

ABSTRACT

The Ribeira Orogenic Belt, Brazilian Cicle in metamorphism, has biotite K-Ar ages becoming young from the border (600 Ma) to the central axis (450 Ma). These ages are not related to rock type nor intrusive phase, but to occurrence area. The fact suggests that this wide-ranging age distribution is not due to later thermal events, e.g. post tectonic intrusion, but to slow cooling on the axis zone. The climax metamorphic condition have been estimated as 675°C and 4 to 5 kb (18 km's depth). This temperature is much higher than that of biotite argon retention (310°C). These data indicate that the biotite K-Ar clock have been set fairly after the climax during regional uplift at a depth much shallower than the metamorphism.

Biotite clock setting depth (310°C) is calculated as 7.5 km, using geothermal gradient of 30°C/km. In this connection, uplift of 11.5 km from 600 Ma to 450 Ma (rate of 77 m/m.y.) is estimated. Fission track datings in apatite (110 Ma), combined with a present geothermal gradient (25°C/km) indicate uplift of 3.5 km from 450 Ma to 110 Ma (16 m/m.y.) and 4 km from 110 Ma to the present (35 m/m.y.).

INTRODUÇÃO

A idade isotópica obtida pelo método K-Ar para uma rocha tem um significado físico: representa o tempo decorrido a partir do momento que o sistema estudado (rocha ou mineral) se tornou fechado para os isótopos considerados no processo de datação.

Dentre os vários fatores de caráter geológico que influem neste fechamento, a temperatura é o fator mais importante, sendo que cada mineral tem uma temperatura crítica (temperatura de bloqueio). Abaixo dessa temperatura, o sistema se fecha impedindo a perda de argônio radiogênico produzido pela desintegração do K40. Para a biotita esta temperatura é aproximadamente 310°C (Harrison et al., 1985) e para a hornblenda é 535°C (Harrison et al., 1980). Desta forma a idade isotópica obtida pelo método K-Ar para a biotita de uma rocha significa o tempo a partir do momento de resfriamento abaixo de 310°C até hoje. O significado geológico desta datação vai depender do contexto em que está inserida a amostra estudada. Se é uma rocha plutônica ou produto de metamorfismo regional, o dado obtido representa a arrefecimento a partir da temperatura de 310°C, nada significando quanto ao tempo em que a rocha esteve sob temperaturas superiores. Para uma rocha vulcânica, de resfriamento rápido, a idade encontrada é a da própria formação da rocha. As temperaturas no interior da crosta terrestre também terão influência nesta análise. Se em uma área com gradiente geotermal igual a 30°C/km perfurarmos um poço e coletarmos uma amostra à profundidade de 8 km uma idade K-Ar nula para sua biotita, pois esta rocha ainda não se resfriou abaixo de sua temperatura de bloqueio, não tendo iniciado, portanto, o acúmulo de argônio radiogênico.

No presente trabalho os autores procuram, a partir de datações K-Ar já existentes na literatura sobre a Faixa Ribeira e algumas inéditas, reinterpretar o significado geológico do padrão delineado pelas mesmas levando em consideração a existência do gradiente geotermal e suas implicações na história do seu soerguimento regional. Os autores são gratos ao Prof. O. Siga Jr. pela troca de opiniões e discussões científicas e a todo o corpo técnico científico do Centro de Pesquisa Geocronológicas da USP.

IDADES K-AR EM BIOTITA DA FAIXA OROGÊNICA RIBEIRA

A Faixa Orogênica Ribeira, situa-se na região litorânea do sudeste do Brasil, ao longo dos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo, com cerca de 1000 km de extensão e 100 km de largura, direcionando-se NE-SW (Fig. 1). É constituída principalmente por rochas metamórficas de alto grau e rochas graníticas do fim do Pré-Cambriano: paragneisses com intercalação anfibolítica, gnaisses facoidais, mármore dolomíticos, granulitos, charnoquitos, migmatitos, gnaisses de composição granítica, granitos de textura gnaissica, e granitos tardi- e pós-tectônicos (Fonseca M. et al., 1979). Estes corpos são intrudidos por diques mesozóicos de rochas basálticas e fonolíticas, e por plutons sieníticos, relacionados à abertura do Atlântico Sul. As características petrológicas e associações mineralógicas indicam que o eixo metamórfico central da Faixa Ribeira é situado paralelo e próximo da atual linha costeira, e o grau metamórfico do último metamorfismo diminui da presente linha de costa para o lado interior do continente brasileiro. Isto é, apenas a metade da faixa orogênica está sendo exposta no país (Siga Jr. et al. 1982).

Há um acervo muito grande de dados geocronológicos nesta região. A maior parte são dados K-Ar em biotita e os restantes são em anfibólio, Rb-Sr em rocha total, U-Pb em zircão e titanita e traços de fissão em apatita.

A Fig. 2 apresenta as datações K-Ar em biotita com os respectivos locais de amostragem na área interessada. Pode-se verificar claramente a presença de dois grupos de dados distintos: o primeiro em torno de 2000 Ma corresponde ao Ciclo Transamazônico, distribuído do lado interior do continente (Cráton São Francisco); e o segundo grupo, mais jovem, com 600 Ma, é paralelo à região costeira e corresponde ao Ciclo Brasileiro (Faixa Ribeira). O grupo jovem possui uma tendência acentuada de redução gradativa na idade a partir da borda da faixa orogênica (lado interior, 600 Ma) para o eixo central (região costeira, 450 Ma). Esta tendência é tão evidente que linhas termocrônicas em biotita (biotite thermochron, Harper, 1967) podem ser traçadas no mapa (Fig. 2) resultando num véu metamórfico (metamorphic veil, Armstrong, 1966).

A Fig. 3 apresenta o perfil geocronológico (age-distance section) transversal à Faixa Ribeira. Este diagrama confirma a tendência acima citada na forma de grupos de idades bem separadas em dois patamares: obviamente o mais antigo corresponde ao Ciclo Transamazônico e o mais novo ao Ciclo Brasileiro. No lado interior do continente, as idades transamazônicas são predominantes, e no lado costeiro, apenas idades brasileiras são encontradas. Na zona de transição há um grupo de dados com idades intermediárias, isto é, as idades K-Ar em biotita diminuem da região continental (Cráton São Francisco) para o litoral (Faixa Ribeira), não aparecendo um grupo intermediário expressivo. Este fato sugere que a redução abrupta da idade é devido simplesmente à influência termal do metamorfismo brasileiro sobre o Cráton São Francisco. Isto é, nesta região o Ciclo Uruguiano (1100 Ma) não está presente. Por outro lado, as idades mais jovens diminuem gradativamente do lado continental (600 Ma) para o litoral (450 Ma; Fig. 4). Além disso, estas idades não são relacionadas ao tipo de rocha, mas sim à sua posição no mapa: em uma área determinada, sejam pegmatitos, sejam granitos pós-tectônicos, sejam os tardi-tectônicos, sejam gnaisses encaixantes, possuem todos praticamente a mesma idade K-Ar em biotita.

HISTÓRIA DO RESFRIAMENTO NO EIXO CENTRAL

Datações Rb-Sr em rocha total obtidas na zona do eixo central da Faixa Ribeira (Cordani, 1973; Batista, 1984; etc.) indicam idade brasileira (599.6 ± 10.2 Ma, razão inicial de Sr 0.708; Batista, 1984). Essas são praticamente iguais às K-Ar em biotita da borda noroeste da Faixa Ribeira. Este fato confirma que a época culminante

do metamorfismo ocorreu a 600 Ma.

As idades K-Ar mais jovens, ao redor de 450 Ma., têm sido classicamente atribuídas aos efeitos últimos da orogênia brasileira (Delhal et al., 1969; Cordani et al., 1973; e vários outros). Contudo, como foi mencionado anteriormente, estas idades não estão relacionadas ao tipo de rocha nem à fase de intrusão mas sim à área de ocorrência na Faixa Ribeira. É provável portanto que a distribuição das idades em um período tão amplo, 150 m.a., está condicionada por outros fenômenos geológicos além da orogênia brasileira.

Os dados mais confiáveis sobre a temperatura e pressão culminantes no metamorfismo brasileiro no eixo central são de Helmbold (1975), obtidos com base no estudo da paragênese mineral do Maciço Alcalino de Canaã (Xerém) - RJ. Este é constituído de nefelina sienito gnaisse (litchfieldito) de origem ígnea posicionado entre o metamorfismo brasileiro e o transamazônico (Zimbres, comunicação pessoal). Helmbold obteve, respectivamente, 675°C e 4 a 5 kb, correspondentes a uma profundidade de 18 km. Esta temperatura é ligeiramente mais alta do que a necessária para a homogeneização isotópica de Sr (cerca de 650°C) e muito superior à temperatura de retenção de Ar em biotita (310°C, Harrison et al., 1985). A freqüente ocorrência de zonas de cisalhamento (fluxo dútil) e poucas falhas tectônicas (rompimento rúptil) pré-cambrianas nesta região sugerem também uma temperatura de crosta inferior, certamente mais alta do que 400°C; terremotos crustais (falhas) nas faixas orogênicas atuais ocorrem em profundidades menores que 15 km, que corresponde à temperatura acima indicada. Considerando a grande diferença de temperatura entre o ápice do metamorfismo e a temperatura de bloqueio do Ar em biotita, pode-se concluir que o relógio isotópico K-Ar da biotita iniciou seu funcionamento bem depois do metamorfismo.

HIPÓTESE BASEADA NO SOERGUIMENTO REGIONAL

O resfriamento lento no eixo central da Faixa Orográfica Ribeira não é impossível de ser considerado como devido à variação térmica horizontal reinante no processo orogênético brasileiro. Porém os dados anteriormente apresentados indicam como mais provável a hipótese de que o soerguimento regional após ciclo orogênético jogou um papel importante neste resfriamento, condicionando as idades K-Ar das biotitas.

O gradiente geotérmico em faixas metamórficas fanerozóicas se situa desde 10 a 30°C/km. Portanto para a crosta continental do fim do Proterozóico, 25 a 30°C/km são valores apropriados (Zeitler, 1985).

Conforme os dados anteriores, a profundidade máxima de formação das rochas hoje expostas na superfície foi estimada como sendo 18 km (Helmbold, op.cit.). Isto implica num soerguimento regional correspondente nestes 600 milhões de anos. A temperatura estimada nesta profundidade devida apenas a efeito geotermal é calculada como estando na faixa de 475 (25°C/km) a 565°C (30°C/km). Neste sentido, a temperatura culminante (675°C) do metamorfismo é atribuída em sua grande parte ao efeito geotermal e parcialmente ao aquecimento orogênico. Da mesma forma, o resfriamento depois do metamorfismo também é, na sua maioria, relacionado ao gradiente geotermal, ou em outras palavras, devido ao soerguimento regional. A profundidade de retenção de argônio em biotita pode ser calculada como de 9 a 7.5 km. Ocorreu, portanto, um soerguimento de 9 a 11.5 km durante os primeiros 150 milhões de anos após o ápice metamórfico. Isto dá uma taxa de soerguimento/denudação de 60 a 70 m/m.a.

Datações K-Ar inéditas realizadas em biotita e hornblenda em rochas de um mesmo afloramento da região de Cabo Frio por Zimbres et al. (neste congresso) resultaram em 474 Ma e 571 Ma respectivamente. Considerando que a temperatura de bloqueio da hornblenda é 535°C (Harrison et al., 1980) pode-se calcular em 2.3°C/m.a. a taxa de arrefecimento. Para um gradiente provável de 30°C/km reinante na época, calcula-se a taxa de soerguimento de 77,3 m/ma, bem próxima, portanto, à calculada acima a partir de outras considerações.

Taxas de soerguimento recentes das faixas orogênicas cenozóicas estimadas a partir de datações pelo método de traços de fissão em apatita, combinadas com o gradiente geotermal são: 500 m/m.a. para a Cordilheira dos Alpes nos últimos 10 milhões de anos (Schaer et al., 1975); 800 m/m.a. para Himalaya nos últimos 0.5 m.a. (Zeitler et al., 1982); e 266 m/m.a. para Cordilheira dos Andes nos últimos 12.5 m.a. (Faure, 1986). Estas taxas são aparentemente muito mais alta do que a estimada para a Faixa Ribeira, porém, considerando o período longo (150 milhões de anos) elas bem podem ser comparáveis.

Na Faixa Orográfica Grenville, Canadá, de idade metamórfica proterózoica, Anderson (1988) obteve a taxa média de soerguimento de 110 m/m.a. no período de 1100 a 900 Ma, utilizando dados K-Ar de pares hornblenda-biotita de mesmo afloramento e estimando o gradiente geotermal em 30°C/km. Esta taxa é bem próxima à obtida para a Faixa Ribeira.

O soerguimento total de 18 km simultâneo à denudação corresponde ao desaparecimento de uma cordilheira de altura média de 3300 m, comparável à atual Cordilheira dos Andes, sob codição de compensação isostática (estimando-se as densidades da crosta e do manto respectivamente como 2.67 e 3.33).

Fonseca A. e Poupeau (1984) efetuaram datações de traço de fissão em apatita de amostras coletadas no eixo central da Faixa Ribeira e obtiveram a idade média de 110 Ma. A temperatura de desaparecimento dos traços de fissão (annealing temperature) em apatita é cerca de 120°C, correspondente a uma profundidade de 4 km para um gradiente geotermal de 25°C/km. Esta profundidade é bem provável devido à presença de corpos intrusivos de rochas alcalinas subvulcânicas de idade cretácica na região interessada. Este dado indica uma taxa de soerguimento de 34,5 m/m.a. nos últimos 110 m.a.

Em resumo, os dados acima mencionados permitem concluir a seguinte história de soerguimento no eixo central da Faixa Ribeira (Fig. 5):

De 571 Ma a 474 Ma	---	77,3 m/m.a.
De 474 Ma a 110 Ma	---	15,6 m/m.a.
De 110 Ma até o presente	---	34,5 m/m.a.

O soerguimento relativamente rápido do Mesozóico ao Cenozóico pode ser relacionado à abertura do Atlântico Sul, tal como já observado por Fonseca A. et al. (op.cit.) .

CONCLUSÃO

A redução gradativa das idades K-Ar em biotita da borda noroeste para o eixo central da Faixa Orográfica Ribeira é explicada plenamente por diferenças de soerguimento regional simultâneo à denudação. As rochas que estão expostas hoje à superfície teriam passado pela isoterma de 310 C em momentos distintos resultando no atual panorama termocrônico. Por outro lado, a abrupta redução das idades K-Ar em biotita na zona de contato entre o Cráton São Francisco e a Faixa Ribeira pode ser atribuída à influência termal do metamorfismo brasileiro, sem a necessidade de se supor a presença de um ciclo de idade intermediária entre o Transamazônico e o Brasileiro.

BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON, S.L. - 1988 - Interpretation of K-Ar mineral dates from the Grenville Orogenic Belt. *Amer. J. Sci.* 288, 701-734.
 ARMSTRONG, R.L. - 1966 - K-Ar dating of plutonic and volcanic rocks in orogenic belts. in Schaeffer, O.A. and Zahringer, Potassium argon dating, Springer Verlag, 117-131.
 BATISTA, J.J. - 1984 - Caracterização dos processos geológico evolutivos precambrianos na região de Fão Fidéis, norte do Estado do Rio de Janeiro. Tese de doutoramento, IGUSP, inédito.
 CORDANI, U.G.; DELHAL, J.; LEDENT, D. - 1973 - Orogeneses superposées

- dans le precambrien du Brésil sudoriental. *Rev. Bras. Geoc.*, 3-1, 1-22.
- DELHAL, J.; LEDENT, D.; CORDANI U.G. - 1969 - Ages Pb-U, Sr-Rb e Ar-K deformations metamorphiques et granitiques du sudest du Brésil (états de Rio de Janeiro et de Minas Gerais). *Ann. Soc. Geol. Belgique*, 92, 271-283.
- FAURE, G. - 1986 - Principles of isotope geology. John Wiley & Sons Edt., 589 p.
- FONSECA, A.C.; POUPEAU, G. - 1984 - Datação por traços de fissão de algumas rochas metamórficas na região da Cidade do Rio de Janeiro. *An. XXXIII Congr. Bras. Geol.* 7, 2321-2332.
- FONSECA, M.J.G.; SILVA, Z.C.G.; CAMPOS, D.A.; TOZATTO, P. - 1979 - Mapa do Brasil ao milionésimo, Folha Rio de Janeiro - Iguape. Texto explicativo 240 p. DNPM-RJ.
- HARPER, C.T. - 1967 - On the interpretation of potassium - argon ages from Precambrian shields and Phanerozoic orogens. *Earth and Planet. Sci. Letters*, 3, 128-132.
- HARRISON, T.M.; MACDOUGALL, I. - 1980 - Investigation of an intrusive contact, northwest Nelson, New Zealand, II: Diffusion of radiogenic and excess ^{40}Ar in hornblend revealed by ^{40}Ar - ^{39}Ar age spectrum analysis. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 44, 2005-2020.
- HARRISON, T.M.; DUNCAN, I.; MACDOUGALL, I. - 1985 - Diffusion of ^{40}Ar in biotite: temperature, pressure and compositional effects. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 49, 2461-2468.
- HELMBOLD, R. - 1975 - Erster prakambrischer Nephelinsyenit in Südamerika: Ein Biotit-Litchfieldit bei Rio de Janeiro, Brasilien. *Geologica et Palaeontologica*, 9, 3-39.
- SHAER, J.P.; REINER, G.M.; WAGNER, G.A. (1975), Actual and ancient uplift rate in the Gothard region, Swiss Alps: A comparison between precise leveling and fission - track apatite age. *Tectonophysics*, 29, 293.
- SIGA Jr., O.; TEIXEIRA, W.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; DELHAL, J. - 1982 - O padrão geológico - geocronológico das rochas de alto grau da parte setentrional da faixa Ribeira, a norte do Rio de Janeiro, Brasil. *V Congr. Latinoamer. Geol., Actas* 1, 349-370.
- ZEITLER, P.K.; JONHSON, N.M.; NAESER, C.W.; TAHIRKHELI, R.A.K.I. - 1982 - Fission track evidence for Quaternary uplift of the Nang Porbat region, Pakistan. *Nature*, 298, 255.
- ZIMBRES, E.; KAWASHITA, K.; VAN SCHMUS, W.R. - 1990 - Evidências de um núcleo transamazônico na região de Cabo Frio, RJ e sua correlação com o cráton de Angola, África. *An. XXXVI Cong. Bras. Geol.* in press.

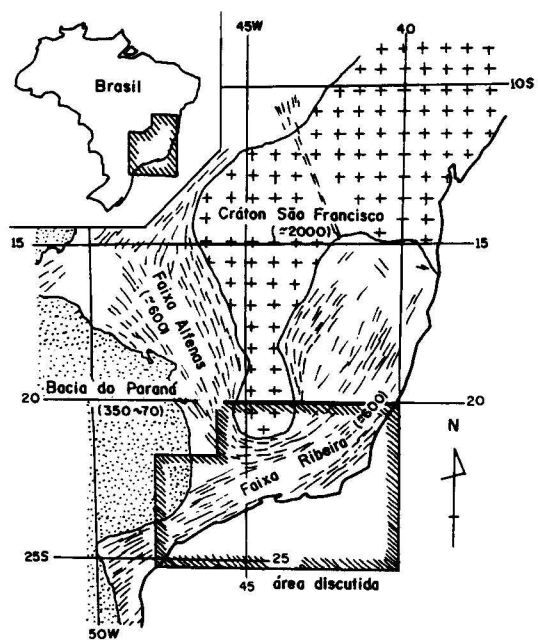


Fig. 1 - Mapa de localização da Faixa Ribeira

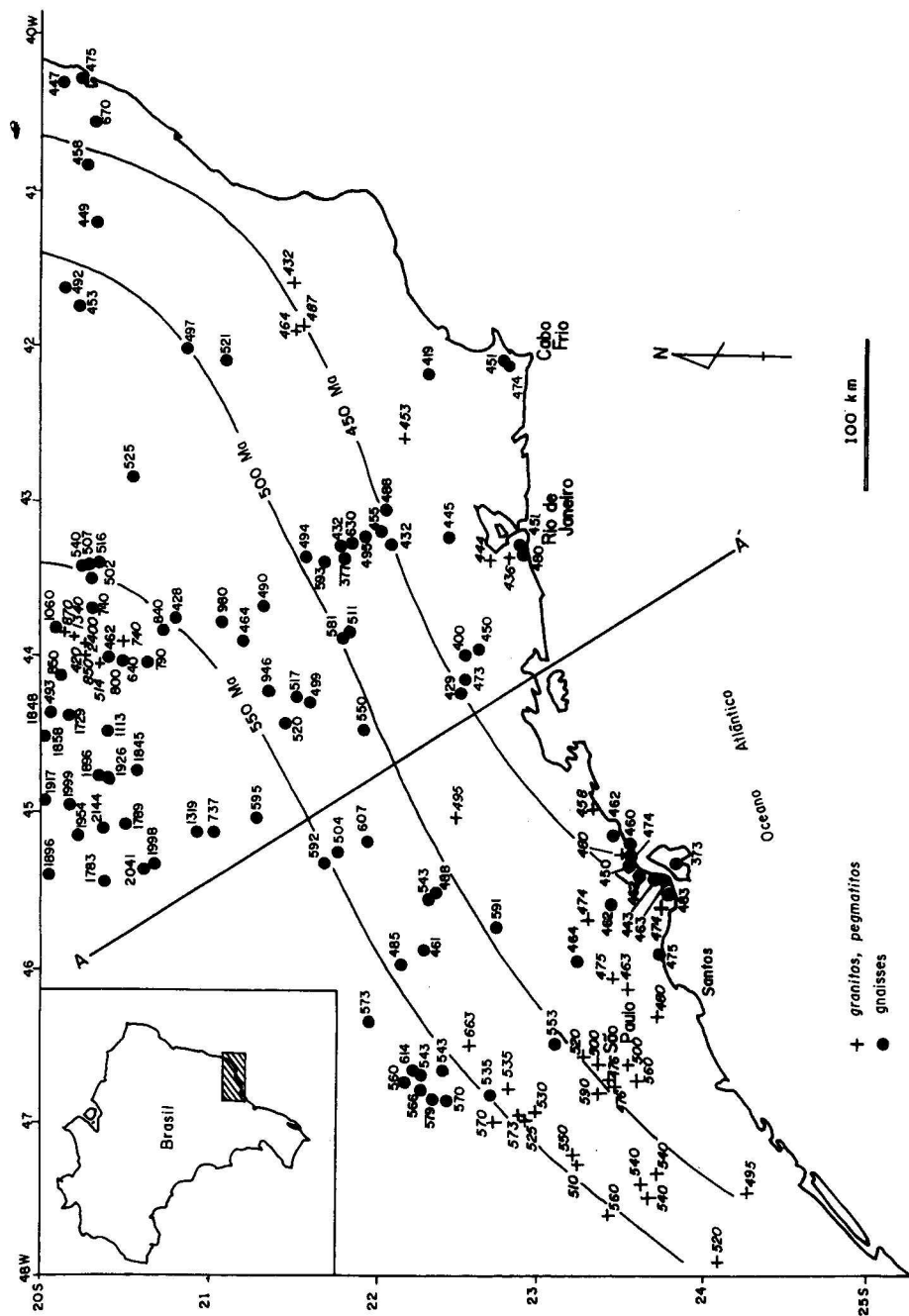


Fig. 2 - Mapa termocrônico de biotita da Faixa Ribeira

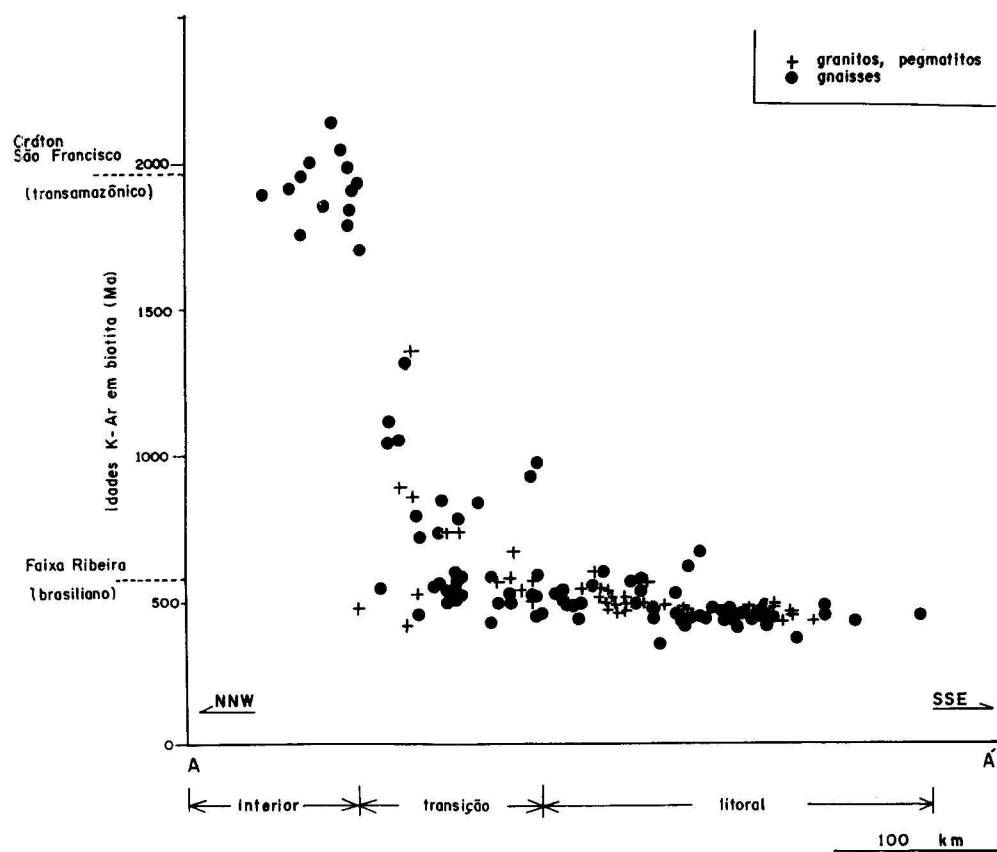


Fig. 3 - Perfil geocronológico K-Ar em biotita (age-distance section) da Faixa Ribeira

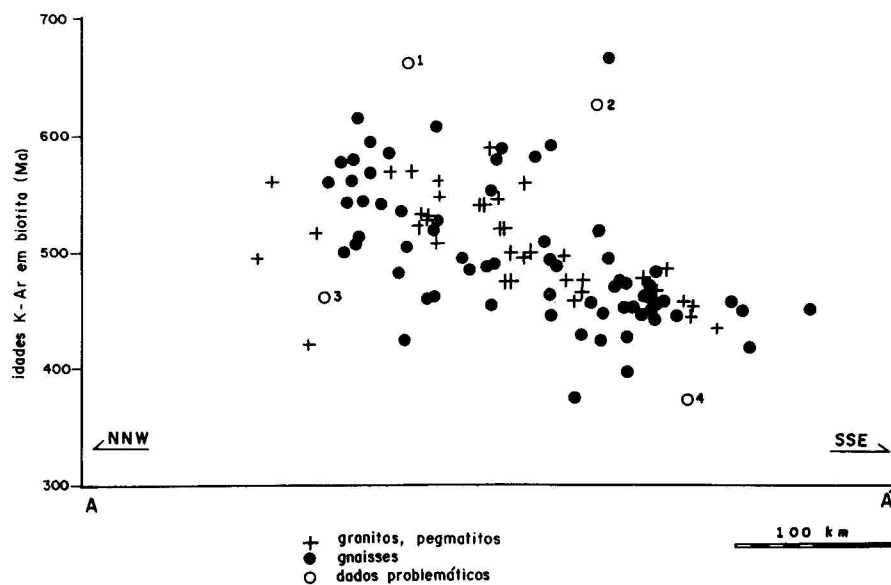


Fig. 4 - Detalhe da Fig. 3: para os dados mais j6ves do que 700 Ma.

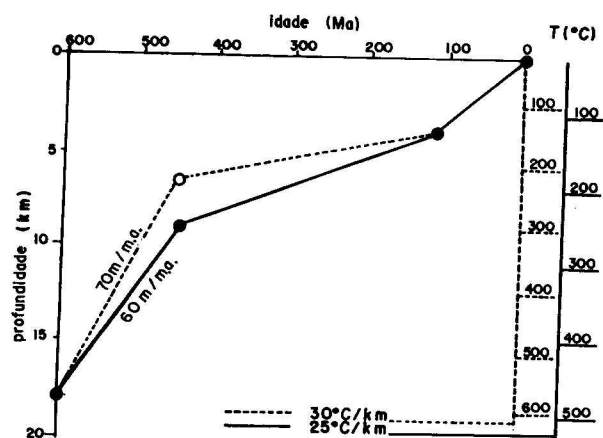


Fig. 5 - Histórias do soerguimento do eixo central da Faixa Ribeira, proposta pelo presente trabalho.