta$ e $\lambda\epsilon$ são conhecidas com precisão adequada, e seus valores são:

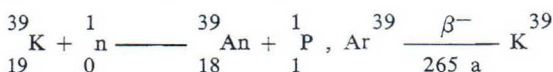
$$\lambda\beta = 4,72 \times 10^{-10} / \text{ano}$$

$$\lambda\epsilon = 0,584 \times 10^{-10} / \text{ano}$$

No método K-Ar convencional, o potássio pode ser determinado por qualquer procedimento analítico que forneça a precisão adequada (fluorescência de raios X, absorção atômica, fotometria de chama, espectrometria de massa, etc.), e o argônio 40 é determinado por espectrometria de massa, mediante emprego de traçador de Ar^{38} , em amostras previamente purificadas em unidades de ultra-alto vácuo. A metodologia empregada no Centro de Pesquisas Geocronológicas, no método convencional, é descrita pormenorizadamente por Amaral *et al* (1966).

1. ORSTOM — Pesquisador Visitante do CPGeo.
2. Centro de Pesquisas Geocronológicas — IG/USP.
3. Bolsista de pós-graduação da FAPESP no CPGeo.

Wanke e Koenig (1959) foram os primeiros a assinalar a possibilidade de analisar o potássio por intermédio de seus produtos de irradiação em reator nuclear. Sigurgeirsson (1962) retomou a idéia, propondo a utilização da reação nuclear seguinte:



O mesmo Autor assinalou a possibilidade da existência de reações parasitas. Os primeiros resultados das análises de Ar^{39} dando início às explicações do método $\text{Ar}^{39}/\text{Ar}^{40}$, são publicadas por Merrihue (1965).

2. O MÉTODO $\text{Ar}^{39}/\text{Ar}^{40}$, PRINCIPAIS VANTAGENS E LIMITAÇÕES

Como foi assinalado, o método $\text{Ar}^{39}/\text{Ar}^{40}$ depende da reação nuclear: $\text{K}^{39}(\text{n,p})\text{Ar}^{39}$, de 10^{-1} barns.

Sua vantagem principal é a de transformar um isótopo do potássio em um isótopo do argônio, o que permite a medição simultânea dos dois isótopos (Ar^{39} e Ar^{40} radiogênico), por espectrometria de massa. Além disso, existe a certeza de que todo o Ar^{39} medido provém da irradiação do material, visto que tal isótopo não é encontrado na natureza.

No método K-Ar convencional, as análises de K e de Ar são feitas isoladamente em porções diferentes da amostra; o emprego de dois métodos distintos, com seus sistemas de calibração respectivos, faz com que erros acidentais, aleatórios, sejam possíveis. Acresce que o material a ser analisado não é necessariamente homogêneo, podendo aparecer diferenças significativas entre as duas porções utilizadas para as análises de K e de Ar, acarretando erros adicionais na medida da razão $\text{Ar}^{40}/\text{K}^{40}$. As possibilidades de desvios analíticos de tal natureza não existem com o método $\text{Ar}^{39}/\text{Ar}^{40}$, visto que ambos os isótopos são medidos no mesmo aparelho, nas mesmas condições, e a partir do mesmo material inicial.

Tendo em vista a possibilidade de perdas de gás durante as etapas de extração, purificação e análise espectrométrica, é necessário conhecer o rendimento da transformação de K^{39} em Ar^{39} . Este problema é resolvido irradiando-se, na mesma operação, amostras padrão de idade conhecida. Pode ser demonstrado que a idade da amostra, pelo método $\text{Ar}^{39}/\text{Ar}^{40}$, é calculada pela equação:

$$T = \frac{1}{\lambda\beta + \lambda\epsilon} \ln(1 + F \cdot J)$$

Ar⁴⁰
rad

$$\text{onde } F = \frac{\text{Ar}^{39}}{\text{Ar}^{40}}$$

$$e \quad J = \frac{e^{(\lambda\epsilon + \lambda\beta)tp} - 1}{\frac{\text{Ar}^{40}}{\text{Ar}^{39}} m}$$

Nas fórmulas acima, $\lambda\epsilon$ e $\lambda\beta$ são as constantes de desintegração do K^{40} , tp e $(\text{Ar}^{40}/\text{Ar}^{39})p$ são a idade e a relação isotópica medida referentes ao padrão utilizado, enquanto que T e $(\text{Ar}^{40}/\text{Ar}^{39})m$ são as relativas à amostra analisada.

A equação acima é utilizável somente se outros isótopos presentes durante a irradiação não produzirem reações nucleares parasitas, com formação de quantidades significativas de isótopos de argônio. Os trabalhos de Brereton (1970) e Turner (1971) permitem fixar os limites abaixo dos quais os resultados de reações parasitas são desprezíveis, e também utilizar as equações que possibilitam corrigir os efeitos de tais reações, no caso de serem significativas. Na prática, as três reações parasitas principais são a do Ca^{40} , que produz Ar^{36} , e a do K^{40} e Ca^{43} , que produzem Ar^{40} .

Pode ser verificado que, no caso de sistemas com relação K/Ca superior a 1, e com idade superior a 10 m.a., não se faz necessária qualquer correção para os efeitos das reações parasitas indicadas. Para rochas jovens, ou com relação K/Ca inferior a 1, a contaminação devida ao Ca^{40} pode ser facilmente corrigida, por causa da produção simultânea de Ar^{37} , o qual não ocorre na natureza. Será suficiente verificar a relação de produção dos isótopos $\text{Ar}^{37}/\text{Ar}^{36}$.

A correção relativa ao Ar^{40} formado a partir do K^{40} é mais delicada. Em geral, procura-se evitar a formação de Ar^{40} no reator ajustando o fluxo total recebido pela amostra de acordo com sua idade de modo a evitar que a formação de Ar^{40} seja significativa (Turner, 1971).

Teoricamente, a principal fonte de erro associada ao método $\text{Ar}^{39}/\text{Ar}^{40}$ é o erro experimental devido à leitura da altura dos picos relativos às massas 36, 37, 39 e 40 sobre o mesmo espectrograma. Tal valor resulta, geralmente, próximo de 0,5%, para as relações isotópicas. Evidentemente o erro global do método baseia-se também na precisão com que é conhecida a idade da amostra padrão. Na prática, a produção eventual de isótopos parasitas aumenta a imprecisão.

Finalmente, deve ser considerada a possibilidade do fluxo de neutrons de irradiação não ser homogêneo. A experiência mostrou que o posicionamento adequado das amostras e dos padrões, no reator, durante a irradiação, permite reduzir o erro a menos de 1%.

Existem duas maneiras principais de utilizar o método $\text{Ar}^{39}/\text{Ar}^{40}$. A mais simples é a de fundir o material previamente irradiado de uma só vez, e purificar e analisar o gás resultante. Pode-se também proceder ao aquecimento da amostra por etapas, elevando-se sucessivamente a temperatura, e recolhendo e analisando o gás resultante de cada etapa, separadamente. Esta última técnica permite a obtenção de informações adicionais, de grande utilidade na interpretação da história térmica sofrida pelo mineral analisado.

3. O PROBLEMA DA CONTAMINAÇÃO ATMOSFÉRICA

Os minerais, após sua formação, começam a reter o Ar^{40} radiogênico que se acumula, proveniente das desintegrações do K^{40} . Por ocasião da análise, além do Ar^{40} radiogênico são detectadas quantidades variáveis de Ar^{36} . Sabe-se que este isótopo existe na atmosfera, onde a relação isotópica $\text{Ar}^{40}/\text{Ar}^{36}$ é constante, igual a 295,5. Em vista disso, acredita-se em geral que o Ar^{36} observado nas análises seja proveniente de uma contaminação atmosférica ocorrida durante a manipulação das amostras, nas unidades de ultra-

vácuo, e portanto deve ser efetuada uma correção sobre o Ar^{40} total, tendo em vista a proporção constante dos dois isótopos na atmosfera.

Entretanto, diversos autores (Cherdynstev *et al.*, 1967; Dalrymple, 1969; Krummenacher, 1970) mostraram evidências de que uma parte do argônio contaminante poderia ser original, possivelmente de origem profunda, e com relação isotópica $\text{Ar}^{40}/\text{Ar}^{36}$ diferente da observada no argônio atmosférico.

A fim de verificar as possibilidades de existência de componentes de argônio radiogênico, primário, e atmosférico, com diferentes composições isotópicas, são utilizados diagramas e interpretações gráficas. McDougall *et al.* (1969) e Hayatsu e Carmichael (1970) propuseram a utilização de um diagrama similar ao empregado no método Rb-Sr, com a relação $\text{Ar}^{40}/\text{Ar}^{36}$ no eixo das ordenadas e $\text{K}^{40}/\text{Ar}^{36}$ no das abscissas. Neste diagrama, os pontos analíticos representativos de um conjunto de amostras cogenéticas situam-se sobre uma linha isócrona cuja equação é:

$$\left(\frac{\text{Ar}^{40}}{\text{Ar}^{36}} \right)_{\text{medido}} = \left(\frac{\text{Ar}^{40}}{\text{Ar}^{36}} \right)_{\text{inicial}} + \frac{\lambda \epsilon}{\lambda \epsilon + \lambda \beta} (e^{\lambda t} - 1) \left(\frac{\text{K}^{40}}{\text{Ar}^{36}} \right)_{\text{calculado}}$$

Este método somente pode ser empregado se a contaminação atmosférica for pequena, e se a razão $\text{Ar}^{40}/\text{Ar}^{36}$ inicial for a mesma para cada mineral. Neste particular, o método $\text{Ar}^{39}/\text{Ar}^{40}$ oferece uma vantagem decisiva. Com efeito, neste método, é possível degaseificar fortemente (a cerca de 500°C) a amostra, visto que qualquer perda possível de Ar^{40} é compensada por perda proporcional de Ar^{39} , que encontra-se nos mesmos sítios do retículo dos minerais (ambos provêm de transformações de átomos de potássio). Isto não seria possível no método convencional, onde a degaseificação precede a mistura com o traçador (Ar^{38}), e tem que ser efetuada a temperatura menor (por volta de 200°C) para evitar perdas significativas de Ar^{40} . No caso do método $\text{Ar}^{39}/\text{Ar}^{40}$, onde é possível diminuir drasticamente a componente atmosférica, as condições para a utilização do diagrama isocrônico são ideais.

Neste método não se obtém diretamente a relação $\text{K}^{40}/\text{Ar}^{36}$, mas $\text{Ar}^{39}/\text{Ar}^{36}$. Pode ser calculada a razão $\text{K}^{40}/\text{Ar}^{36}$ do seguinte modo:

$$\frac{\text{K}^{40}}{\text{Ar}^{36}} = \frac{\text{Ar}^{40}}{\text{Ar}^{39}} \times \frac{\text{Ar}^{39}}{\text{Ar}^{36}} \times \frac{\lambda + \lambda \beta}{\lambda \epsilon (e^{\lambda t} - 1)}$$

sendo t a idade da amostra padrão.

4. TÉCNICAS DE ANÁLISE EMPREGADAS NO CENTRO DE PESQUISAS GEOCRONOLÓGICAS

Com o fim de verificar a possibilidade de utilização do método $\text{Ar}^{39}/\text{Ar}^{40}$ em São Paulo, e determinar suas limitações analíticas tendo em vista o equipamento disponível, foram analisadas amostras de idades e proveniências diversas. Muitas delas já haviam sido objeto de determinações K-Ar convencionais, no Centro de Pesquisas Geocronológicas. Ambas as téc-

nicas, de fusão total e aquecimento por etapas, foram utilizadas, a título comparativo.

As amostras foram irradiadas no Instituto de Energia Atômica, em São Paulo cujo reator é do tipo piscina, funcionando a 2 MW. O material foi acondicionado em pequenos sacos fabricados com folhas de alumínio, os quais foram colocados em tubos cilíndricos de alumínio de tampa rosqueada (diâmetro: 16 cm; altura: 3 cm). Em cada tubo foram colocados algumas amostras padrão, que serviram de referência para as demais. Na posição ocupada pelos tubos no reator, o fluxo térmico foi da ordem de $1.35 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{seg.}$, sendo de $1.54 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{seg.}$ o fluxo superior a 0,5 MeV. A temperatura atingida não deve ter sido superior a 150°C . A fim de otimizar as condições da irradiação, foram ensaiadas três durações diferentes para a operação (oito, quarenta e oitenta horas) e foram empregadas sete amostras padrão distintas, com idades diferentes.

Para a extração e purificação do argônio foi empregada a mesma técnica descrita por Amaral *et al.* (1966), no Centro de Pesquisas Geocronológicas. As amostras foram aquecidas e fundidas, nas unidades de ultra-alto vácuo, sem os envelopes de alumínio, a fim de melhorar as condições do aquecimento, e diminuir as possibilidades de contaminação atmosférica.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A título de exemplo demonstrativo das possibilidades de utilização do método $\text{Ar}^{39}/\text{Ar}^{40}$ em São Paulo, bem como de suas potencialidades interpretativas, foram escolhidas as determinações efetuadas por este método nos maciços intrusivos sieníticos alcalinos que ocorrem na região Sul do Estado da Bahia. Tais intrusões, do tipo anorogênico, cortam as rochas ígneas e metamórficas regionais Pré-Cambrianas. Pormenores sobre sua situação geológica podem ser encontrados em Fujimori (1967). Diversas datações das rochas sieníticas são disponíveis, efetuadas pelo método K-Ar convencional, e pelo método Rb-Sr em rocha total. Os dados analíticos são relatados por Cordani (1973), e mais recentemente por Cordani *et al.* (1974), trabalho que já inclui alguns dos dados obtidos pelo método $\text{Ar}^{39}/\text{Ar}^{40}$.

A época de formação das rochas sieníticas é aqui considerada próxima a 670 m.a., idade da isócrona Rb-Sr traçada pelos pontos analíticos de quatro amostras provenientes do maciço de Itaju do Colônia. Algumas outras amostras, de outros maciços, apresentam pontos analíticos sobre a isócrona, ou muito próximos dela, indicando idades de cerca de 670 m.a.

As idades K-Ar convencionais, entretanto, variam entre 410 e 770 m.a., sendo algumas inclusive mais antigas do que as idades Rb-Sr em rocha total, estas obtidas em sodalitas e anfíbios. A maioria delas apresentam-se inferiores a 670 m.a., e são associadas a episódios de tectonismo posteriores à formação das rochas, responsáveis pela possível perda parcial de argônio por parte dos minerais. Tal interpretação foi condicionada pelo fato de os maciços sieníticos estarem situados nas proximidades de grandes falhamentos, tais como os de Itapebi, ou do rio Colônia, ao longo dos quais é comum a existência de rochas compostas em grande parte por minerais secundários, de origem hidrotermal.

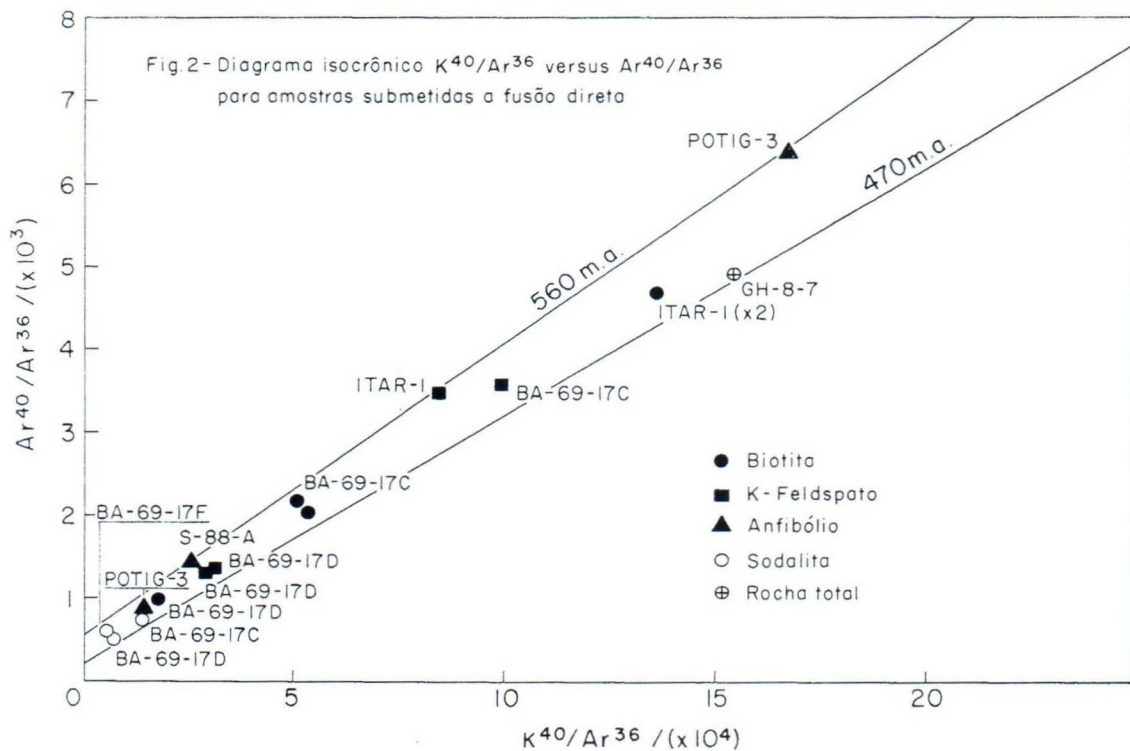
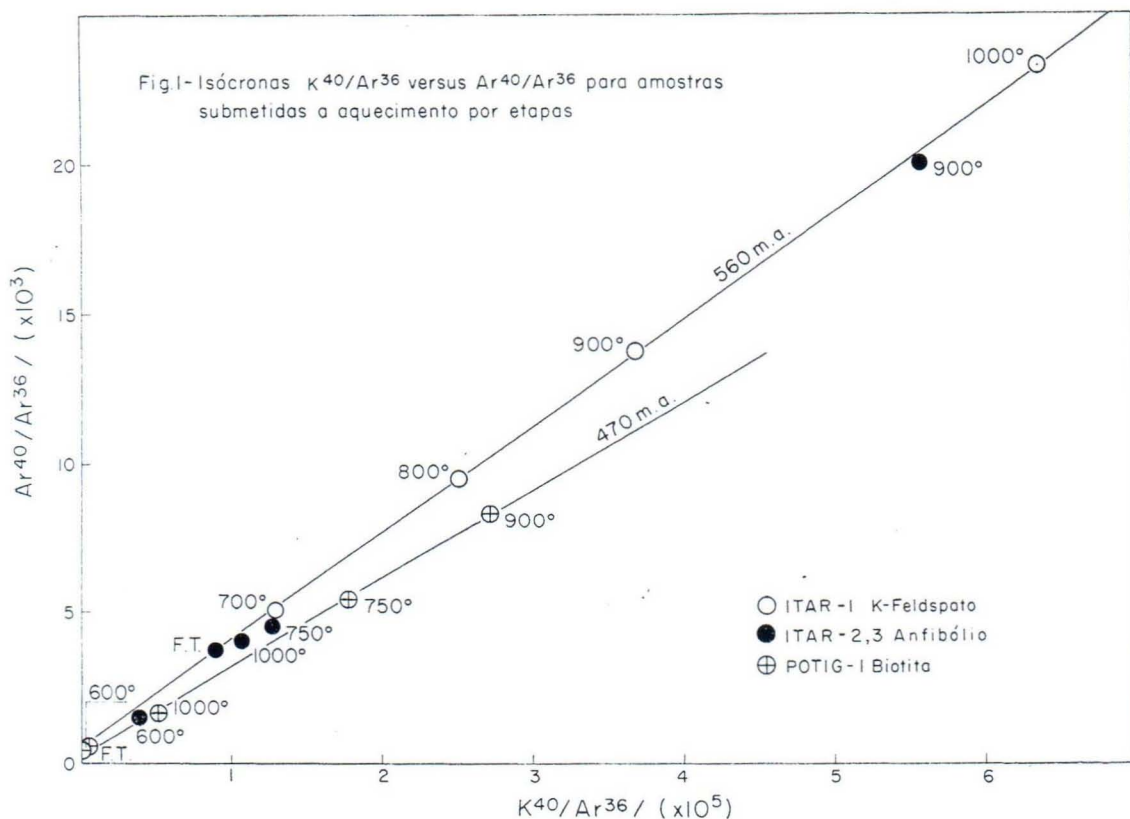
Por causa da situação geológica relativamente simples dos maciços alcalinos, aliada às idades discor-

TABELA 1. Dados Analíticos $\text{Ar}^{39}/\text{Ar}^{40}$ (Fusão Direta)

Amostra	Rocha	Material	J	$\text{Ar}^{39}/\text{Ar}^{40}$	$\text{Ar}^{40}/\text{Ar}^{36}$	$\text{Ar}^{37}/\text{Ar}^{39}$	$\text{K}^{40}/\text{Ar}^{36}$	% Ar^{40} atm	Idade $\text{Ar}^{39}/\text{Ar}^{40}$	Idade K-Ar conv
BA-69-17C	Sienito	Biotita	0,0046	25,0	2070	—	53500	14	522 $\pm$ 21	—
			0,0140	78,4	2240	—	50900	13	550 $\pm$ 19	—
		K-Feldspato	0,0140	152,6	3570	—	99000	8	483 $\pm$ 17	—
			0,0140	22,7	727	0,02	14740	41	431 $\pm$ 26	—
			0,0140	27,0	996	—	17530	30	564 $\pm$ 20	—
BA-69-17D	Sienito	K-Feldspato	0,0140	44,5	1338	0,01	29500	22	512 $\pm$ 18	—
			0,0140	46,9	1337	0,01	30450	23	497 $\pm$ 18	—
			0,0140	9,8	502	—	6360	58	468 $\pm$ 51	—
BA-69-17F	Veio de Sodalita	Sodalita	0,0140	8,0	584	0,06	5190	51	750 $\pm$ 29	727 $\pm$ 11
		Biotita	0,00275	76,9	9000	—	272900	3	500 $\pm$ 21	520 $\pm$ 28
ITAR-1	Sienito	K-Feldspato	0,0037	33,3	3470	0,05	84460	8	546 $\pm$ 29	533 $\pm$ 21
ITAR-2, 3	Sienito	Biotita	0,000154	0,675	682	—	2740	43	507 $\pm$ 60	469 $\pm$ 14
POTIG-3	Sienito	Anfibólio	0,00264	47,0	6400	0,54	168000	5	556 $\pm$ 22	765 $\pm$ 40
			0,0037	5,55	847	1,0	13840	35	564 $\pm$ 32	—
S-88-A	Sienito	Anfibólio	0,00264	7,15	1420	2,1	25680	21	652 $\pm$ 20	766 $\pm$ 40
GH-8-7	Traquito	Rocha Total	0,0037	61,0	4910	0,1	153900	6	447 $\pm$ 24	460 $\pm$ 10

TABELA 2. Dados Analíticos $\text{Ar}^{39}/\text{Ar}^{40}$ — Aquecimento por etapas

Amostra	Rocha	Material	Temp.°C	J	$\text{Ar}^{39}/\text{Ar}^{36}$	$\text{Ar}^{40}/\text{Ar}^{36}$	$\text{Ar}^{37}/\text{Ar}^{39}$	$\text{K}^{40}/\text{Ar}^{36}$	% Ar^{40} atm	Idade aparente
POTIG-1	Sienito	Biotita	600	0,00264	0,425	340	—	1530	86	426 $\pm$ 90
			750	"	50,0	5450	—	179800	5	454 $\pm$ 23
			900	"	75,8	8390	—	272400	4	469 $\pm$ 20
			1000	"	14,3	1643	—	51360	18	418 $\pm$ 18
			F. Total	"	1,15	403	—	4130	69	423 $\pm$ 47
ITAR-1	Sienito	Feldspato	700	0,00275	37,0	5185	0,06	130000	6	573 $\pm$ 24
			800	"	71,4	9540	0,06	250900	3	563 $\pm$ 23
			900	"	105,3	13760	—	369800	2	558 $\pm$ 23
			1000	"	180,5	23250	—	635900	15	555 $\pm$ 23
ITAR-2, 3	Sienito	Anfibólio	600	0,0046	18,5	1580	—	38960	33	520 $\pm$ 21
			750	"	58,8	4550	—	126700	7	531 $\pm$ 23
			900	"	263	20020	—	557600	1,5	547 $\pm$ 23
			1000	"	50,5	4060	0,75	107450	8	544 $\pm$ 26
			F. Total	"	43,1	3700	3,2	88400	9	570 $\pm$ 23



dantes obtidas pelo método K-Ar convencional, foram eles escolhidos para datação Ar^{39}/Ar^{40} . O problema foi considerado especialmente adequado para verificar não só a própria aplicabilidade do método Ar^{39}/Ar^{40} , mas também a seu valor interpretativo, se comparado ao método K-Ar convencional, tendo em vista a possibilidade de discernir a história térmica das rochas analisadas.

A tabela 1 mostra a comparação entre as idades Ar^{39}/Ar^{40} obtidas, com as idades K-Ar convencionais no mesmo material. Evidentemente, tratando-se de determinações Ar^{39}/Ar^{40} por fusão total, os resultados deveriam ser concordantes, dentro dos erros experimentais dos dois métodos. Com efeito, a concordância é completa, com as exceções mostradas pelos anfíbólios Potig-3 e S-88-A, onde a diferença atinge cerca de 20%, o método convencional indicando idades maiores. Tendo em vista que os resultados pelo método Ar^{39}/Ar^{40} nos dois anfíbólios mencionados é da mesma ordem que os demais valores obtidos, e que as duas idades aparentes pelo método convencional superam até mesmo as idades Rb-Sr, consideramos aqui mais dignas de confiança as determinações Ar^{39}/Ar^{40} .

A mesma tabela 1 mostra que poucas das amostras continham cálcio em quantidades suficientemente elevadas para acarretar correções significativas. Tais correções resumiram-se, essencialmente, aos minerais cálcicos tais como anfíbólios e plagioclásios. Amostras analisadas em duplicatas, pelo método Ar^{39}/Ar^{40} , apresentaram boa concordância.

Os resultados Ar^{39}/Ar^{40} parecem confirmar o excesso de Ar^{40} na sodalita, tal como indicado por York *et al.* (1969). Com relação a este mineral, apareceu durante as análises outra característica interessante: a presença em quantidades significativas de Ar^{38} , produzindo no reator, a partir de Cl^{37} contido na sodalita, de acordo com a reação:



Finalmente, foi constatado que o fluxo neutrônico apresentou-se razoavelmente homogêneo, visto que a diferença entre os resultados de duas amostras-padrão idênticas, colocadas no mesmo tubo, foi inferior a 2%. Diferenças entre amostras-padrão idênticas, em tubos adjacentes, resultaram inferiores a 4%.

Para testar as possibilidades interpretativas do método Ar^{39}/Ar^{40} foram efetuados os aquecimentos por etapas nas amostras ITAR-2,3 (anfíbólio), ITAR-1 (K-Feldspato) e Potig-1 (biotita). Escolheram-se, para as extrações de argônio, várias temperaturas entre 600° e 1000°C, e foi efetuada em seguida a fusão total das amostras. Antes de iniciar as extrações, as amostras foram aquecidas a 500°C, a fim de degaseificá-las. Algumas das frações retiradas a 500°C foram analisadas, tendo sido verificado tratar-se essencialmente de argônio atmosférico.

Os dados das três amostras citadas encontram-se na Tabela 2. Os seus pontos analíticos foram colocados no diagrama isocrônico da Figura 1, onde as razões Ar^{40}/Ar^{36} foram relacionadas com as razões K^{40}/Ar^{36} . A vantagem principal de tal tipo de diagrama é que dispensa qualquer hipótese sobre a composição isotópica do argônio não radiogênico presente nas amostras.

Os alinhamentos obtidos são de boa qualidade, indicando distribuição dos átomos de Ar no retículo dos minerais homogênea em relação aos átomos de K. A biotita POTIG-1 apresentou a isócrona de valor mais baixo (470 m.a.) enquanto que o feldspato

ITAR-1 e o anfíbólio ITAR-2,2 apresentaram-se praticamente sobre mesma isócrona com cerca de 560 m.a. Cabe assinalar que as duas últimas amostras provêm do mesmo maciço (Itarantim), e sua história térmica deve ter sido semelhante.

A Figura 2 apresenta os pontos analíticos das amostras analisadas por fusão direta (dados na tabela 1), cuja posição é relacionada às isócronas de referência de 560 e de 470 m.a., transportadas na Figura 1. É interessante notar que todos os pontos analíticos situam-se em posição intermediária às duas isócronas. De uma maneira geral, os anfíbólios (Potig-3, S-88-A) tendem a situar-se próximos da isócrona superior, e as micas e as sodalitas próximas da isócrona inferior, o que está de acordo com as propriedades de retentividade de argônio, exibidas por estes minerais, e já bem conhecidas na literatura especializada (por exemplo Dalrymple, 1969).

Se todos os maciços possuem a mesma origem, e a mesma idade (670 m.a.) sugerida pelas determinações Rb-Sr em rocha total, é necessário admitir que sofreram eventos térmicos posteriores à sua formação, o último dos quais pode ser aquele representado pela isócrona de 470 m.a. da biotita Potig-1.

Examinando-se o contexto geológico regional é possível associar as modificações ocorridas nos diversos sistemas com grandes falhamentos, ativos durante o Ciclo Brasileiro (450 a 650 m.a.), como o de Itapebi e do Rio Colônia. As idades aparentes K-Ar nos metassedimentos do Grupo Rio Pardo atestam o resfriamento regional ocorrido por volta de 470-500 m.a. (Cordani, 1973), o que concorda com o valor da isócrona da biotita Potig-1. Movimentos tectônicos ao longo do Falhamento de Itapebi, provocando afundamento dos blocos, seriam os responsáveis por elevações locais de temperatura, suficientes para afetar as biotitas, mas não os anfíbólios regionais, que começaram a reter quantitativamente o seu argônio por volta de 560 m.a. atrás.

Concluindo, o método Ar^{39}/Ar^{40} foi desenvolvido de modo altamente satisfatório no Centro de Pesquisas Geocronológicas da Universidade de São Paulo. Seus resultados preliminares mostraram pelo menos o mesmo valor interpretativo que os dados K-Ar convencionais. Possivelmente, em problemas mais complexos, poderá revelar-se como ferramenta de grande valia nas interpretações geológicas regionais.

REFERÊNCIAS

- Amaral, G., Cordani, U. G., Kawashita, K. e Reynolds, J. H., 1966. K-Ar dates of basaltic rocks from Southern Brazil. *Geochimica cosmochimica acta*, 30: 159-189.
- Brereton, N. R., 1970. Corrections for interfering isotopes in the $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating method. *Earth Plan. Sci. letters*, 8: 427-433.
- Cherdynstev, V. V. & Shitov, Yu. V., 1967. Izbytok ^{36}Ar v vulkanicheskikh i postvulkanicheskikh gazakh SSSR (^{36}Ar excess in volcanic and postvolcanic gases of the USSR). *Geokhimiya* 5: 618.
- Cordani, U. G., 1973. Evolução geológica pré-Cambriana da faixa costeira do Brasil, entre Salvador e Vitória. *Tese apresentada para concurso de Livre-Docência no Departamento de Mineralogia e Petrologia do IG-USP*.
- Cordani, U. G., Bernat, M., Teixeira, W. e Kinoshita, H., 1974 (no prelo). Idades radiométricas das rochas alcalinas do sul da Bahia. *Anais do XXVIII C.B.G.*, Porto Alegre.
- Dalrymple, G. B., 1969. $^{40}Ar/^{39}Ar$ analyses of historic lava flows. *Earth Plan. Sci. letters*, 6: 47-55.
- Fujimori, S., 1967. Rochas alcalinas do sul do Estado da Bahia. *Div. Geol. Mineral, DNPM. Notas preliminares e Est.*, 141.
- Hayatsu, A. & Carmichael, C. M., 1970. K-Ar isochron method and initial argon ratios. *Earth Plan. Sci. letters*, 18: 71-76.

- Krummenacher, D., 1970. Isotopic composition of Argon in modern surface volcanic rocks. *Earth Plan. Sci. letters*, 8: 109-117.
- McDougall, I., Polach, H. A. e Stipp, J. J., 1969. Excess radiogenic argon in young subareal basalts from the Auckland volcanic field, New Zealand. *Geochim. et Cosmochim. acta* 33: 1485-1520.
- Merrihue, C. M., 1965. Trace element determinations and K-Ar dating by mass spectroscopy of neutron irradiations samples. *Trans. Am. Geoph. Un.*, 46: 125.
- Sigurðsson, T., 1962. Dating recent basalt by the K-Ar method (In INCELANDIC). Rept. Physical Laboratory of the Univ. Iceland.
- Turner, G., 1971. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating; the optimization of irradiation parameters. *Earth Plan. Sci. letters*, 10: 227-234.
- York, D., Macintyre, R. M. & Gittins, J., 1969. Excess radiogenic ^{40}Ar in cancrinite and sodalite. *Earth Plan. Sci. letters*, 7: 25-28.
- Wank, H. & König, H., 1959. Eine Neue Method zur Kalium-Argon-Alterbestimmung und ihre Anwendung auf Steinmeteorite. *Z. Naturforsch.*, 14a: 860-866.

CROMOCENTRO-CENTRÔMERO E PAREAMENTO ECTÓPICO EM CROMOSSOMOS POLITÊNICOS DE VÁRIOS TECIDOS DE RHYNCHOSCIARA ANGELAE. NONATO E PAVAN (1951)* 1

Recebido para publicação em 28/11/1974

MISAEEL GUEVARA, Universidade Nacional Mayor de San Marcos de Lima, Peru.

ABSTRACT. *Chromocenter-centromere and ectopic pairing in polytene chromosome of various tissues of "Rhynchosciara angelae". Nonato and Pavan (1951).* A comparative cytologic study, on variations of chromocenter and ectopic pairing on polytene chromosomes of salivary gland, intestine and Malpighian tubules during larval development of *R. angelae* was performed.

From analysis of our data we may conclude:

a) Polytene chromosomes of salivary gland, intestine and Malpighian tubules remain joined inside the nucleus through the chromocenter. There exist differences on chromocenter structure which may be related to cell physiologic processes.

b) Polytene chromosomes of those different tissues appear bounded through chromatic filaments (in or between chromosomes).

These structures are more frequent on salivary gland and could be a consequence of chromosomes arrangement inside the nucleus. These filaments binding two regions could have a probable origin on uncoiling of a specific puffing region. These uncoiled filaments should keep joined to other filaments of homologous areas or not on which uncoiling also occur.

RESUMO. Foi feito um estudo citológico comparativo, das modificações do cromocentro e ligações (pareamento ectópico) dos cromossomos politênicos de glândula salivar, intestino e túbulo de Malpighi, durante o desenvolvimento larval de *Rhynchosciara angelae*.

A análise dos resultados obtidos permite-nos concluir:

a) Os cromossomos politênicos da glândula salivar, intestino e túbulos de Malpighi, estão unidos dentro do núcleo através de um cromocentro. Existem diferenças na estrutura do cromocentro, as quais estariam relacionadas com os processos fisiológicos da célula.

b) Os cromossomos dos tecidos estudados apresentam-se ligados através de filamentos cromáticos (ligações intra e intercromossômicas). Estas estruturas que são mais frequentes na glândula salivar seriam para o caso específico de *R. angelae* uma consequência do arranjo cromossômico no interior do núcleo. Esses filamentos que ligam duas regiões, teriam uma provável origem graças à desespiralização de uma zona específica onde tem lugar um "puff". Estes fios, desespiralizados ficariam unidos a outros fios de zonas homólogas ou não, onde ocorreria também descondensação.

INTRODUÇÃO

O CENTRÔMERO ESTÁ RELACIONADO FUNCIONALMENTE com o movimento dos cromossomos durante a mitose. A região centromérica é observada com maior nitidez durante a metáfase ou anáfase mitóticas, onde pode ser detectada como uma estrutura distinta, semelhante a um grumo, através da qual o cromossomo é levado aos pólos (Lima de Faria, 1959).

Normalmente encontramos um centrômero por cromossomo, mas existem organismos em que os cromossomos parecem possuir vários centrômeros ou centrômero difuso, como por exemplo, em alguns escorpiões brasileiros do gênero *Tityus* (Brieger e Kerr, 1949; Rhoades e Kerr, 1949). Encontram-se também centrômeros múltiplos em certos hemípteros (Hughes-Schrader e Ris, 1941; Hughes-Schrader, 1955); eles são também encontrados nos vegetais do gênero *Luzula* (Malheiros e col., 1947).

Existem situações intermediárias entre o centrômero único localizado e o centrômero difuso. Hughes-Schrader e Schrader (1961) verificaram que certas regiões do cromossomo perdiam a capacidade

1. Trabalho realizado no Departamento de Biologia do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, enquanto o autor era Bolsista da Fundação Ford e OEA (1968-71).

* Homenagem ao 70.º aniversário do prof. Giorgio Schreiber.