

PRIMEIROS RESULTADOS DA DATAÇÃO Pb-Pb EM DIAMANTES CARBONADOS DA CHAPADA DIAMANTINA (BA) E RIO JEQUITINHONHA (MG), SERRA DO ESPINHAÇO

MARIO LUIZ DE SÁ CARNEIRO CHAVES¹, MAURO CÉSAR GERALDES², YUJI SANO³ & LUIS CHAMBEL⁴

Resumo No Brasil, carbonados ocorrem principalmente na Serra do Espinhaço, associados a rochas conglomeráticas do Supergrupo Espinhaço. São reportadas idades radiométricas Pb-Pb sobre inclusões minerais (quartzo, rutilo e argila) e matriz de carbonados das regiões de Andaraí e do Rio Jequitinhonha. Tais idades, respectivamente de $3,8 \pm 1,8$ Ga e $3,3 \pm 0,7$ Ga, embora com larga margem de erro experimental, são de forte interesse geológico regional. A idade mínima ($\approx 2,5$ Ga) indica a formação dos carbonados anteriormente à deposição do Supergrupo Espinhaço ($\approx 1,7$ Ga). Outras evidências apontam esta idade mínima como somente a de agregação dos "gêrmens", em ambiente rico em partículas altamente energéticas de fonte radioativa, quando as inclusões de origem crustal foram agregadas.

Palavras-chaves: Carbonado, geocronologia, Serra do Espinhaço.

Abstract *FIRST Pb-Pb DATING RESULTS FROM CARBONADO DIAMONDS FROM CHAPADA DIAMANTINA (BA) AND JEQUITINHONHA RIVER (MG), ESPINHAÇO RANGE* Most carbonados found in Brazil occur along the Espinhaço Range, associated to conglomeratic rocks of the Espinhaço Supergroup. This paper presents Pb-Pb radiometric ages on mineral inclusions (quartz, rutile and clay) and matrix of carbonados from the Andaraí and Jequitinhonha River areas. Even with a large experimental error, the results obtained of $3,8 \pm 1,8$ Ga and $3,3 \pm 0,7$ Ga respectively, are of regional geologic interest. The minimum carbonado formation age (ca. 2,5 Ga) is older than the Espinhaço Supergroup deposition age ($\approx 1,7$ Ga). Other evidences suggest that this minimum age corresponds to the seed aggregation phase; the crustal inclusions being aggregated in an environment rich in high-energy radioactive particles.

Keywords: Carbonado, geochronology, Espinhaço Range.

INTRODUÇÃO Diamantes da variedade carbonado ocorrem principalmente no Brasil e na República Centro-Africana (RCA). Os principais depósitos brasileiros, em aluviões recentes, concentram-se ao longo da Serra do Espinhaço: Chapada Diamantina-BA e rios Macaúbas/Jequitinhonha, ao sul de Grão Mogol-MG (Fig. 1). O carbonado, uma variedade policristalina do diamante cujo tamanho dos indivíduos é mínimo (em geral na faixa de 20-100 μ), possui grande utilidade industrial, fazendo com que seja alvo de incessantes estudos sobre suas condições genéticas, tendo em vista a fabricação de produtos sintéticos semelhantes. Tal variedade também possui importância por se associar regionalmente a seqüências pré-cambrianas, onde o ambiente de cristalização do material é totalmente especulativo. Nesta breve nota, pretende-se reportar os resultados de datações Pb-Pb sobre minerais inclusos e da matriz de carbonados das citadas regiões, e os desdobramentos geológicos que tais informações podem fornecer.

CONTEXTO GEOLÓGICO A Serra do Espinhaço envolve extensa faixa linear norte-sul, que inicia a leste de Belo Horizonte (MG), desenvolve-se para o norte margeando o Cráton do São

Francisco, e adentra o Estado da Bahia bifurcando-se em vários segmentos até a região limítrofe com o Piauí. Tal extensão tem permitido sua subdivisão em diversos domínios geotectônicos, designados de Espinhaço Meridional (MG), Espinhaço Central (MG/BA), Espinhaço Setentrional (BA/PI) e Chapada Diamantina (BA). Nesta ampla região (Fig. 1), o espigão serrano é na maior parte constituído pelo Supergrupo Espinhaço, composto por sedimentos clásticos metamorfizados em baixo grau (quartzitos, filitos e conglomerados), com raras intercalações de rochas vulcânicas (na base) e carbonáticas (no topo). Diamantes e carbonados no Espinhaço, embora recuperados de aluviões, nitidamente se associam a faixas de rochas conglomeráticas que ocorrem, na Chapada Diamantina, em camadas espessas de até 100m na Formação Tombador (Schobbenhaus 1973) e, no Espinhaço Central, em delgadas lentes (<5m) na Formação Grão Mogol (Chaves et al. 1999).

As formações Tombador e Grão Mogol são de origem tipicamente fluvial e/ou de leques aluviais, posteriores a um mega-evento deposicional cólico que alcança até 2.000 m de espessura; no Espinhaço Meridional é conhecido como Formação Galho do Miguel, no Espinhaço Central como Formação Resplandecente e

1 - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos 6627, Belo Horizonte-MG, CEP 31.170-910. Pesquisador CNPq. E-mail: mchaves@igc.ufmg.br

2 - Tektos, Faculdade de Geologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rua São Francisco Xavier 524, Rio de Janeiro-RJ, CEP 20.559-900. E-mail: gerald@uerj.br

3 - Center for Environmental Research, University of Tokyo 1-15-1, Minamidai, Tokyo 164-8639, Japan. E-mail: ysano@ori.u-tokyo.ac.jp

4 - Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal. E-mail: luischambel@sinesp.pt

na Chapada Diamantina como Grupo Paraguaçu (ver discussões em Chaves *et al.* 1999, Martins-Neto 1998, Schobbenhaus 1993). No Espinhaço Meridional não se conhecem depósitos diamantíferos acima da Formação Galho do Miguel, e os diamantes, monocristalinos, se associam a unidades inferiores. De real importância geológica, é o fato que no Espinhaço Central/Chapada Diamantina, os conglomerados das formações Grão Mogol/Tombador são possuidores tanto de diamantes comuns como de carbonados. Tais depósitos distanciam-se entre si em pelo menos 600 km, excluindo-se qualquer possibilidade “fortuita” de ocorrência conjunta de diamantes e carbonados nas citadas formações.

DATAÇÕES Pb-Pb A Tabela 1 apresenta as relações $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ e $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de inclusões de quartzo/rutilo da amostra GM-01 (Rio Jequitinhonha-MG), e de inclusões argilosas e matriz da amostra DO-03 (Andaraí-BA). Números seqüenciados, como “Q727.1” e “Q727.2” indicam diferentes pontos em um mesmo grão; novo número como “Q727.6.1” e “Q727.6.2”, indica medição no mesmo ponto em outro momento, sendo porém a segunda

medição cerca de 1 μ mais profunda que a primeira. Devem ser ressaltadas variações importantes na composição isotópica do Pb em um mesmo ponto sob diferentes profundidades.

A figura 2 mostra os diagramas de correlação $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ versus $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ para inclusões de quartzo/rutilo no carbonado GM-01 (Fig.2A/2B), e da matriz do carbonado DO-03 (Fig.2C). Os dados utilizados foram corrigidos em relação ao Pb moderno de $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=18,70$; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15,63$ e $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=38,63$ (Sano *et al.* 2002). Existe uma correlação positiva das razões $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ e $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ entre quartzo e rutilo, explicada pela presença de $^{207}\text{Pb}^*$ - $^{206}\text{Pb}^*$ radiogênico ou pela mistura entre as componentes Pb radiogênico e Pb comum. Atribuindo-se tal correlação positiva ao Pb radiogênico, o ajuste dos mínimos quadrados (método York), fornece a idade isocrônica $^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$ de $3.247\pm 800\text{Ma}$ para o quartzo, e $3.916\pm 1.300\text{Ma}$ para o rutilo. No diagrama, o *trend* de distribuição de dados do quartzo é idêntico ao do rutilo e assim, levando em consideração todos os dados, a idade $^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$ de $3.315\pm 720\text{Ma}$ representa a idade de formação das inclusões do carbonado GM-01.

Em relação aos dados isotópicos do Pb obtidos na inclusão argilosa do carbonado DO-03, a maior parte desses é similar ao Pb moderno e também aos valores obtidos para as inclusões de quartzo/rutilo do carbonado do Rio Jequitinhonha (Tabela 1). Esses dados não forneceram qualquer idade isocrônica $^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$. De outra forma, observa-se a existência de uma correlação positiva entre as relações $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ e $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ na matriz da amostra (Fig.2-C). Se isto for atribuído ao decaimento radioativo, com o ajuste dos mínimos quadrados (método York) uma idade isocrônica de $3.811\pm 1.800\text{Ma}$ é calculada. Tal idade é compatível com a do quartzo/rutilo do carbonado GM-03 dentro da margem experimental de erro. Entretanto, o *trend* de distribuição de dados da matriz no diagrama $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ versus $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, mostrou-se discrepante daquele dos minerais argilosos. Assim, o Pb inicial da matriz parece ter sido derivado de uma fonte mais antiga, não radiogênica, que possuía uma relação $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ muito baixa comparada com sua relação $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, embora a larga faixa experimental de erro não permita definições mais seguras.

DISCUSSÕES As idades Pb-Pb da matriz do carbonado de Andaraí ($3,8\pm 1,8\text{Ga}$), são certamente mais antigas que o início da sedimentação do Supergrupo Espinhaço ($\gg 1,75\text{Ga}$ cf. Dussin 1994). Os estudos de Ozima & Tatsumoto (1997), encontraram Pb extremamente radiogênico na matriz de carbonados da RCA, mostrando composições isotópicas que indicavam a idade de formação dos cristallitos em $3,2\pm 0,6\text{Ga}$. Logo, a idade do carbonado de Andaraí (matriz) concorda satisfatoriamente com aquela reportada na RCA, ambas demonstrando assinatura arqueana. Tendo como base observações microestruturais e composições isotópicas similares, De *et al.* (1998) também encontraram evidências para uma ligação genética entre carbonados do Brasil/RCA, sugerindo suas formações sobre uma massa de terra única no Arqueano Superior. A idade $3,3\pm 0,7\text{Ga}$ na amostra do Rio Jequitinhonha, também mais antiga que a deposição do Supergrupo Espinhaço, indica que em toda a bacia os carbonados formaram-se em tempos semelhantes, anteriormente à sedimentação dos conglomerados Tombador/Grão Mogol.

Nas áreas diamantíferas da Serra do Espinhaço não existem evidências comprovadas de rochas kimberlíticas/lamprofíticas (Chaves 1997, Chaves *et al.* 2001, Martins-Neto 1998, Schobbenhaus 1993). As inclusões analisadas nos carbonados GM-01 e DO-03 são tipicamente crustais, bem como outras já

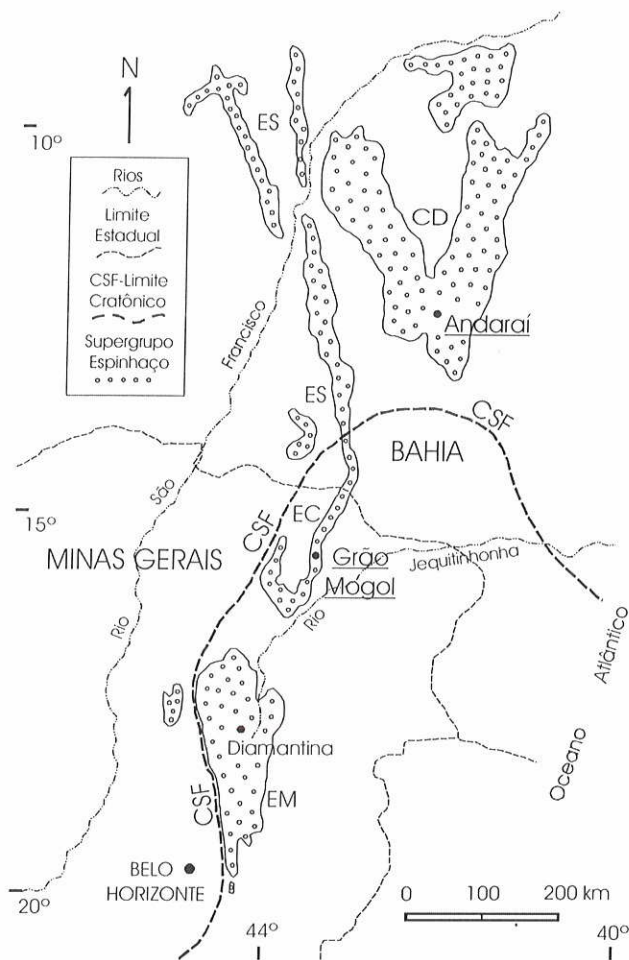


Figura 1 – O Supergrupo Espinhaço em Minas Gerais e Bahia, ressaltando as regiões de Grão Mogol (MG) e Andaraí (BA), onde foram coletadas as amostras. Domínios geotectônicos: EM, Espinhaço Meridional; EC, Espinhaço Central; CD, Chapada Diamantina; ES, Espinhaço Setentrional.

Tabela 1 – Relações $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ e $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em inclusões e matriz de carbonados das regiões do Rio Jequitinhonha-MG (GM-01) e Andaraí-BA (DO-03).

		²⁰⁴ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb				²⁰⁴ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb		
GM-01		Inclusões de quartzo						GM-01		Inclusões de quartzo (continuação)						
Q725.1.1	0.0490	0.0031	0.799	0.058	1.945	0.140	Q730.1.1	0.0560	0.0038	0.799	0.070	1.965	0.134			
Q725.1.2	0.0519	0.0017	0.843	0.023	2.101	0.052	Q730.1.2	0.0518	0.0037	0.856	0.086	2.146	0.162			
Q725.1.3	0.0554	0.0043	0.836	0.080	2.024	0.220	Q731.1.1	0.0570	0.0041	0.922	0.033	2.136	0.242			
Q727.2.1	0.0246	0.0051	0.544	0.061	1.158	0.214	Q731.1.2	0.0570	0.0051	0.842	0.094	2.271	0.211			
Q727.2.2	0.0184	0.0050	0.433	0.033	1.065	0.351	Q733.1.1	0.0560	0.0040	0.821	0.047	2.016	0.192			
Q727.5.1	0.0542	0.0044	0.807	0.083	2.051	0.202	Q733.8.1	0.0529	0.0027	0.815	0.020	1.982	0.108			
Q727.5.2	0.0518	0.0028	0.819	0.050	2.003	0.137	GM-01		Inclusões de rutilo							
Q727.6.1	0.0453	0.0051	0.801	0.105	1.969	0.331	R727.10	0.0563	0.0148	0.808	0.088	1.944	0.225			
Q727.6.2	0.0540	0.0022	0.821	0.056	2.048	0.147	R727.11	0.0529	0.0037	0.860	0.039	2.179	0.231			
Q727.6.3	0.0474	0.0063	0.776	0.078	1.624	0.254	R727.8	0.0512	0.0126	0.853	0.064	1.967	0.173			
Q727.7.1	0.0479	0.0014	0.812	0.040	1.988	0.107	R727.9	0.0252	0.0095	0.631	0.056	1.216	0.270			
Q727.7.2	0.0538	0.0012	0.845	0.022	2.054	0.071	R728.2	0.0472	0.0033	0.792	0.025	2.040	0.059			
Q727.7.3	0.0474	0.0020	0.858	0.020	2.083	0.067	R733.2	0.0531	0.0041	0.855	0.040	2.375	0.407			
Q727.7.4	0.0259	0.0035	0.616	0.100	1.226	0.118	DO-03		Inclusões de argila							
Q727.7.5	0.0480	0.0038	0.810	0.055	1.916	0.184	C39.1.1	0.0544	0.0040	0.854	0.055	2.139	0.102			
Q727.7.6	0.0499	0.0029	0.821	0.031	1.955	0.134	C39.1.2	0.0505	0.0069	0.811	0.063	1.976	0.161			
Q727.8.1	0.0501	0.0045	0.749	0.052	1.844	0.228	C39.2.1	0.0558	0.0076	0.857	0.029	2.164	0.145			
Q727.9.1	0.0338	0.0058	0.649	0.044	1.222	0.249	C39.2.2	0.0548	0.0065	0.855	0.027	2.140	0.125			
Q727.9.2	0.0406	0.0063	0.712	0.096	1.951	0.479	C39.2.3	0.0550	0.0026	0.843	0.024	2.144	0.069			
Q728.1.1	0.0506	0.0023	0.749	0.024	2.009	0.101	C44.1	0.0554	0.0039	0.848	0.030	2.143	0.080			
Q728.1.3	0.0584	0.0034	0.848	0.069	2.081	0.153	C50.1.1	0.0562	0.0024	0.867	0.011	2.131	0.113			
Q728.8.1	0.0526	0.0047	0.790	0.070	1.911	0.219	DO-03		Matriz							
Q729.1.1	0.0589	0.0091	0.798	0.121	2.277	0.339	M21.1	0.0532	0.0136	0.715	0.034	2.026	0.185			
Q729.1.2	0.0517	0.0023	0.846	0.047	1.936	0.081	M22.1	0.0415	0.0121	0.633	0.034	1.987	0.201			
Q729.1.3	0.0576	0.0045	0.841	0.077	2.065	0.199	M31.1	0.0655	0.0205	0.803	0.050	2.491	0.549			
Q729.7.1	0.0536	0.0007	0.831	0.022	2.028	0.056	M32.1	0.0871	0.0255	0.905	0.117	2.953	0.638			
Q729.8.1	0.0533	0.0016	0.803	0.026	1.951	0.087										
Q729.8.2	0.0498	0.0019	0.866	0.023	1.930	0.088										

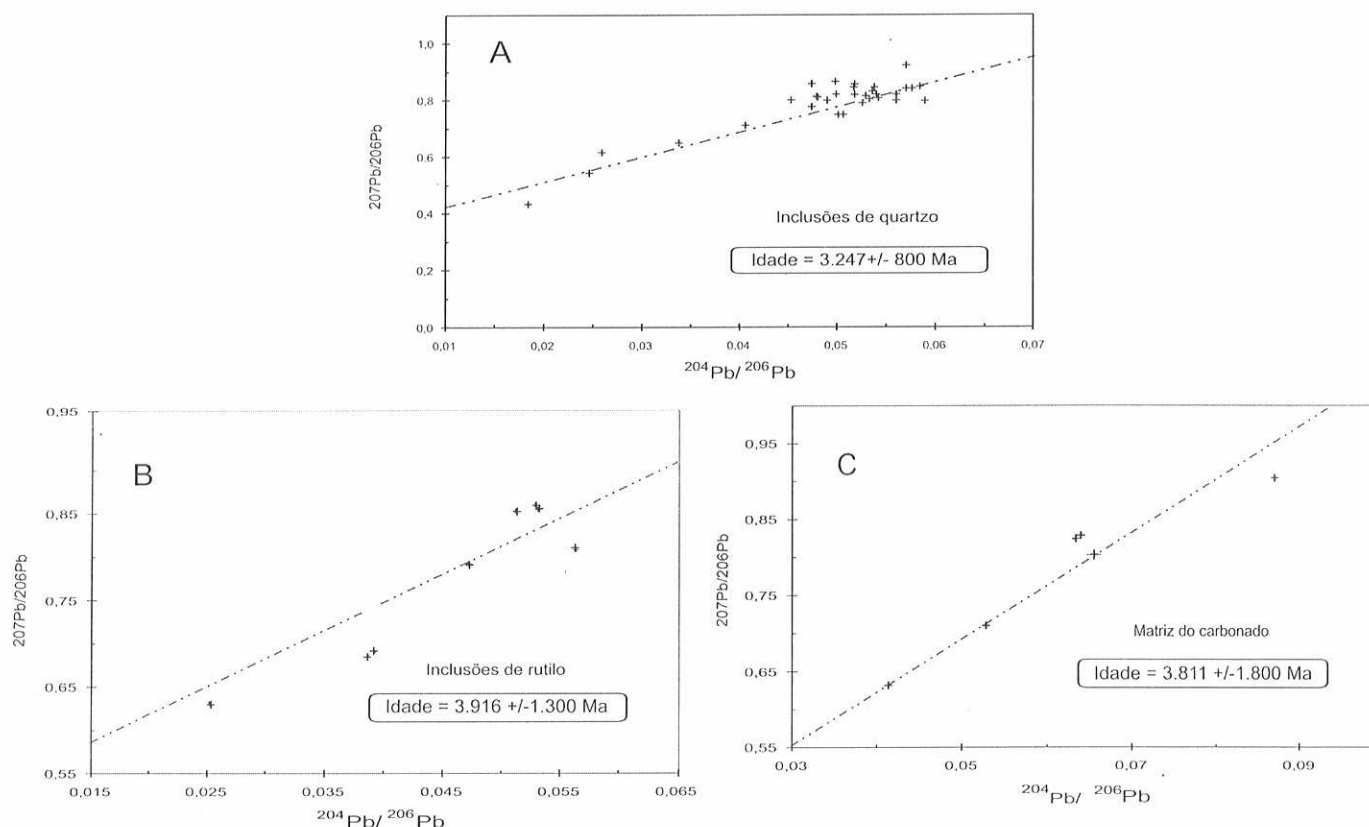


Figura 2 – Diagramas de correlação das razões $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ versus $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em: (A) inclusões de quartzo, (B) inclusões de rutilo e (C) matriz de carbonados das regiões do Rio Jequitinhonha-MG (A/B) e Andaraí-BA (C).

reportadas (Trueb & De Wis 1969). Também não se conhecem nesta região registros de impactos meteoríticos ou outras evidências de metamorfismo de alta pressão por choque, quando seria esperada a presença de coesita/stishovita na assembléia de inclusões minerais do carbonado. Logo, provavelmente está descartada uma origem desta variedade por impacto.

A fissão radiogênica de U e/ou Th em matriz rica em carbono pode ter produzido pelo menos os "gêrmens" de desenvolvimento dos carbonados, baseado na enorme quantidade de Xe de fissão contida (Ozima *et al.* 1991, *in* Ozima & Tatsumoto 1997). Daulton & Ozima (1996), evidenciaram altas concentrações uraníferas em certas rochas carbonáceas pré-cambrianas, especulando que a formação dos carbonados poderia se relacionar à energia originada do decaimento radioativo do urânio. Embora os cristalitos formados tivessem diâmetros ínfimos ($<0,5\mu$), eles demonstram que a interação entre partículas altamente energéticas com matéria carbonácea sólida poderia produzir um carbonado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS A grande questão ainda em aberto relaciona-se ao ambiente geológico que os gêrmens se agregaram formando os carbonados. Neste sentido, Chaves (1997) e Chaves *et al.* (2001) mostraram o expressivo percentual de "capas-verdes" recobrimo diamantes da Serra do Espinhaço, de 30-40% em média (em certos locais alcançando 90% dos indivíduos). Tal feição nos diamantes geralmente é atribuída à radiação- α emitida por minerais ricos em U e/ou Th (*eg.* Vance *et al.* 1973). Os gêrmens dos carbonados GM-01 e DO-03, podem ter sido produzidos por radiação, no mesmo ambiente que formou as capas-verdes nos diamantes ordinários. A agregação dos gêrmens em carbonados ainda é assunto meramente especulativo. Zhao *et al.* (1997)

reportaram a cristalização hidrotermal de diamantes em sistemas metal-C-H₂O; seus experimentos converteram carbono em agregados de diamantes de $\pm 100\mu$, sob P/T hidrotermal (800°C/1,4kbar), a partir de gêrmens com $\approx 0,25\mu$. Esses autores não conseguiram o desenvolvimento de diamantes na ausência dos gêrmens, propondo como catalisadores Ni (utilizado), Pt ou Fe.

Sano *et al.* (2002) sugeriram para a efetivação do processo de agregação um sistema hidrotermal proveniente de vulcanismo. Inclusões de minerais nativos metálicos (Fe, Ti e Si), bem como ligas metálicas, algumas complexas (SiC, Fe-Cr, W-Co-Carbono amorfo, etc.), têm sido identificados em carbonados (De *et al.* 1998, Sano *et al.* 2002), as quais poderiam ter atuado como catalisadores no processo. Desta maneira, a integração das informações determinadas pela geocronologia Pb-Pb com os dados mineralógicos disponíveis, parecem apontar para um quadro onde a geração dos carbonados aconteceu em três fases distintas, as quais, relacionadas ao ambiente geológico em questão, permitem sugerir:

(1) Formação dos gêrmens em ambiente sedimentar carbonáceo rico em partículas radioativas, na região cratônica, em idade maior que 2,6Ga, provavelmente por volta de 3,5Ga;

(2) Agregação dos gêrmens em ambiente hidrotermal, sob possível influência de vulcanismo e catalisadores metálicos, em idades compatíveis com as do item (1), quando as inclusões de minerais crustais teriam se inserido;

(3) Aporte dos carbonados na bacia de sedimentação do Supergrupo Espinhaço, em $\approx 1,75$ Ga.

Agradecimentos Aos revisores da RBG pelas sugestões ao manuscrito.

Referências

- Chaves M.L.S.C. 1997. *Geologia e mineralogia do diamante da Serra do Espinhaço em Minas Gerais*. Tese de Doutorado, IGI/Univ.São Paulo, 289p.
- Chaves S M.L.S.C., Karfunkel J., Addad J. 1999. Geologia da região diamantífera de Grão Mogol-MG. *Geociências*, **18**:129-155.
- Chaves M.L.S.C., Karfunkel J., Hoppe A., Hoover D.B. 2001. Diamonds from the Espinhaço Range (Brazil) and their redistribution through the geologic record. *J.South Am. Earth Sci.*, **14**:277-289.
- Daulton T.L. & Ozima M. Radiation-induced diamond formation in U-rich carbonaceous materials. *Science*, **271**:1260-1263.
- De S., Heaney P.J., Hargreaves R.B., Vincenzi E.P., Taylor P.T. 1998. Microstructural observations of polycrystalline diamond: a contribution to the carbonado conundrum. *Earth Planet.Sci.Lett.*, **164**:421-433.
- Dussin T.M. 1994. *Associations plutono-volcaniques de l'Espinhaço Méridional: un exemple d'évolution de la croûte protérozoïque*. These Docteurment, Univ.d'Orleans, 177p.
- Martins-Neto M.A. 1998. O Supergrupo Espinhaço em Minas Gerais: registro de uma bacia rifte-sag do Paleo/Mesoproterozóico. *Rev.Bras Geoc.*, **28**:151-168.
- Ozima M.A M. & Tatsumoto M. 1997. Radiation-induced diamond crystallization: origin of carbonados and its implications on meteorite nano-diamonds. *Geoch.Cosmoch.Acta*, **61**:369-376.
- Sano Y., Yokoshi R., Chaves M.L., Ozima M. 2002. Ion microprobe Pb-Pb dating of carbonado, polycrystalline diamond. *Prec.Res.*, **11**:155-168.
- Schobbenhaus C. 1993. *O Proterozóico Médio no Brasil com ênfase à Região Centro-Leste*. Tese de Doutorado, Albert-Ludwigs-Universität, 166p.
- Trueb L.F. & De Wis E.C. 1969. Carbonado: natural polycrystalline diamond. *Science*, **165**:799-802.
- Vance E.R., Harris J.W., Milledge H.J. 1973. Possible origins of a-damage in diamonds from kimberlite and alluvial sources. *Min.Mag.*, **39**:349-360.
- Zhao X.Z., Roy R., Cherian K.A., Badzian A. 1997. Hydrothermal growth of diamond in metal-C-H₂O systems. *Nature*, **385**:513-515.

Manuscrito NB 0056

Recebido em 12 de maio de 2004

Revisão dos autores em 12 de maio de 2005

Revisão aceita em 23 de maio de 1005