

Em razão de suas propriedades físico-químicas peculiares, o diamante é um dos mais singulares ‘presen-tes’ da natureza. Seu nome (do grego *adámas* = *inconquistável, indomável*) deriva da altíssima dureza que apresenta, a maior verificada no reino mineral. Por mais de 150 anos, durante os séculos 18 e 19, o Brasil foi o maior produtor mundial dessa gema, até a descoberta dos ricos depósitos da África do Sul, Rússia e Austrália. No cenário nacional destacam-se as províncias diamantíferas do Alto Paranaíba e da Serra do Espinhaço, em Minas Gerais, as duas maiores reservas do Sudeste brasileiro, ainda hoje com significativo impacto na economia daquelas regiões.

O estudo da mineralogia do diamante na Serra do Espinhaço tem permitido, graças à extraordinária resistência dessa pedra preciosa aos processos geológicos que atuam na crosta terrestre, identificar diversos ciclos de erosão e sedimentação. Por seus aspectos típicos, é o único mineral que permaneceu no registro geológico desde um período muito remoto, o Proterozóico Médio, há aproximadamente 1,7 bilhão de anos. Foi no Espinhaço que desenvolvemos pesquisas na tentativa de responder uma velha pergunta da geologia brasileira: a partir de que rochas-fonte o diamante ter-se-ia espalhado pela região? Embora os dados coletados não admitam uma resposta conclusiva, certamente contribuem para o entendimento do problema.

**Mario Luiz de Sá Carneiro Chaves**

*Instituto de Geociências,  
Universidade Federal de Minas Gerais*

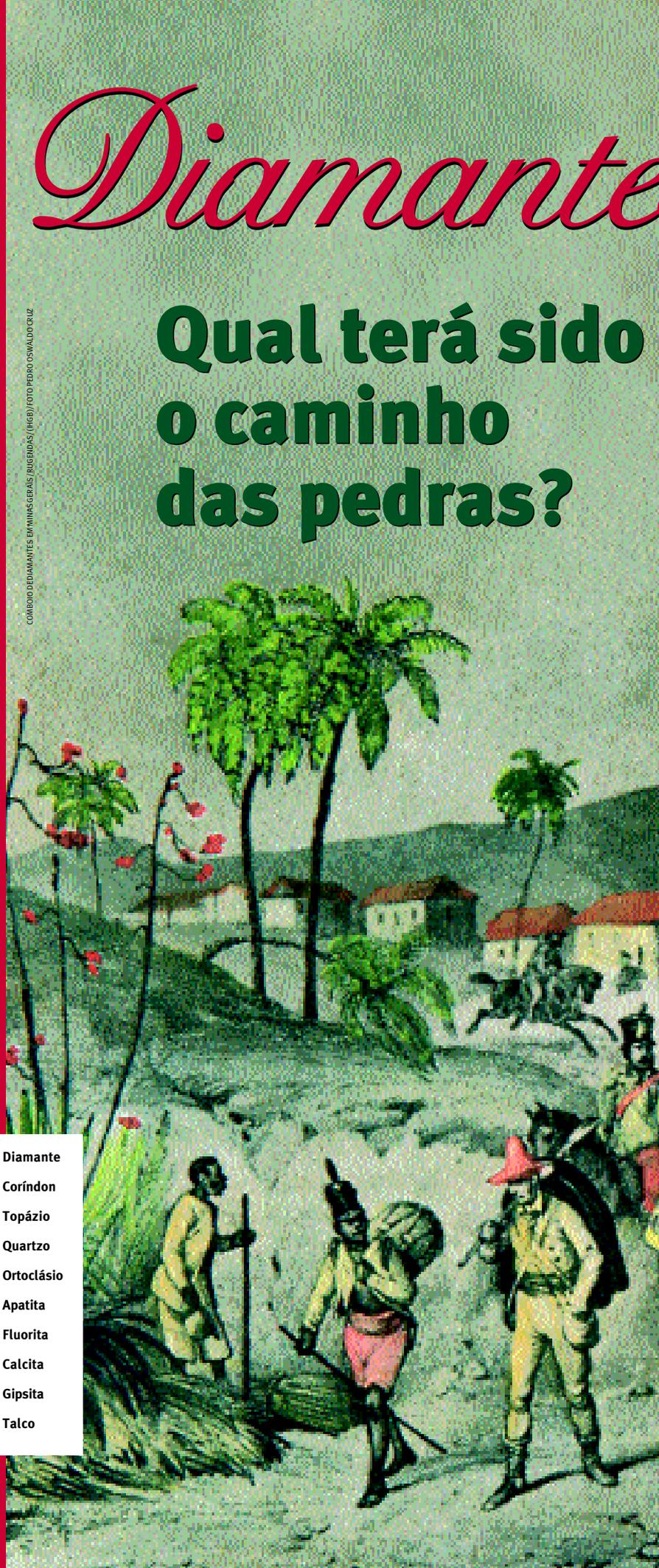
**Darcy Pedro Svisero**

*Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo*

# Diamante

## Qual terá sido o caminho das pedras?

COMBIO DE DIAMANTES EM MINAS GERAIS (1868) (FOTO PEDRO OSWALDO CRUZ)



**Escala de Mohs**

A escala criada pelo mineralogista austríaco Friedrich Mohs (1773-1839) no início do século 19 classifica os minerais segundo sua dureza. Entre o talco, o mais ‘tenro’, e o diamante, o mais resistente, Mohs reconheceu oito diferentes graus de dureza entre os minerais. Mas esses intervalos não são regulares. A escala é uma simples classificação da dureza dos minerais e foi feita levando em conta que cada mineral arranha os de número inferior. Assim, entre o diamante (dureza 10) e seu seguidor imediato, o coríndon (dureza 9), há uma diferença de dureza 10 vezes maior que aquela entre o coríndon e o talco (dureza 1).

- 10 • Diamante
- 9 • Coríndon
- 8 • Topázio
- 7 • Quartzo
- 6 • Ortoclásio
- 5 • Apatita
- 4 • Fluorita
- 3 • Calcita
- 2 • Gipsita
- 1 • Talco

# As Minas Gerais

A maior parte da produção mundial de diamantes provém hoje da África do Sul, Austrália e Rússia, onde o mineral é lavrado diretamente em rochas primárias conhecidas como kimberlitos e lamproitos. Nessas rochas magmáticas ultrabásicas, raras na crosta terrestre, o diamante está disseminado em teores que variam de 1 a 3 quilates por metro cúbico ( $\text{ct}/\text{m}^3$ ), embora o lamproito de Argyle, na Austrália, apresente o formidável teor de  $18 \text{ ct}/\text{m}^3$ . A descoberta da jazida de Argyle, em 1986, fez com que a Austrália passasse de um país não-produtor de diamantes

para o de maior produtor mundial, com cerca de 40 milhões de quilates extraídos só em 1997.

O diamante tem origem no manto da Terra em profundidade superior a 150 km. Atualmente o meio científico aceita a hipótese de que os kimberlitos e lamproitos são apenas o meio de condução do mineral desde a sua fonte, no manto, até a litosfera. Nos últimos 20 anos, seu estudo tem sido amplamente desenvolvido por serem considerados como uma das raras 'janelas' para o manto na superfície do planeta. ▶



O kimberlito ocorre principalmente nas zonas de crátons, porções da crosta terrestre estáveis desde o período Pré-Cambriano. A figura 1 apresenta as principais zonas cratônicas da Terra, identificando maior ou menor ocorrência de intrusões kimberlíticas. No Brasil, há três áreas cratônicas, sendo a principal delas o cráton Amazônico. Ao norte do Mato Grosso e sul de Rondônia já foram encontrados kimberlitos com diamantes, cuja viabilidade econômica de exploração vem sendo estudada. O cráton do São Francisco, que ocupa grande parte de Minas Gerais, destaca-se no Sudeste brasileiro. Nele, no entanto, não se conhecem rochas kimberlíticas mineralizadas.

Embora os teores diamantíferos sejam mais expressivos em matrizes primárias, o percentual de diamantes gemológicos é em geral baixo nessas rochas, predominando os de interesse industrial. No caso da mina de Argyle, por exemplo, apenas 5% de seus diamantes têm qualidade gemológica, fazendo com que o preço médio do quilate das pedras aí produzidas seja de US\$ 10. A proporção de diamantes gemológicos encontrados nos kimberlitos sul-africanos varia entre 10-25%, e o preço do quilate gira em torno de US\$ 40. Cristais de alta quilatagem podem, no entanto, ocorrer com mais frequência nesses depósitos primários. O maior diamante já encontrado, o Cullinan, pesava 3.106 ct antes de ser lapidado em nove pedras, a maior das quais está encravada na parte frontal da coroa britânica.

Estudos feitos nas principais províncias diamantíferas do

sul e oeste africano demonstraram que, a partir de suas fontes primárias, os diamantes se espalharam por milhares de quilômetros quadrados. Observou-se uma sistemática redução na média do tamanho dos cristais quanto mais eles se afastavam de seu local de origem, deslocando-se por via fluvial ou marinha. Tal redução, no entanto, é acompanhada de expressiva melhora gemológica, pois os diamantes de qualidade inferior são destruídos durante o transporte.

**Diamante incrustado em kimberlito da mina Mir, na Sibéria, Rússia**



## Minerais e gemas

Um mineral é um corpo sólido de origem natural formado por processos inorgânicos, de composição química e estrutura cristalina definidas e constantes. A ciência dos minerais é a mineralogia, da qual um dos ramos é a gemologia, que estuda as gemas e suas propriedades. As gemas – medidas pelo peso-padrão do quilate (ct), equivalente a 0,2 g – são minerais dotados de propriedades físicas especiais (transparência, brilho e/ou cores atrativas), podendo servir como adorno pessoal após trabalhados pelo homem. O diamante, composto de carbono puro, é certamente o mais importante dos minerais gemológicos.

Os diamantes encontrados na natureza podem ser mono ou policristalinos. Os monocristalinos simples são caracterizados por formas típicas como o cubo, o octaedro e o dodecaedro rômico, podendo ser gemológicos ou não. Entre as variedades policristalinas, destacam-se o *bort*, o *ballas* e o carbonado, de interesse exclusivamente industrial. O primeiro é um agregado complexo de microcristais de tamanhos e formas irregulares. O *ballas* é um agregado esférico ou semi-esférico onde os cristalitos estão dispostos radialmente. O carbonado é uma designação brasileira, largamente aceita na literatura mineralógica, para definir um agregado cinza ou preto, muito poroso e de aspecto irregular, com cristalitos de diamantes de tamanho muito reduzido, da ordem de 0,01 a 0,001 mm.

## O diamante em Minas Gerais

No Brasil, a descoberta oficial de diamantes ocorreu em 1729 nas imediações do município mineiro de Diamantina. Muito antes, porém, pedras dessa região já chegavam à Europa. Por mais de 150 anos o Brasil foi o maior produtor mundial do mineral, até a descoberta dos depósitos sul-africanos. Historicamente Minas Gerais é o maior produtor dessa gema no Brasil, tendo a Bahia, Mato Grosso e Pará se destacado em alguns curtos períodos. Ainda hoje os diamantes têm importância no setor mineral da região, sendo sua lavra efetuada em aluviões por companhias de mineração ou garimpeiros independentes. Destacam-se ainda campanhas de prospecção visando descobrir e explorar as rochas-fonte primárias do

mineral, como se faz na África, Austrália e Rússia.

Os principais depósitos diamantíferos de Minas Gerais concentram-se em duas macrorregiões, designadas na nomenclatura geológica como 'províncias' minerais do Espinhaço e do Alto Paranaíba, respectivamente no centro-norte e sudoeste do estado (figura 2). A província do Espinhaço notabiliza-se por sua importância econômica, destacando-se nesse cenário a região de Diamantina. A Serra do Espinhaço é constituída por um conjunto de rochas metamórficas intensamente dobradas, incluindo quartzitos, filitos e conglomerados, que representam originalmente sedimentos depositados em rios, taludes serranos, desertos, lagunas e mares rasos.

A idade de formação desses depósitos é atribuída ao Proterozóico Médio, a partir de datações radiométricas obtidas em rochas e minerais vulcânicos presentes no conjunto sedimentar. Há diversos tipos de depósitos diamantíferos no Espinhaço. O mais antigo é o Conglomerado Sopa, rocha de origem sedimentar que ocorre nas porções basais do complexo serrano. A partir dele o diamante espalhou-se para depósitos sedimentares mais jovens, sobretudo em certos períodos do Cretáceo Inferior (há cerca de 136-100 milhões de anos), Terciário Superior (há cerca de 7-1,5 milhões de anos) e Quaternário (de cerca de 1,5

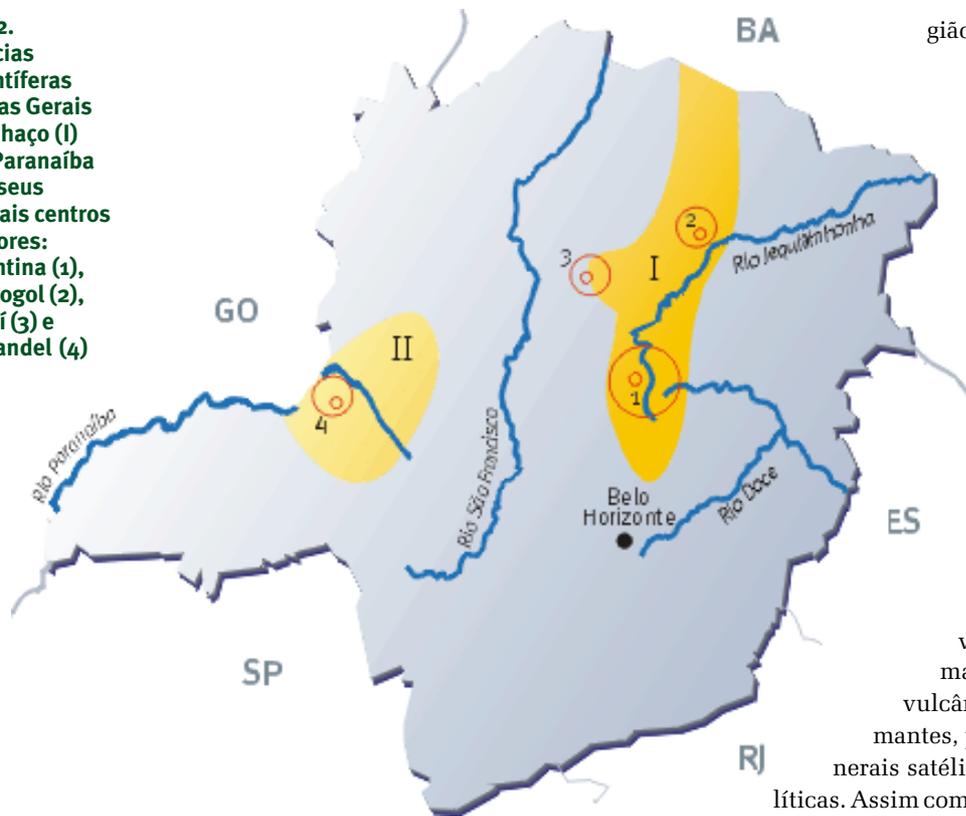
**Figura 1.** Os grandes depósitos primários de diamante do globo concentram-se nas áreas cratônicas (em amarelo). Os maiores são indicados por losangos grandes e os menores por losangos pequenos

Certas formas mono e policristalinas, como cubos, *borts* e carbonados, são pulverizadas durante o registro geológico, depois de reduzidas a partículas muito finas. Experimentos feitos pela mineradora sul-africana De Beers mostraram que seis horas de moagem foram suficientes para reduzir o *bort* e pedras defeituosas do Zaire em partículas de peso inferior a 0,001 ct. Submetidos ao mesmo procedimento, diamantes da costa da Namíbia com formas cristalinas perfeitas perderam apenas 0,01% de seu peso após quase mil horas de moagem.

Os cristais de diamante de forma dodecaédrica são mais resistentes ao transporte, pois seu coeficiente hidrodinâmico, resultante do grande número de faces naturalmente arredondadas, é maior que o daqueles que têm forma de cubo ou octaedro. Depósitos da Namíbia, por exemplo, apresentam um número desproporcionalmente grande de cristais dodecaédricos.

Com a evolução do registro geológico, os diamantes tendem a sofrer as seguintes modificações: redução do tamanho médio dos cristais; preservação dos dodecaedros nas formas monocristalinas; queda expressiva do número de pedaços quebrados; pulverização dos *borts* e cristais com defeitos ou inclusões; aumento do número de cristais gemológicos.

**Figura 2.** Províncias diamantíferas de Minas Gerais – Espinhaço (I) e Alto Paranaíba (II) – e seus principais centros produtores: Diamantina (1), Grão Mogol (2), Jequitaiá (3) e Coromandel (4)



**Mineração aluvionar de diamantes no Rio Jequitinhonha, em Diamantina: grandes dragas da Mineração Rio Novo escavam o leito do rio**

milhão de anos atrás até o presente). As rochas-fonte primárias da região não são conhecidas, e os minerais indicadores típicos dessas rochas (minerais satélites) estão ausentes.

Na província do Alto Paranaíba, no entanto, várias chaminés de rochas kimberlíticas semelhantes às fontes vulcânicas primárias do diamante russo e sul-africano são conhecidas desde a década de 1960. Embora ainda não tenham sido detectados kimberlitos mineralizados de interesse econômico na

ção, muitas mineradoras têm feito intensas pesquisas na área em função da presença de diamantes em dezenas de rios e córregos, principalmente nas proximidades do município de Coromandel.

De grande importância para a geologia do diamante do Alto Paranaíba é a Formação Uberaba, constituída de depósitos sedimentares do Cretáceo Superior (há cerca de 100-65 milhões de anos).

Esses depósitos de arenitos, conglomerados e tufo vulcânicos parecem ter se formado na época das atividades vulcânicas que trouxeram os diamantes, pois apresentam diversos minerais satélites típicos de rochas kimberlíticas. Assim como na região de Diamantina, há também depósitos sedimentares terciários e quaternários, os quais, pela maior facilidade de extração, são mais intensamente lavrados.

A quantidade de diamante nessas províncias varia segundo características geológicas responsáveis pela concentração do mineral em certas porções do sedimento ou da rocha sedimentar. Os diamantes lavrados no Conglomerado Sopa desde o século passado têm, em média, de 0,01 a 0,1 ct/m<sup>3</sup> de rocha. São teores muito baixos se comparados aos dos kimberlitos sul-africanos, que apresentam valores médios de até 6 ct/m<sup>3</sup>. Em depósitos de aluvião recentes, como no Rio Jequitinhonha, as concentrações são ainda menores. Nesse local, a Mineração Te jucana opera com ínfimos 0,008 ct/m<sup>3</sup>. Mas como o volume de material lavrável é excepcionalmente grande, compensa investir na lava mecanizada do depósito. Os diamantes da região de Diamantina são em geral pequenos, com 0,3 ct em média, sendo raras as pedras com mais de 10 ct.

No Alto Paranaíba, o conglomerado da Formação Uberaba é lavrado desde 1888 na Mina de Romaria, com teores variáveis entre 0,03 e 0,07 ct/m<sup>3</sup>. Outros corpos de conglomerado e tufo



FOTO: CORTESIA MINERAÇÃO RIO NOVO

**Detalhe do conglomerado diamantífero Sopa, nas proximidades de Diamantina (MG)**



FOTO MARIOLUIZ DES. CHAVES

vulcânicos também já foram lavrados nas proximidades de Coromandel. Deve-se, porém, destacar a ocorrência de grandes diamantes nessa região. O maior deles, com 726 ct, encontrado no rio Santo Antônio do Bonito em 1938, era na época o quarto maior do mundo. Nesse mesmo rio foi encontrada em 1993 uma pedra com 602 ct, a segunda maior do Brasil, e em agosto de 1998, uma outra com 481 ct. Quase todo ano aparece um grande diamante nessa província, cujo padrão de peso é muito maior que o da Serra do Espinhaço.

lógico, as pedras de boa qualidade são mais hialinas e apresentam baixas taxas de imperfeições internas.

### *A fonte distante dos diamantes do Espinhaço*

Os dados disponíveis indicam forte semelhança entre os diamantes aluvionares da região do Alto Paranaíba e aqueles extraídos diretamente de kimberlitos e lamproítos. Demonstram ainda que as

## *Seleção natural no mundo mineral*

A partir da publicação do célebre *Sobre a origem das espécies*, de Charles Darwin, em 1859, o paradigma da seleção natural foi se tornando progressivamente aceito pela maioria dos pesquisadores do mundo animal e vegetal. No reino mineral, porém, o termo não é empregado, embora a 'resistência' de certas espécies seja uma evidência relatada cotidianamente por geólogos e mineralogistas em seu trabalho de prospecção.

O grau de resistência de um mineral ao longo do curso de um rio, por exemplo, dependerá diretamente de fatores inerentes às suas características físico-químicas. Durante o percurso, ele tenderá a pulverizar-se cada vez mais, e seu tempo de 'vida' varia em função de propriedades como composição química e estrutura cristalina, dureza, modo de clivagem e, sobretudo, pureza.

Os gemólogos relacionam pureza à frequência de inclusões estranhas e/ou microfaturas no interior do mineral hospedeiro. Conseqüentemente, quanto mais impuro for um mineral, maior será sua tendência à pulverização em um meio de transporte ativo como o fluvial ou marinho. Não é por acaso que 99% da areia de praia se constituem de quartzo, uma estrutura rígida formada por tetraedros de  $\text{SiO}_2$  (dióxido de silício).

O caso do diamante é particularíssimo. Além de sua estabilidade química, sua resistência ao desgaste físico e a fortes variações de temperatura e pressão faz com que, após desprender-se de sua rocha-matriz original, ele tenda a permanecer no registro geológico. Uma população de diamantes ou outro mineral com características físicas 'perfeitas' deve, portanto, indicar, em termos estatísticos, uma longa e complexa história, na qual o material mais resistente ficou preservado.



FOTO MARIOLUIZ DES. CHAVES



À esquerda, topo da borda norte da Serra do Cabral, na região de Jequitai (MG), com restos de um conglomerado diamantífero do Cretáceo Inferior. À direita, nas encostas da serra, garimpeiros exploram diamante



FOTO MARIO LUIZ DE S. CHAVES

rochas-fonte daquela província estão relativamente próximas umas das outras, podendo os trabalhos de prospecção que vêm sendo feitos levar à descoberta de aparelhos vulcânicos mineralizados.

A fonte dos diamantes da Serra do Espinhaço, porém, está em local distante, e os minerais encontrados resultam de sucessivos processos de erosão, transporte e nova deposição. Como a área alimentadora da sedimentação da bacia do Espinhaço ficava a oeste,

onde se estende o cráton do São Francisco, presume-se que as desconhecidas rochas primárias estariam nessa região. A identificação de tais fontes, no entanto, é uma tarefa difícil, pois a área foi recoberta por sedimentos marinhos do chamado Grupo Bambuí em período geológico posterior, há aproximadamente 900-550 milhões de anos. Durante o transporte do mineral do cráton até os sítios onde se encontra hoje, certas formas foram sendo selecionadas, e a população de cristais de qualidade gemológica se multiplicou.

Como mostra a figura 3A, a intrusão dos kimberlitos e lamproítos ocorreu antes da formação da bacia do Espinhaço, em profundidades compatíveis com a curva de estabilidade das espécies de carbono, grafita (G) e diamante (D). A erosão das chaminés (figura 3B) e o conseqüente assentamento de depósitos aluvionares periféricos são atestados hoje pela presença de seixos de um conglomerado mais antigo dentro do Conglomerado Sopa. Com a implantação da paleobacia do Espinhaço (figura 3C), ocorreu a primeira fase de deposição dos diamantes, posteriormente redistribuídos na própria bacia até a formação dos sedimentos fluviais que deram origem àquele conglomerado (figura 3D).

Movimentos tectônicos ocorridos no final do Pré-Cambriano causaram dobramentos na crosta terrestre. Após um longo período, em que o relevo pouco se alterou em conseqüência da separação continental entre a América do Sul

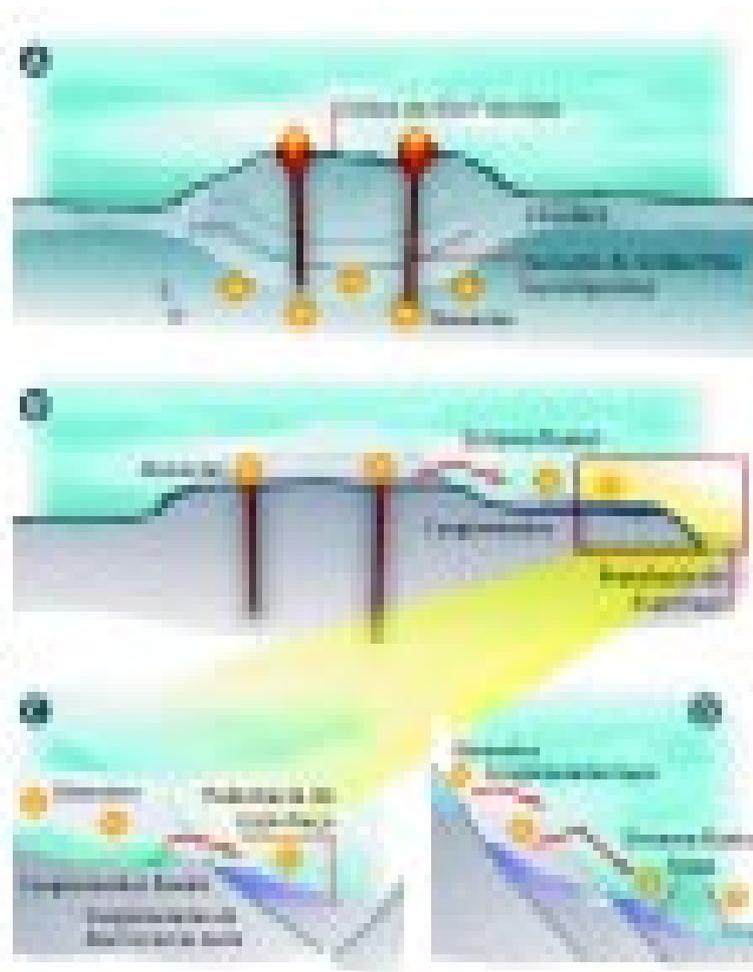


Figura 3. História evolutiva do diamante da Serra do Espinhaço durante o Proterozóico, desde a geração das rochas-fonte até a deposição do Conglomerado Sopa

e a África, toda a região interiorana brasileira foi fortemente soerguida na Era Mesozóica. Inclui-se nesses processos a formação da Serra do Espinhaço (figura 4).

Os processos de dobramento e erosão permitiram a acomodação dos conglomerados diamantíferos soterrados nos níveis próximos à superfície (figura 4A). Com o soerguimento mesozóico, durante o Cretáceo Inferior, as rochas diamantíferas foram expostas e os diamantes mais uma vez transportados, agora em direção às novas calhas fluviais às margens da serra (figura 4B): São Francisco, a oeste, e Jequitinhonha, a leste. Essa nova fase de transporte explica os depósitos diamantíferos que ocorrem, por exemplo, nas imediações de Jequitaiá, onde quase 100% dos cristais encontrados têm qualidade gemológica. Aliás, o número de diamantes gemológicos do

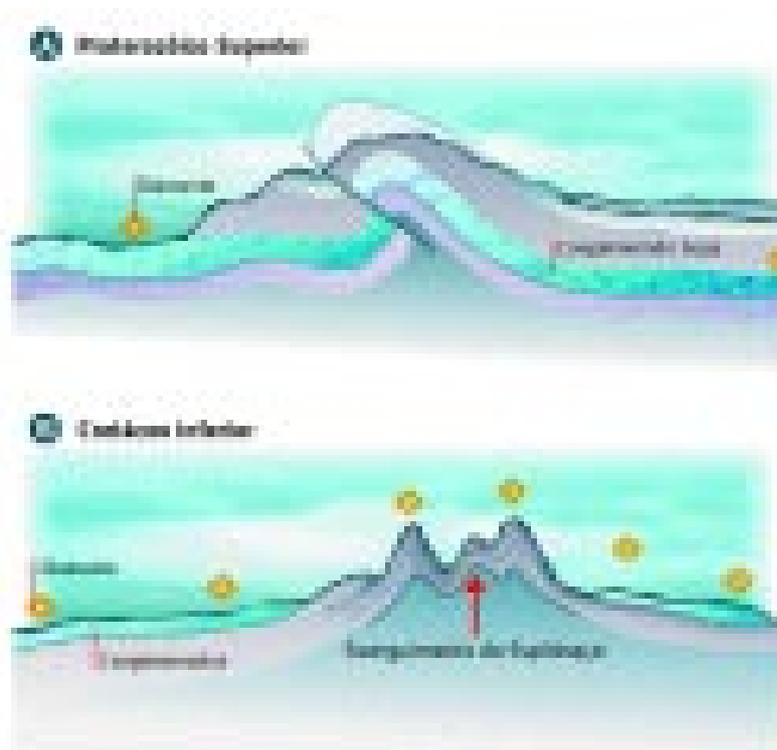
Espinhaço é comparável ao de depósitos secundários, como os da Guiné e da Costa da Namíbia, e muito maior que o existente em depósitos primários.

Ao comparar os dados obtidos no estudo das regiões diamantíferas da África e de Minas Gerais, pode-se concluir, com base na presença de cristais de alta quilatagem, que a província do Alto Paranaíba pode ser correlacionada com as africanas. Já os dia-

mantas do Espinhaço, por seu padrão de peso médio, demonstram ter sido longamente transportados até se fixar em seus atuais sítios de deposição.

Cristais com defeitos internos, fragmentados ou com grandes inclusões são freqüentes nos kimberlitos africanos e na província do Alto Paranaíba, assim como agregados policristalinos do tipo *bort* e cristais de forma cúbica. Cristais inteiros de diamantes, ao contrário, são proporcionalmente raros nessas áreas. Já na região do Espinhaço, mais de 80% dos diamantes encontrados são cristais inteiros, predominando os de forma dodecaédrica, sendo raros tanto os cristais defeituosos ou de forma cúbica quanto os agregados policristalinos.

A gênese dos diamantes de Minas Gerais é uma discussão que deve permanecer em pauta ainda por longo tempo. Embora este artigo traga subsídios que tentam elucidar o problema, seu ponto central – a exata localização das rochas-fonte primárias – permanece sem resposta. Segundo o modelo clássico, atestado pelos depósitos diamantíferos africanos e de outras partes do mundo, os kimberlitos e lamproítos concentram-se em áreas cratônicas. Mas, quanto aos diamantes da Serra do Espinhaço, dificilmente teremos uma prova definitiva de que tenham tido origem no Cráton do São Francisco, já que sua porção no Sudeste brasileiro está, como dissemos, recoberta pela espessa camada de sedimentos do Grupo Bambuí. No Alto Paranaíba, porém, a situação é diferente, podendo vir a ser descobertas chaminés diamantíferas sob o compacto manto de solo que cobre a região. ■



**Figura 4.** História evolutiva do diamante durante os dobramentos ao final do Proterozóico (A) e no soerguimento da serra ocorrido no Mesozóico (B)

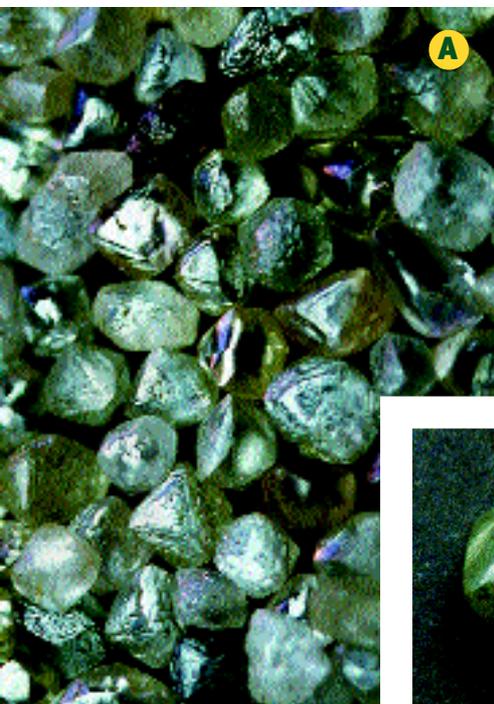
**Sugestões para leitura**

Chaves, M.L.S.C. *Geologia e mineralogia do diamante da Serra do Espinhaço em Minas Gerais*, tese de doutorado, IG-USP, São Paulo, 1997.

Karfunkel, J., Chaves, M.L.S.C., Svisero, D.P. & Meyer, H.O.A. 'Diamonds from Minas Gerais, Brazil: an update on sources, origin, and production' in *International Geology Review*, v. 36, p. 1019-1032, 1994.

Sutherland, D. 'The transport and sorting of diamonds by fluvial and marine processes' in *Economic Geology*, v. 77, p. 1613-1620, 1982.

Svisero, D.P. 'Distribution and origin of diamonds in Brazil: an overview' in *Journal of Geodynamics*, v. 20, p. 493-514, 1995.



**Lote de diamantes da região de Diamantina com pedras de aproximadamente 1 quilate (A). Diamante de 7 quilates com forma octaédrica e arestas arredondadas (B)**



FOTOS: KARFUNKEL