Ocorrências de zircão hafnífero no sudeste brasileiro

Ronaldo Mello Pereira¹, Ciro Alexandre Ávila² & Reiner Neumann³

Resumo Este trabalho descreve as ocorrências brasileiras de zircão rico em háfnio conhecidas até a presente data, provenientes de pegmatitos das províncias pegmatíticas de São João del Rei e Oriental Brasileira (distrito de Governador Valadares), Estado de Minas Gerais e de granitos alcalinos, pertencentes à Suíte Intrusiva Serra do Mar, representados pelo columbita granito Guaraú e riebeckita álcali-granito Mandira, Estado de São Paulo. Os métodos analíticos utilizados para as análises foram a microsonda eletrônica e o MEV-EDS. Os teores (% em peso) de HfO₂ determinados $\geq 10\%$ e as razões atômicas $(100 \cdot \text{Hf}/(\text{Hf} + \text{Zr})) > 10\%$ mol. % HfSiO₄, permitem considerar, formalmente, os diversos grãos estudados como zircão hafnífero. Ele ocorre, geralmente, em cristais milimétricos, euédricos, com formas prismáticas bi-terminadas. Cristais com hábitos flabeliforme e bipiramidal estão relacionados, respectivamente, aos pegmatitos Mixiriqueira e Golconda e ao riebeckita álcali-granito Mandira. As suas cores são rosa, avermelhada, castanha e branca leitosa. As partes mais enriquecidas em háfnio estão, geralmente, próximas às bordas dos cristais. Os teores mais elevados (~36%, em peso, de HfO₂) foram observados nos zircões dos pegmatitos. O zircão hafnífero dos granitos tem teores máximos de 16% de HfO₂ (em peso). A torita é a principal exsolução encontrada no zircão hafnífero derivado dos pegmatitos e dos granitos. Hospedadas nas amostras de zircão hafnífero provenientes dos pegmatitos, ocorrem inclusões minerais de: cassiterita, microlita, niobotantalatos, xenotímio e chernovita. Nos cristais de zircões dos granitos, registram-se inclusões de magnetita, uraninita, monazita, xenotímio e bastnäsita.

Palavras-chave: zircão hafnífero, pegmatitos, granitos alcalinos, região sudeste, Brasil.

Abstract *Hafniferous zircon of the Brazilian southeastern region* This paper describes the occurrences of hafniferous zircon related to the pegmatitic and alkaline granite bodies of the southeastern region of Brazil. Hafniferous zircon was found in the pegmatites provinces of the São João del Rei and Oriental Brasileira (Governador Valadares pegmatitic district), Minas Gerais State and in granitic bodies of the Serra do Mar Intrusive Suite, São Paulo State. Electron microprobe and SEM/EDS analyses of several grains of hafniferous zircon show high HfO₂ content (≥ 10 wt%) and atomic ratios $(100 \cdot \text{Hf}/(\text{Hf} + \text{Zr})) > 10\%$ (mol.) HfSiO₄. The hafniferous zircon occurs in millimetric euhedral crystals with prismatic and bipyramidal forms. Flabelliform habit is related to the Mixiriqueira and Golconda pegmatites and bipyramidal crystals to the riebeckite alkaline Mandira granite. Grain sizes vary from less than 1mm up to 3mm, with colours ranging from pink, reddish, brown and milky white. The SEM/BSD images differentiate between lighter Hf-enriched portions (crystal's rim) and darker regions with lower contents of such element. The hafniferous zircon of the pegmatites show higher values (36 wt.%) of HfO₂ compared to the granites (16 wt.% of HfO₂). Thorite and uraninite are the principal exsolutions of the hafniferous zircon. Cassiterite, microlite, niobotantalates, xenotime and chernovite are the inclusions hosted in the crystals from the pegmatites. Magnetite, uraninite, monazite, xenotime and bastnäsite are the principal inclusions of the granitic zircons.

Keywords: hafniferous zircon, pegmatite, alkaline granite, southeastern region, Brazil.

INTRODUÇÃO O háfnio é um elemento que tem aplicação nas indústrias química, cerâmica e nuclear. Um de seus compostos, o carbeto de háfnio, é a substância binária, até agora conhecida, mais refratária ao calor, apresentando ponto de fusão por volta de 3.900° C. Esse elemento é utilizado na fabricação de vidros e cerâmicas especiais, em eletrodos e, em virtude de sua capacidade de captura de nêutrons térmicos, em barras de controle de reatores nucleares. Ele é um elemento químico raro na natureza. Comumente, o Hf⁴⁺ substitui o zircônio (Zr⁴⁺) na estrutura de minerais, principal-

mente no zircão (ZrSiO₄) e na badelleyita (ZrO₂).

O teor normal de HfO₂ no zircão fica em torno de 1%. Porém, em alguns cristais de zircão de pegmatitos da Noruega e da África valores de até 31% (em peso) de HfO₂ (Levinson & Borup 1960, Knorring & Hornung 1961) têm sido descritos. Correia-Neves *et al.* (1974) fizeram a primeira descrição do mineral hafnã (72%, em peso, de HfO₂) em pegmatitos de Moçambique. Na década de 90 surgiram os primeiros registros de granitos portadores de zircão com háfnio. Eles correspondem ao granito de Beauvoir na França (zircão com

1 - Departamento de Geologia Aplicada, Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. E-mails: rmello@pq.cnpq.br; rmellouerj@hotmail.com

2 - Dep. Geologia e Paleontologia, Museu Nacional, Univ. Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, E-mail ávila@mn.ufrj.br

3 - Centro de Tecnologia Mineral. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, E-mail rneumann@cetem.gov.br

até 18%, em peso, de HfO_2); ao granito Suzshou (zircão com até 35%, em peso, de HfO_2); e ao granito Laoshan do tipo-A (zircão com até 12%, em peso, de HfO_2), estes situados na China (Wang *et al.* 1996, 2000).

O zircão enriquecido em háfnio encontra-se, particularmente, relacionado a pegmatitos graníticos e rochas graníticas especializadas em metais raros, sendo que o conteúdo de Hf na estrutura cristalina do zircão tende a aumentar conforme os estágios tardios de cristalização dos mesmos, preferencialmente quando associados às fases mais litíferas e tantalíferas (Knorring & Hornung 1961, Correia Neves *et al.* 1974, Černý & Silvola 1980, Wang *et al.* 1996, 2000). Potencialmente, esses corpos correspondem aos principais metalotectos favoráveis à presença de zircão com um alto conteúdo de Hf.

Com o objetivo de inserir o país no quadro mundial de ocorrências de zircão hafnífero, esse trabalho vem apresentar os registros desse mineral, conhecidos, até a presente data, em território brasileiro.

ZIRCÃO HAFNÍFERO NO SUDESTE BRASILEIRO: HISTÓRICO Até meados da década de 80 não se tinha registro da presença de háfnio no Brasil. A primeira ocorrência foi determinada por Cassedanne *et al.* (1985) que descreveram zircão hafnífero (~23% HfO_2) associado ao pegmatito Mixiriqueira, região de Ipatinga, MG. Pereira *et al.* (2003a) apresentaram os resultados obtidos no estudo da segunda ocorrência brasileira de zircão hafnífero (~30% HfO_2) e do primeiro registro brasileiro de háfnio zirconífero encontrado na região de São João del Rei, Estado de Minas Gerais. Recentemente, foram divulgadas duas novas ocorrências de zircão hafnífero (HfO_2 ~16%, em peso) associados a granitos alcalinos (às vezes, peralcalinos) da suíte intrusiva Serra do Mar, na região do Vale do Ribeira, São Paulo. Esses corpos são representados pelo plúton Desembarque e pelo riebeckita álcali-feldspato granito Mandira, encontrados, respectivamente, em Jacupiranga/Cajati e Cananéia (Pereira *et al.* 2003b, 2005). A localização das ocorrências é mostrada na figura 1.

MÉTODOS ANALÍTICOS Os resultados das microanálises pontuais efetuadas nas amostras de zircão hafnífero oriundas de pegmatitos e dos granitos (Tabs. 1 e 2) foram obtidas por meio de microsonda eletrônica (Universidade de Brasília) e MEV-EDS (CETEM/MCT). Maiores detalhes sobre os métodos utilizados para as análises podem ser encontrados em Pereira *et al.* (2003a, 2004b, 2005). As imagens MEV-BSD foram, por sua vez, efetuadas no Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCT).

ZIRCÃO HAFNÍFERO ASSOCIADO A PEGMATITOS As províncias pegmatíticas de São João del Rei e Oriental Brasileira abrangem extensas áreas localizadas na região sudeste, mais especificamente, no Estado de Minas Gerais. Nela encontram-se dois conjuntos importantes de corpos pegmatíticos. O primeiro in-

clui os pegmatitos distribuídos entre Nazareno e São João del Rei e constitui a Província Pegmatítica de São João del Rei. O segundo, representado pela Província Pegmatítica Oriental Brasileira, corresponde a diversos grupamentos de pegmatitos que constituem, dentre outros, os distritos de Araçuaí, Governador Valadares e Caparaó.

Província Pegmatítica de São João del Rei

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL Esta região com aproximadamente 70 km de comprimento e cerca de 20 km de largura, está situada no sul do Estado de Minas Gerais. Ela abrange áreas dos municípios de São João del Rei, Nazareno, Cassiterita, Ritápolis e Coronel Xavier Chaves. Na região ocorrem numerosos pegmatitos, geralmente na forma de diques, com mergulhos subverticais, que cortam praticamente todos os litotipos da faixa *greenstone* Rio das Mortes. Dentre os diversos tipos de rochas ígneas plutônicas intrusivas na faixa *greenstone* destaca-se o granitóide Ritápolis com idade de 2.121 ± 7 Ma, provável responsável pela geração dos pegmatitos (Ávila 2000). Os corpos pegmatíticos têm extensões normalmente inferiores a 100m porém, na área do Volta Grande, Município de Nazareno, registram-se corpos gigantes com até 1000m de comprimento e espessuras variáveis que podem chegar a até uma centena de metros. Todos os corpos da província são, particularmente, produtores de cassiterita, tantalita e microlita.

CARACTERIZAÇÃO DO ZIRCÃO Os grãos de zircão hafnífero estudados correspondem a minerais detríticos coletados em córregos cuja carga de leito ativo é atualmente formada pelos rejeitos provenientes das atividades de mineração efetuadas nos numerosos corpos pegmatíticos estanho-tantalíferos aí encontrados. Os locais de coleta situam-se a, no máximo, 100m a jusante das lavras pegmatíticas. O material analisado provém dos pegmatitos do Volta Grande (corpo E), do Garimpo do Cascalho Preto e do Córrego Pernambuco situados nos municípios de Nazareno, Coronel Xavier Chaves e São João del Rei, respectivamente. O zircão ocorre em cristais eudrícos (Fig. 2) com forma prismática bipiramidal, alguns são geminados, tamanho variando entre 1,0 e 2,0mm, cor rósea a ligeiramente avermelhada e cor de fluorescência amarelada ao UV ondas curtas. Os teores (em peso) de ZrO_2 , HfO_2 , SiO_2 e ThO_2 estabelecidos por microsonda eletrônica e MEV/EDS são apresentados nas tabelas 1 e 2. Nas imagens MEV/BSD (Fig. 3), verifica-se que os cristais são constituídos nas bordas por zonas mais claras, mais enriquecidas em HfO_2 (26,9% a 36,5% em peso), e, nas partes mais internas, por zonas escuras, menos enriquecidas em HfO_2 (17,2% a 21,0%, em peso). O háfnio zirconífero corresponde a uma inclusão mineral hospedada em um grão de cassiterita derivado desse pegmatito. Nele, o teor determinado foi de até 48,3%, em peso, de HfO_2 (Pereira *et al.* 2003b). O zircão hafnífero mostra inclusões de cassiterita, báriomicrolita, plumbomicrolita, tantauxenita, brabantita, monazita e thorogumita (Pereira *et al.*

Figura 1 - Mapa de localização das áreas com as ocorrências de zircão hafnífero no sudeste brasileiro: 1 = riebckita álcali-feldspato granito Mandira; 2 = plúton Desemborque; 3 = Pegmatito Volta Grande; 4 = Pegmatito Mixiriqueira; 5 = Pegmatito Golconda.

2004b, Saez *et al.* 2005), enquanto no hafnônio zirconífero as inclusões são de cassiterita e microlita. A torita corresponde a principal exsolução encontrada nesses grãos.

PROVÍNCIA PEGMATÍTICA ORIENTAL BRASILEIRA

Distrito Pegmatítico de Governador Valadares Este distrito encontra-se situado na região do Médio Rio Doce, porção leste do Estado de Minas Gerais. Ela engloba as cidades de Governador Valadares, Conselheiro Pena, Mendes Pimentel, Galiléia e Ipatinga, dentre outras. As principais unidades em destaque desta província são do Neoproterozóico e encontram-se intrudidas por diversos tipos de rochas graníticas, de idades entre 600 Ma e 550 Ma, dentre os quais sobressaem os tonalitos Governador Valadares, Galiléia e São Vitor e o Granito Palmital (CODEMIG 2003). Estes granitóides são os prováveis responsáveis pelos numerosos corpos pegmatíticos (*e.g.*, Golconda, Córrego Frio, Sapucaia, Lavra do Telirio, etc.) encontrados nessa região. Os pegmatitos foram geralmente posicionados como so-

leiras e diques, têm formas geralmente lenticulares, extensões e espessuras variáveis e, encontram-se preferencialmente, encaixados em micaxistos pertencentes às formações Dom Silvério e Tumiritinga (região de Governador Valadares) e São Tomé (na região de Galiléia/Mendes Pimentel). Os pegmatitos da província pegmatítica Oriental Brasileira são importantes produtores de gemas (água-marinha, turmalina, kunzita, etc.) e minerais de fosfato, como a brazilianita (Córrego Frio). Alguns pegmatitos são produtores de caulim, a partir da alteração do feldspato como, por exemplo, o pegmatito Mixiriqueira, situado na região de Ipatinga (Cassedanne *et al.* 1985).

O PEGMATITO GOLCONDA Este corpo, situado no Município de Governador Valadares, é um dos mais expressivos que compõem a área pegmatítica do Médio Rio Doce. Os pegmatitos desta área intrudem um conjunto de direção N-S, formado por (moscovita, granada e sillimanita) biotita xistos intercalados com quartzitos, da Formação Dom Silvério, do Grupo Rio Doce (CODEMIG 2003). Ortonaisses bandados do Complexo

Tabela 1 - Análise em microsonda do zircão rico em háfnio derivado dos pegmatitos Volta Grande e Mixiriqueira.

grão	M1	M2	M3	M4	M5	SJ1a	SJ1b	SJ2a	SJ2b	SJ3a	SJ3b
SiO ₂	20,5	29,2	24,8	25,9	26,2	29,4	30,4	28,7	30,3	28,9	30,5
ZrO ₂	54,0	57,9	44,9	38,8	44,1	45,3	51,2	40,4	54,1	40,5	53,6
HfO ₂	8,4	8,9	7,1	23,1	21,0	24,1	17,5	29,2	14,5	31,0	15,1
ThO ₂	-	-	0,9	4,1	0,8	-	-	0,1	0,1	-	0,2
UO ₃	3,2	0,6	9,5	-	-	-	-	-	-	-	-
FeO	0,3	0,2	0,4	-	0,3	0,1	0,1	-	-	-	0,1
Y ₂ O ₃	4,1	1,3	1,9	1,7	4,6	0,1	-	0,3	0,6	0,01	0,4
MnO	0,3	0,2	-	0,8	-	-	-	-	-	-	-
CaO	-	0,1	0,6	0,3	-	-	-	-	0,1	-	0,1
Total	90,8	98,4	90,1	94,7	97,0	99,1		98,9		100,5	

M = Mixiriqueira (Cassedanne *et al.* 1985); SJ = São João Del Rei:
a = parte clara; b = parte escura (Pereira *et al.* 2003).

Figura 2 - Imagens MEV/BSD de cristais de zircão da Província Pegmatítica de São João del Rei.

Guanhães, com idade de 2.8 Ga, predominam na porção leste da área e a oeste, situam-se os corpos intrusivos do tonalito Governador Valadares, relacionado ao evento Neoproterozóico III (CODEMIG 2003). Nessa área, os pegmatitos comumente apresentam composições mineralógicas simples, sendo formados por quartzo, feldspato, micas, granada e turmalina preta. Mineralogia mais variada, representada por cassiterita, columbita-tantalita, lepidolita, minerais secundários de urânio, fosfatos de Fe e Mn, turmalina e berilo de várias cores, além do quartzo, feldspato, mica, granada e zircão é observada em alguns corpos (Oliva 1983).

Caracterização do zircão O zircão ocorre em cristais euédricos, com aproximadamente 2 mm de comprimento, formas prismática bipiramidada e flabeliforme e cores que vão do rosa ao marrom escuro. Intercrescimentos de zircão com um xenotímio extremamente enriquecido (~14%) em elementos terras raras são freqüentemente observados (Fig. 4). Variações nos conteúdos em HfO₂ do zircão chegam, nas partes mais claras, a até 15,2%, em peso (Fig. 5). A principal inclusão observada corresponde ao xenotímio sendo a torita, seguida da ura-

ninita, as exsoluções observadas.

O PEGMATITO MIXIRIQUEIRA O pegmatito aflora ao norte de Ipatinga e a sudoeste de Governador Valadares, na margem esquerda do rio Doce. Esse corpo encontra-se completamente alterado (caulinizado) e intrudindo micaxistos e gnaisses, do Neoproterozóico e Arqueano (CODEMIG 2003; Cassedanne *et al.* 1985). Sua composição mineralógica inclui quartzo leitoso, mica, berilo, monazita, espessartita, xenotímio, bismuto nativo, hematita, autunita, samarskita, columbita e zircão hafnífero. O zircão hafnífero apresenta-se em grupos flabeliformes ou maciços e podem ultrapassar os 15 cm (Cassedanne *et al.* 1985). São ligeiramente zonados e suas cores variam de rosa alaranjada e bege alaranjado pálido, com as partes mais internas dos cristais mais transparentes e mais acinzentadas.

Caracterização do zircão O tipo flabeliforme tem teores (em peso) de HfO₂ variando entre 7,1% e 8,9%, enquanto o tipo maciço tem até 23,1%. Os grãos de zircão (Fig. 6) mostram partes mais claras, mais enriquecidas em háfnio, e mais escuras, menos enrique-

Figura 3 - Imagens MEV/BSD de cristais de zircão mostrando partes mais enriquecidas (mais claras) em háfnio.

Figura 4 - Imagens MEV/BSD de cristais de zircão do Pegmatito Golconda. O cristal da esquerda apresenta intercrescimento com xenotímio.

cidas nesse elemento. Y representa um elemento secundário na composição do zircão flabeliforme e um elemento principal no tipo maciço (Cassedanne *et al.* 1985). Estudos complementares em MEV/EDS permitiram identificar algumas inclusões bem características de xenotímio e chernovita.

ZIRCÃO HAFNÍFERO ASSOCIADO ÀS ROCHAS GRANÍTICAS

Plúton Desembarque O plúton Desembarque, um granito a metais raros do tipo-A, constitui uma intrusão com forma circular, com área aflorante de 50 km², situado no sul do Estado de São Paulo. Esse corpo, que pode ser correlacionado ao evento Neoproterozóico III, é formado por biotita sienogranito contendo columbita, zircão hafnífero e cassiterita na associação de minerais acessórios (Pereira *et al.* 2003b). Processos de alterações, tardi- a pós-magmáticos, tais como metasomatismo sódico, greisenização, epidotização, sulfetização e martitização foram registrados nesse corpo. A priori, pelas mineralizações apresentadas, ele poderia ser enquadrado no modelo dos granitos peralcalinos e anorogênicos mineralizados a metais raros que formam depósitos ou ocorrências de Nb, Zr e ETR.

CARACTERIZAÇÃO DO ZIRCÃO O zircão hafnífero

do plúton Desembarque ocorre em cristais euédricos (Fig. 7) com forma prismática bipiramidada, alguns são geminados, tem tamanhos menores que 1,0mm, cor rósea a bege, ligeiramente amarronzada. Análises em MEV/EDS mostraram teores, em peso, de HfO₂ entre 12,6% e 15,6%. Os maiores valores de háfnio foram obtidos nas zonas mais claras que podem ser observadas nas imagens MEV/BSD (Fig. 8). As inclusões observadas são de magnetita, monazita, xenotímio, bastnäsita, quartzo, mica e anfibólio da série tremolita-actinolita. A torita constitui a principal exsolução encontrada, seguida de uraninita.

Riebeckita Álcali-Granito Mandira O riebeckita álcali-granito Mandira, um dos corpos que constituem o maciço granitóide Mandira (Boin *et al.* 1982) é relacionado à Suíte Intrusiva Serra do Mar (Kaul *et al.* 1982). Corresponde a um corpo alcalino, peralcalino, do tipo-A, tem área de exposição de cerca de 50 km² e sua idade deve ser próxima a do Granito Serra do Paratiú, que também pertence à mesma suíte e tem idade (U-Pb) de 584± 4 Ma (Passarelli *et al.* 2004). Isso permite o seu enquadramento no evento Neoproterozóico III. O granito é constituído por quartzo, ortoclásio, que se encontra invariavelmente pertitzado e riebeckita, o principal mineral máfico associado, que forma pris-

Tabela 2 - Análise semiquantitativa em MEV/EDS do zircão hafnífero.

Grão	1A	2A	3A	4A	5A	1B	2B	3B	4B	5B
SiO ₂	28,3	27,8	27,8	28,0	28,2	27,5	27,5	28,7	27,4	27,2
ZrO ₂	53,0	49,3	54,2	53,1	52,5	57,5	56,6	48,4	57,1	59,1
HfO ₂	12,9	15,6	12,6	13,1	14,4	12,0	9,0	11,2	12,1	11,2
P ₂ O ₅	5,1	4,0	4,6	5,1	4,5	0,9	1,7	4,5	1,8	0,4
FeO	-	1,9	0,1	0,1	0,1	0,5	0,6	0,8	0,2	0,1
SnO ₂	-	-	-	-	-	-	0,3	0,5	0,2	-
UO ₃	0,3	0,5	0,2	0,1	-	0,2	0,7	0,7	0,2	0,4
ThO ₂	-	0,3	0,1	0,3	-	0,1	1,2	2,4	0,1	-
EuO ₃	-	0,1	-	-	-	0,3	-	0,3	0,2	-
Gd ₂ O ₃	0,1	-	-	-	-	-	-	0,3	-	-
Dy ₂ O ₃	-	-	-	-	0,1	0,1	0,4	0,7	-	0,1
Yb ₂ O ₃	0,2	0,2	0,1	-	0,1	0,3	1,0	0,9	0,4	0,7
Er ₂ O ₃	-	-	-	-	-	0,2	1,0	0,5	-	0,4
Total	99,9	99,8	100,0	100,0	100,0	99,6	100,0	99,9	99,7	99,6

Tabela 2 (cont.) - Análise semiquantitativa em MEV/EDS do zircão hafnífero.

Grão	6B	7B	1C	2C	3C	4C	1D	2D	3D	6D
SiO ₂	26,9	27,5	27,5	28,0	28,1	27,8	30,0	30,0	29,5	30,3
ZrO ₂	58,9	58,0	55,6	49,4	55,3	55,2	45,0	46,4	40,0	51,4
HfO ₂	11,8	11,4	14,3	15,2	13,8	15,2	24,8	23,4	30,4	17,7
P ₂ O ₅	1,1	0,9	-	5,2	0,3	0,8	-	-	-	-
FeO	-	-	0,7	0,1	0,6	0,7	-	-	-	-
SnO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
UO ₃	-	0,2	1,7	1,3	1,3	0,2	-	-	-	-
ThO ₂	0,1	0,9	-	0,2	-	-	-	-	-	0,3
EuO ₃	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
Gd ₂ O ₃	-	0,4	0,1	0,2	0,2	0,2	-	-	-	-
Dy ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Yb ₂ O ₃	0,9	0,3	-	-	0,1	0,2	-	-	-	-
Er ₂ O ₃	0,4	0,6	0,1	0,3	0,1	0,2	-	-	-	-
Total	100,1	100,3	100,0	99,9	99,8	100,5	99,8	99,8	99,9	99,7

(A) plúton Desemborque (B) Riebeckita Álcali-Granito Mandira;
(C) =Pegmatito Golconda; (D) = Pegmatitos Volta Grande; (-) = não determinado

mas alongados com 1 cm de comprimento (Boin *et al.* 1982). O zircão enriquecido em háfnio é um de seus minerais acessórios (Pereira *et al.* 2005).

CARACTERIZAÇÃO DO ZIRCÃO Os cristais de zircão são euédricos, predominantemente bipiramidais

(Fig. 9) de cor bege a marrom, com até 3,0mm de comprimento. Cristais prismáticos bipiramidados de tamanhos mais reduzidos (1,0mm) e tonalidades entre branca leitosa e rosada ocorrem localmente. Alguns cristais apresentam-se zonados. As imagens MEV-BSD mostram que, em alguns grãos de zircão as bordas são mais maciças (e mais enriquecidas em háfnio) em relação às

Figura 5 - Imagens MEV/BSD de um fragmento de zircão maciço do Pegmatito Mixiriqueira mostrando zonas mais enriquecidas em háfnio (mais claras), uma inclusão de xenotímio e uma miríade de exsoluções, principalmente, de torita (imagem da direita).

Figura 6 - Imagens MEV/ BSD de cristais de zircão do plúton Desembarque.

Figura 7 - Imagens MEV/BSD de cristais de zircão do plúton Desembarque mostrando as zonas mais enriquecidas em háfnio (mais claras).

partes mais internas, que se apresentam mais porosas e repletas de inclusões minerais (Fig. 10). Os teores de HfO_2 (em peso) entre 9% e 12%, permitem considerá-lo dentro da série zircão-hafnã, entre os termos zircão e zircão hafnífero (razões atômicas entre 8,5 e 11,9 mol. % HfSiO_4). Os teores de elementos terras raras podem

atingir até 2,7%, em peso, com destaques para o Yb e o Er.

A torita é a principal exsolução sendo as inclusões sólidas representadas pelo xenotímio e por um carbonato de terras raras (possivelmente bastnäsita). Também foram registradas inclusões de monazita, óxido de

Figura 8 - Imagens MEV/BSD de cristais de zircão do riebeckita álcali-granito Mandira.

Figura 9 - Imagens MEV/ BSD de cristais de zircão do riebeckita álcali-granito Mandira mostrando as zonas mais enriquecidas em HfO_2 (mais claras) e zoneamento do tipo oscilatório (imagem da direita).

ferro (magnetita?), quartzo, feldspato potássico e de um mineral, não identificado, cuja composição corresponde a um fosfato de tório.

CONSIDERAÇÕES FINAIS As ocorrências de zircão hafnífero descritas em território brasileiro são restritas a região sudeste do Brasil associadas a pegmatitos ou a granitos alcalinos inseridos em três grandes domínios metálicos favoráveis para a presença de mineralizações de Sn e metais do grupo dos elementos HFS (Nb, Ta, Be, Li, etc.). Isso está de acordo com o que foi estabelecido através de estudos desenvolvidos por vários autores (Knorring & Hornung 1961, Correia Neves *et al.* 1974, Wang *et al.* 1996, Černý & Silvola 1980) que comprovaram a estreita afinidade existente entre o háfnio e o tântalo.

O zoneamento interno dos grãos de zircão varia entre os diversos cristais estudados. As partes mais internas apresentam uma maior abundância de exsoluções/inclusões do que as bordas, geralmente mais homogêneas e às vezes, com zoneamento oscilatório.

Os estudos efetuados demonstram um maior enriquecimento em Hf nas zonas de bordas dos cristais de zircão em detrimento das zonas mais internas. Foram evidenciadas, na estrutura do núcleo de alguns cristais da região de São João Del Rei, texturas do tipo pseudocolo-formes semelhantes as descritas para cristais de zircão de origem hidrotermal (Saez *et al.* 2005). As inclusões contidas no zircão, essencialmente de minerais ricos em elementos incompatíveis como Y, Nb, Ta, ETR, Th e U, refletem o seu crescimento em um meio saturado em fases que incluem esses elementos. A partir dos estudos efetuados em amostras de São João Del Rei, sugere-se uma origem complexa para a formação do zircão com a participação de processos de cristalização fracionada e remobilização de determinados elementos em relação a fluidos hidrotermais de alta temperatura (Saez *et al.* 2005). Basicamente, os minerais hospedados no zircão rico em háfnio (cassiterita, columbita-tantalita, microlita) são comuns nos pegmatitos e granitos a metais raros.

As ocorrências pegmatíticas brasileiras estão

relacionadas aos corpos da região de São João Del Rei (Corpo E do Volta Grande, Garimpo do Cascalho Preto e Córrego Pernambuco) e do distrito de Governador Valadares (Mixiriqueira e Golconda). O teor máximo de HfO_2 , registrado em cristais derivados dos pegmatitos, chegou a 36% (em peso).

O zircão hafnífero associado a granitos tem teores (em peso) de háfnio mais baixos, da ordem de 16% e, até o presente momento, só foi reconhecido no plúton Desembarque e riebeckita álcali-feldspato granito Mandira. Essas últimas descobertas abrem novas perspectivas metalogênicas para os tipos alcalinos relacionados à Suíte Intrusiva Serra do Mar.

As características cristaloquímicas conferem ao zircão uma grande estabilidade na maioria dos ambientes geológicos, particularmente no ambiente exógeno. Sua resistência aos processos de intemperização faz com

que a sua presença seja bastante comum nas amostras de concentrados de bateia. Além disso, sua estrutura abriga uma grande abundância de elementos menores e traços, de modo que a sua composição química passa a ser uma fonte significativa de informações no estudo da origem e evolução das rochas derivadas de processos endógenos (Hoskin & Shallegger 2003). Dessa maneira, a freqüente relação entre zircão hafnífero e corpos graníticos e pegmatíticos a metais raros faz com que esse mineral se torne, prospectivamente, um interessante rastreador para esse tipo de mineralização.

Agradecimentos RMP agradece à FAPERJ (Processo E:26/171.016) pelo apoio financeiro. Aos revisores da RBG, na pessoa do Prof. Dr. Daniel Atencio, nossos agradecimentos pelas correções e sugestões.

Referências

- Ávila C.A. 2000. *Geologia, petrografia e geocronologia de corpos plutônicos Paleoproterozóicos da borda meridional do Cráton São Francisco, região de São João Del Rei, Minas Gerais*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Univ. Federal do Rio de Janeiro, 401p.
- Boin M.N., Silva J.R.B., Silva R.B., Mello I.S.C. 1982. Mineralizações polimetálicas hidrotermais, associadas aos granitoides alcalinos de Mandira, SP. In: SBG, Cong. Bras. Geol., 22., *Anais*, v.3, p.945-955.
- Cassedanne J.P., Baptista A., Černý P. 1985. Zircon hafnifer, samarskite et columbite d'une pegmatite du rio Doce, Minas Gerais, Brésil. *Canad. Mineral.*, **23**:563-567.
- Černý P. & Silvola J. 1980. Extreme fractionation in rare-element pegmatites selected examples of data and mechanisms. *Canad. Mineral.*, **18**:313-321.
- CODEMIG 2003. Mapa geológico do Estado de Minas Gerais, Escala 1:100.0000. CD-ROM.
- Correia Neves J.M., Lopes Nunes J.E., Sahama G. 1974. High hafnium of the zircon-hafnon series from the granite pegmatites of Zambézia, Mozambique. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **48**(1):73-80.
- Hoskin P.W.O. & Schaltegger U. 2003. In: J.M. Hanchar & P.W.O. Hoskin (eds.). *Zircão*, Mineralogical Society of America Revue. Mineralogy and Geochemistry, vol. 53, p.27-62.
- Kaul P.F.T., Issler R.S., Fernandes E., Bonow C.W., Coutinho J.B.L. 1982. Suíte Intrusiva Serra do Mar. *Min. Metal.*, **484**:32-37.
- Knorring O. & Hornung G. 1961. Hafnium zircons. *Nature*, **190**(17):1098-1099.
- Levinson A.A. & Borup R.A. 1960. High hafnium zircon from Norway. *Am. Mineral.*, **45**(5-6):562-565.
- Oliva P.R. 1983. *Prospecção com bateia na região pegmatítica da Golconda: município de Governador Valadares, MG*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 150p.
- Passarelli C.R., Basei M.A. S., Campos Neto M.C., Siga Júnior O., Prazeres Filho H.J. 2004. Geocronologia e Geologia Isotópica dos Terrenos Pré-Cambrianos da Porção sul-oriental do Estado de São Paulo. *Revista do Instituto de Geociências*, Série Científica, **4**(1):55-74.
- Pereira R.M., Ávila C.A., Neumann R., Atencio D., Netto A.M. 2003a. Borda de zircão hafnífero em hafnônio zirconífero do pegmatito da área da mina do Volta Grande, Província Pegmatítica de São João Del Rei, Minas Gerais. *Bol. Museu Nacional*, Série Geologia, **69**:1-14.
- Pereira R.M., Ávila C.A., Neumann R. 2003b. Zircão hafnífero e columbita-tantalita associados ao Granito Guaraú, região de Jacupiranga, Vale do Ribeira, SP. In: SBG, Simp. Geol. Sudeste, 8, *Boletim de Resumos*, p.135.
- Pereira R.M., Ávila C.A., Neumann R., Silva R.B. 2004a. Zircão com alto conteúdo de háfnio da região de Cananéia, São Paulo. In: SBG, Cong. Bras. Geol., 42, *Boletim de Resumos*, CDrom.
- Pereira R.M., Netto A.M., Ávila C.A., Barrueto H.R., Neumann R., Atencio D. 2004b. Zirconiferous hafnon and hafniferous zircon from São João Del Rei, Minas Gerais, Brazil. In: ICAM, International Congress on Applied Mineralogy, 8, Águas de Lindóia, *Extend Abstract*, v.2, p. 919-921.
- Pereira R.M., Bastos R.S., Rezende M.F., Ávila C.A., Neumann R. 2005. Potencial para placeres mineralizados em zircão hafnífero na região de Cananéia, Estado de São Paulo. *Rev.Bras. Geoc.* **35**(4):585-590.
- Sáez R., Pereira R.M., Carrasco R., Nieto J.M. 2005. Origen de circones detríticos ricos em Hf de São João Del Rei, Minas Gerais (Brasil). *Geogaceta*, **37**:63-66.
- Wang R.C., Fontan F., Xu, S.J., Chen X.M., Monchoux P. 1996. Hafnian zircon from the apical part of the Suzhou granite, China. *Canad. Mineral.*, **34**:1001-1010.
- Wang R.C., Zhao G.T., Lu J.J., Chen X.M., Xu S.J., Wang D.Z. 2000. Chemistry of Hf-rich zircons from the Laoshan I- and A-type granites, eastern China. *Mineral. Mag.*, **64**(5):867-877.

Manuscrito AE-051/2006

Submetido em 30 de outubro de 2006

Aceito em 17 de abril de 2007