

DADOS PRELIMINARES DE IDADES DE OBSIDIANAS DO EQUADOR PELO MÉTODO DOS TRAÇOS DE FISSÃO

A.M. OSORIO¹, J.C. HADLER N.¹, G. BIGAZZI², P. NORELLI², M. COLTELLI³ & E. SALAZAR⁴

Utilizou-se a datação pelo método dos traços de fissão para se obter as idades de amostras de vidro vulcânico do Equador, coletadas dos derrames Mullumica e Callejones. Dados preliminares mostram que a razão entre o diâmetro médio dos traços fósseis e induzidos é ~ 0,9, o que indica que aquelas amostras, embora jovens, sofreram um pequeno "fading" desde a sua solidificação. Obteve-se idades aparentes de $0,2 \times 10^6$ a concordantes com resultados obtidos por Miller & Wagner em obsidianas da mesma região. Utilizou-se o método do "plateau" para corrigir as idades aparentes das amostras e obteve-se idades entre $0,17 \times 10^6$ a e $0,23 \times 10^6$ a. Estes dados preliminares formam parte de um estudo de derrames de obsidianas da província de El Napo, Oyacachi, Equador.

OBSIDIAN AGES FROM ECUADOR BY THE FISSION TRACK DATING – Fission track dating was applied in order to study obsidian samples originated from Mullumica and Callejones flows, Oyacachi, Ecuador. Preliminary data show that the ratio between the mean diameter of spontaneous and induced tracks is about 0.9, an indication that the analysed samples were submitted to small fading during their geological histories. Ages were obtained around 0.2×10^6 a, in agreement with Miller & Wagner's results. Ages ranging from 0.17×10^6 a up to 0.23×10^6 a were obtained correcting the apparent ages by means of the plateau method.

I. INTRODUÇÃO

Este trabalho faz parte de um estudo que visa datar através do método dos traços de fissão, M.T.F. – método desenvolvido a partir do início dos anos 60 por Fleischer, Price e Walker (Fleischer et al., 1975) – amostras de diferentes derrames de obsidianas do Equador. Aqui são apresentados os resultados obtidos nos derrames Mullumica e Callejones, situados em Oyacachi, Fig. 1. Utilizou-se o método da população; a distribuição do urânio nas obsidianas apresentou-se uniforme. Nos materiais vítreos, como é o caso da obsidiana e do vidro vulcânico, após um ataque químico adequado (etching), os diâmetros dos traços (circulares ou ovóides) são parâmetros que podem ser medidos e contêm informações importantes sobre a história geológica da amostra.

Obteve-se diâmetros médios D_S e D_I e densidades superficiais ρ_S e ρ_I , onde S e I referem-se aos tra-

ços de fissão espontânea e induzida, respectivamente. Observou-se que a razão entre os diâmetros médios, D_S/D_I , situou-se entre 0,9 e 1,0 o que indica que as amostras sofreram um "fading" pequeno, quase desprezível, durante suas histórias geológicas. Para corrigir o efeito deste pequeno "fading" e se obter a idade verdadeira da amostra, foi utilizado o método do "plateau" (Storzer & Poupeau, 1973).

II. MÉTODO DE DATAÇÃO E CORREÇÃO DAS IDADES

As obsidianas, assim como outros materiais vulcânicos, contêm urânio como impureza, em quantidades da ordem de ppm. O urânio-238, o isótopo mais abundante do urânio natural, tem uma certa probabilidade de se fissionar espontaneamente, e quando isto ocorre é produzido no interior da amostra uma zona completamente desarranjada devido à grande energia

¹ Departamento de Raios Cósmicos e Cronologia, IFGW-UNICAMP, Campinas, SP.

² Istituto di Geocronologia e Geochimica Isotopica, CNR-Pisa, Itália.

³ Istituto Internazionale di Vulcanologia, CNR-Catania, Itália.

⁴ Unidade de Arqueologia, Museo del Banco Central, Quito, Equador.

cinética, carga e massa dos fragmentos de fissão. Esta região chama-se traço latente. Embora sejam os traços latentes de fissão espontânea os "portadores" da informação sobre a idade da amostra, irradia-se também a amostra (ou pedaço dela) com neutrons térmicos de modo a induzir a fissão do urânio-235 (Fleischer & Price, 1964). Tem-se então duas equações, a correspondente aos traços de fissão espontânea e a correspondente aos traços de fissão induzida, cuja razão permite cancelar parâmetros comuns, que são difíceis de se medir, como concentração de urânio da amostra e sua eficiência ϵ , como detetor de traços de fissão.

Se a amostra é jovem comparada com a meia vida do urânio-238, $4,5 \times 10^9$ a, de modo que se pode considerar constante a sua concentração de urânio, utiliza-se a equação abaixo para se calcular sua idade com o M.T.F. (Price & Walker, 1963):

$$T = \frac{\sigma\phi}{\lambda_F\eta} \times \frac{\rho_S}{\rho_I} \quad (1)$$

onde σ é a seção de choque para fissão do urânio-235 induzida por neutrons térmicos, ϕ é a fluência de neutrons térmicos com que é irradiada a amostra, λ_F é a constante de desintegração, por fissão espontânea, do urânio-238, η é a razão entre as concentrações do urânio-235 e do urânio-238, U^{235}/U^{238} , e ρ_S/ρ_I é a razão entre a densidade de traços espontâneos e induzidos.

Os traços de fissão espontânea podem ter diminuídas as suas dimensões (e consequentemente a sua densidade superficial), ou até mesmo serem apagados, como efeito do aumento da recombinação molecular

produzida por temperaturas elevadas, fenômeno este chamado "fading". Em certos materiais, como é o caso dos vidros vulcânicos, temperaturas ambientes durante tempos geológicos podem produzir "fadings" não desprezíveis.

A eq. (1), que é usualmente utilizada para se calcular a idade pelo M.T.F., foi obtida assumindo-se que $\epsilon^{238} = \epsilon^{235}$ (ϵ^{238} e ϵ^{235} sendo fatores de eficiência relacionados com os traços de fissão espontânea e induzida, respectivamente), mas havendo "fading", ou seja $\epsilon^{238} < \epsilon^{235}$, ρ_S estará subestimado e consequentemente a idade obtida através da eq. (1) será uma idade aparente menor do que a idade verdadeira. Neste caso, a formulação correta da idade é dada por:

$$T = \frac{\sigma\phi}{\lambda_F\eta} \times \frac{\rho_S}{\rho_I} \times \frac{\epsilon^{235}}{\epsilon^{238}} \quad (2)$$

Existem dois métodos de correção da idade aparente e ambos constituem modos diferentes de levar em conta o fato de que $\epsilon^{238} < \epsilon^{235}$ (Bernardes et al., 1986). No método de correção pelo tamanho dos traços (Storzer & Wagner, 1969) se determina indiretamente, através de uma curva de correção feita em laboratório, a razão $\epsilon^{238}/\epsilon^{235}$ que é a perda dos traços de fissão espontânea devido ao "fading" e, no método do "plateau" (Storzer & Poupeau, 1973) se objetiva atingir a condição $\epsilon^{238} = \epsilon^{235}$ através da produção, na prática, do mesmo grau de "fading" sobre os dois tipos de traços ("fading" natural mais "fading" artificial, para os traços de fissão espontânea, e "fading" artificial, para os traços de fissão induzida).

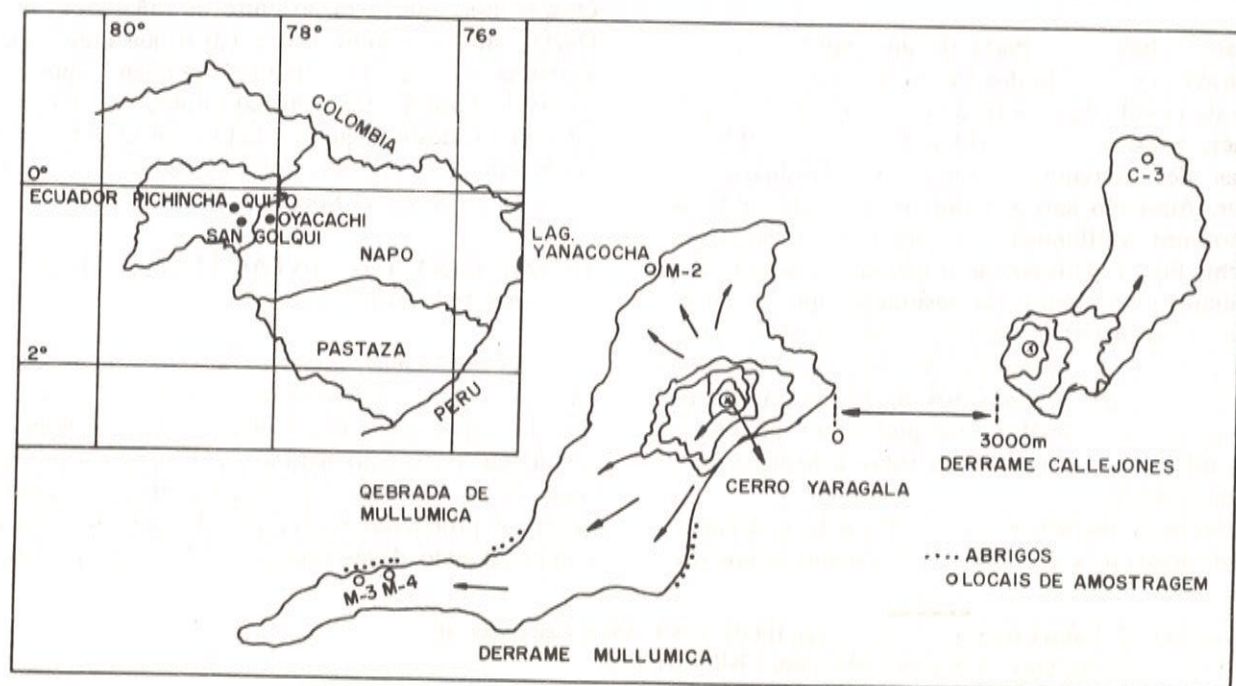


Figura 1. Derrames Mullumica e Callejones e localização das amostras estudadas.

Figure 1. Mullumica and Callejones flows including locations where the studied samples were collected.

Neste trabalho utilizamos o método do "plateau" para corrigir as idades aparentes das amostras. Para isto aquecemos, de forma crescente, amostras contendo traços de fissão espontânea e amostras contendo traços de fissão induzida. Para cada aquecimento mede-se as densidades superficiais e os diâmetros* dos traços; prossegue-se este tratamento até que se obtenha que: i) ρ_S/ρ_I dê um valor aproximadamente constante e ii) $D_S/D_I = 1$, isto é, a razão entre os fatores de eficiência é igual a 1. Nestas condições as idades não são mais afetadas por aquecimento mais intensos, até um certo limite, e correspondem à idade do "plateau", que representa a idade verdadeira da amostra.

III. AMOSTRAS

Os derrames Mullumica e Callejones estão próximos e se encontram em Oyacachi (Fig. 1). O derrame de Mullumica é um grande episódio vulcânico recente e originado, aparentemente, no cerro Yaragala (4493 m de altura). É provável que também Callejones seja um grande derrame vulcânico recente. As quatro amostras foram coletadas nos pontos indicados na Fig. 1.

As obsidianas acima citadas, apresentam diferentes texturas (desde o vidro vulcânico puro, até a obsidiana rugosa que pode ser devido a um processo de cristalização incipiente) com cores características, que não são encontradas em derrames de regiões próximas (Salazar, 1985).

IV. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Fragments centimétricos de obsidianas foram cortados em lâminas e separados em dois grupos: um deles foi reservado para a determinação de ρ_S e o outro irradiado no reator nuclear do IPEN-CNEN, SP, com uma fluência de neutrons térmicos de $1,61 \times 10^{15}$ n/cm². Para se obter esta fluência de neutrons utilizamos um vidro padrão 962 do NBS (National Bureau of Standards). Os vidros padrões do NBS vêm em conjuntos de seis unidades: quatro deles são utilizados nas irradiações para medidas de fluências e os outros dois são vidros de referência, ou seja, foram irradiados com uma fluência de neutrons térmicos conhecida (determinada através de dosimetria de folhas de Au) no reator do NBS: um na posição denominada RT3 daquele reator e o outro na posição RT4.

A medida da fluência citada acima foi obtida comparando-se as densidades superficiais de traços de fissão do vidro 962 irradiado no IPEN-CNEN, com a média aritmética das densidades superficiais dos dois vidros de referência. Este procedimento e problemas relacionados com a dosimetria de neutrons dentro do M.T.F., estão amplamente discutidos em Bigazzi et al.

(1990), Bigazzi & Hadler (1989) e Van Den Haute et al. (1988).

Posteriormente, as amostras foram montadas em resina e polidas o suficiente para a obtenção de superfícies internas. Para revelar os traços de fissão a serem analisados ao microscópio óptico, as montagens foram submetidas a um ataque químico padrão de 25% HF - 150°C - 4' e em seguida mediu-se os diâmetros e densidades superficiais dos dois tipos de traços.

V. RESULTADOS

Poucos são os dados publicados na literatura e pouco se conhece também sobre a cronologia de derrames de obsidiana do Equador. Segundo Salazar (1985), Mullumica teria uma idade situada entre $0,15 \times 10^6$ a e $0,18 \times 10^6$ a. Alguns dados obtidos pelo M.T.F., Arias et al. (1986) e Miller & Wagner (1981), de amostras de obsidianas de diferentes regiões do Equador, são de amostras coletadas em sítios arqueológicos, outros são de amostras geológicas coletadas *in situ*. As amostras M1 e M2 do trabalho de Miller & Wagner, citado acima, foram coletadas no derrame Mullumica, sendo suas idades aparentes de aproximadamente $0,2 \times 10^6$ a.

Os nossos resultados mostram: i) razões entre os diâmetros médios dos traços, D_S/D_I , situando-se entre 0,91 e 0,96, uma evidência de que o "fading" a que foram submetidas as amostras foi relativamente pequeno, resultando em diferenças da ordem de 20% entre as idades aparentes e as idades corrigidas e ii) valores razoavelmente concordantes de ρ_S/ρ_I e idade para as amostras originadas dos dois derrames.

Analisando-se a Tab. 1, notamos fortes evidências de que as amostras M1 e M2 de Miller & Wagner (6) e as amostras M-3 e M-4 analisadas em nosso trabalho tratar-se-iam da mesma lava, visto que: i) os ρ_S são semelhantes, ii) os ρ_I que seriam obtidos se Miller & Wagner tivessem utilizado nossa fluência são semelhantes aos ρ_I que nós obtivemos e iii) as idades aparentes são concordantes, dentro do erro experimental.

As amostras CH37/A, CH37/B e CH577, coletadas em regiões próximas à de Oyacachi (Arias et al., 1986), apresentam características diferentes das que analisamos (ρ_S , D_S/D_I e idade aparente) e são nitidamente mais antigas; isto significa que: i) os derrames de Mullumica e Callejones não foram origens dos manufaturados CH37/A e CH37/B e ii) há na região estudada outros derrames mais antigos representados pela amostra CH577 (coletada *in situ*) e pelos manufaturados CH37/A e CH37/B, cuja origem é desconhecida, até hoje.

* Após o ataque químico, traços de fissão em obsidianas têm forma arredondada ou elipsoidal, devido à isotropia do ataque (Fleischer et al., 1975); o que se mede comumente é o diâmetro maior dos traços.

Tabela 1. Resultados da datação de amostras dos derrames Mullumica e Callejones e resultados obtidos por Arias et al. (1986), (1), e Miller & Wagner (1981), (6). $\rho_S(\rho_I)$: densidades superficiais dos traços espontâneos (induzidos), $n_{S(I)}$: números totais de traços espontâneos (induzidos) contados. *: amostras irradiadas no reator de Pavia, Itália. +: densidades, ρ_I , normalizadas para a fluência utilizada neste trabalho. Tap: idade aparente. Tcor: idade corrigida segundo método do "plateau", (P), ou pelo método de correção pelo tamanho dos traços, (S). (AM) e (G) se referem a medidas feitas por dois observadores diferentes.

Table 1. Dating results of obsidian samples from Ecuador. Samples whose identification are followed by superscripts (1) and (6) were dated by Arias et al. (1986) and Miller & Wagner (1981), respectively. The other samples, from Mullumica and Callejones flows, were dated in this work. $\rho_S(\rho_I)$: superficial densities of spontaneous (induced) tracks. $n_{S(I)}$: total counted number of spontaneous (induced) tracks. The superscript * identifies the samples irradiated at the nuclear reactor of Pavia University. The superscript + indicates that the numerical values of ρ_I were normalized to the neutron fluence used in this work. Tap: apparent age. Tcor: corrected age; (P) or (S) beside the corrected age indicates the employment of plateau or size correction methods, respectively.

Amostras	ρ_S (n_S)	ρ_I (n_I)	ρ_I ($\times 10^5$)	D_S/D_I	Tap ($\times 10^6$ a)	Tcor ($\times 10^6$ a)
CH-577 ⁽¹⁾ (Pifo)	732 (150)	11800 (611)	1,21 ⁺	0,84	0,60	0,81 \pm 0,08 (P)
CH37/A ⁽¹⁾ (Pintag)	4370 (853)	420000 (1035)	3,12 ⁺	0,77	1,39	2,20 \pm 0,15 (S)
CH37/B ⁽¹⁾ (Pintag)	615 (204)	400000 (1221)	2,97 ⁺	0,74	0,21	0,34 \pm 0,03 (S)
Mullumica ⁽⁶⁾						
M1	450	62800	1,97 ⁺		0,19	
M2	520	62000	1,96 ⁺		0,21	
M-2	440 (111)	244000 (1054)	2,44	0,96	0,18 \pm 0,02	0,21 \pm 0,02 (P) (2h - 200°C)
M-3	420 (163)	264000 (2180)	2,64	0,91	0,19 \pm 0,02	0,19 \pm 0,02 (P) (2h - 200°C)
M-4	380 (181)	240000 (2162)	2,40	0,95	0,16 \pm 0,01	0,17 \pm 0,02 (P) (2h - 200°C)
C-3	360 (91)	204000 (1935)	2,04	0,95	0,17 \pm 0,02	0,23 \pm 0,02 (P) (3h - 300°C)
M-3* (AM)	387 (122)	21900 (969)	2,17 ⁺	0,94	0,18 \pm 0,02	
M-3* (G)	400 (205)	241000 (1135)	2,39 ⁺	0,91	0,17 \pm 0,02	
C-3* (AM)	510 (141)	218000 (1006)	2,16 ⁺	0,90	0,23 \pm 0,02	

CONCLUSÕES

A boa concordância, que se observa na Tab. 1, entre as idades aparentes das amostras M1 e M2, analisadas por Miller & Wagner (1981), as idades aparentes das amostras M-3 e M-4, analisadas neste trabalho, e entre as idades aparentes para outras lâminas das amostras M-3 e C-3, indicadas como M-3* e C-3* (que foram irradiadas com uma fluência de neutrons de $1,6 \times 10^{15}$ n/cm² no reator de Pavia, Itália, e posteriormente submetidas a um ataque químico de 20% HF - 40°C - 120"), é um bom indicador da potencialidade do M.T.F.

A amostra C-3, do derrame Callejones, apresenta dados semelhantes aos de Mullumica (idade, ρ_S e ρ_I), porém, levando-se em conta o pequeno número de amostras que foram analisadas, é arriscado se afirmar que o fato acima indica que aquelas amostras poderiam pertencer a um mesmo derrame, já que a distância mais próxima daqueles derrames é de aproximadamente 3000 m. Neste sentido é mais prudente se esperar por uma nova análise geológica (o que está em curso), onde outras evidências, além de idades, são levadas em conta.

Os resultados obtidos neste trabalho mostram que os derrames Mullumica e Callejones são pleistocênicos, do período quaternário, conforme Salazar (1985).

REFERÊNCIAS

- ARIAS, C., BERNARDES, C., BIGAZZI, G., BONADONNA, F.P., CESAR, M.F., HADLER, J.C.N., LATTES, C.M.G., OLIVEIRA, J.X., ARAYA, A.M.O. & RADI, G. - 1986 - Identificação da proveniência de manufaturados de obsidiana através da datação com o método do traço de fissão. *Ciência e Cultura*, **38**: 285-308.
- BERNARDES, C., HADLER, J.C.N., LATTES, C.M.G., ARAYA, A.M.O., BIGAZZI, G., BONADONNA, F.P. & CESAR, M.F. - 1986 - Fission track dating of volcanic glass: experimental evidence for the validity of the size-correction method. *Rev. Física Aplicada e Instr.*, **1**: 288-310.
- BIGAZZI, G., HADLER, J.C.N., IUNES, P.J., ODDONE, M., PAULO, S.R. & POUPEAU, G. - 1990 - On neutron dosimetry: comparison between different dosimeters, a preliminary result. *Nucl. Tracks Radiat. Meas.*, **17**: 217-221.
- BIGAZZI, G. & HADLER, J.C. - 1989 - Errori di conteggio ed errori sistematici nella datazione con il metodo delle tracce di fissione. *Boll. Soc. Geol. It.*, **108**: 325-350.
- FLEISCHER, R.L. & PRICE, P.B. - 1964 - Techniques for geological dating of minerals by chemical etching of fission fragment tracks. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **28**: 1705-1714.
- FLEISCHER, R.L., PRICE, P.B. & WALKER, R.M. - 1975 - Nuclear tracks in solids, principles and applications. University of California Press, 1-605.
- MILLER, D. & WAGNER, G. - 1981 - Fission track ages applied to obsidian artifacts from South America using the plateau-annealing and the track-size age-correction techniques. *Nucl. Tracks*, **5**: 147-155.
- PRICE, P.B. & WALKER, R.M. - 1963 - Fossil tracks of charged particles in mica and age of minerals. *J. Geophys. Rev.*, **68**: 4847-4862.
- SALAZAR, F. - 1985 - Investigaciones arqueológicas en Mullumica (provincia del Pichincha). *Miscelânea Antropológica Ecuatoriana*, **5**: 130-160.
- STORZER, D. & POUPEAU, G. - 1973 - Ages-plateau de mineraux et verres par le méthode des traces de fission. *c.r. Hebd. Séanc. Acad. Sci. Paris, série D*, **276**: 137-139.
- STORZER, D. & WAGNER, G.A. - 1969 - Correction of thermally lowered fission track ages of tektites. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **5**: 463-468.
- VAN DEN HAUTE, P., JONCKHEERE, R. & CORTE, F. de - 1988 - Thermal neutron fluence determination for fission-track dating with metal activation monitors: a re-investigation. *Chem. Geol.*, **73**: 233-244.

Versão recebida em: 21/09/89

Versão revista e aceita em: 30/10/90

Editor: M.S.M. Mantovani