

## Morfologia de zircões e implicações genéticas do maciço Ibituba, Minas Gerais e Espírito Santo

D. Justino<sup>1</sup>, I.A. Dussin<sup>2</sup>, A.H. Horn<sup>3</sup> & F. Chemale Jr.<sup>4</sup>

1 Bolsistas BIC do CNPq/UFMG – dayvissongeo@yahoo.com.br

2 Pesquisador Visitante/UFGRS e Pesquisador Associado/UFMG – ivodusin@ig.com.br

3 UFMG-IGC-CPMTC – hahorn@ufmg.br

4 UFGRS/LGI – farid.chemale@ufgrs.br

**Abstract** Neoproterozoic granitoid suites in south eastern Brazil are closely related to the different tectonic phases of the Brasiliano tectonic-thermal event. Petrographic, geochemical and structural features allow to separate these rocks into pre-, sin-, late and post-tectonic granitoids. The whole emplacement process lasted about 100 Ma: from 595 Ma for the pre-tectonic granitoids, to near 490 Ma for the post-tectonic ones. During this interval, a 45 Ma magmatic quiet period (from 582 to 537 Ma) also took place. The late tectonic intrusions, object of this paper can be separated in two distinct rock suites (hy-rich group and CAC-alc-group). Detailed field observations, coupled with a study of zircon morphology, and petrological and geochemical observations indicate important mantle interactions with the Achaean and Paleoproterozoic crust in the genesis of these granitoids, showing even evidences. This paper tries to explain the genetic relationships between the different rock suites and of the Ibituba Intrusive Complex.

**Palavras-chave:** Zircão, tipologia, granito, hiperstênio-granito.

### LOCALIZAÇÃO E ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

O Complexo Intrusivo Ibituba-Itapina localiza-se às margens do vale do rio Doce, porção oeste do Espírito Santo e de Minas Gerais, entre as coordenadas de 19°20'S e 19°50'S e 40°30'W e 41°20'W (Fig. 1).

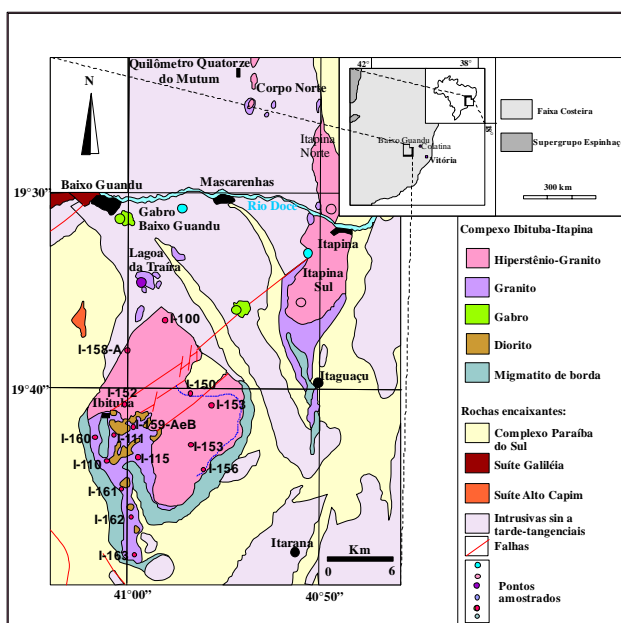


Figura 1. Mapa de localização da área de interesse com os corpos intrusivos Ibituba, a oeste, e Itapina, a leste. Geologia segundo (Horn et al. 2002), com indicação dos pontos de amostragem do corpo Ibituba para as análises efetuadas.

O Complexo Intrusivo Ibituba-Itapina pertence à sequência intrusiva neoproterozóica, situada na Província Estrutural Mantiqueira, sendo formado por diversos corpos: Ibituba (~350km<sup>2</sup>), Itapina (~330km<sup>2</sup>), Baixo Guandu (< 21km<sup>2</sup>), Lagoa da Traira (< 2km<sup>2</sup>) e corpos menores (< 0,5km<sup>2</sup>) além de duas suítes magmáticas. Uma suíte charnoquítica, com granito a hiperstênio, gabro diorito e uma auréola migmatítica oriunda da rocha encaixante e outra suíte granítica, com granito cálcio-alcalino/alcalino, diorito rico em anfibólio, pegmatitos, aplitos e uma zona de borda com enclaves das rochas encaixantes.

A parte centro-norte da Província Mantiqueira (PM) localiza-se na região sudeste do Brasil, na borda oriental do Cráton São Francisco, abrangendo a porção centro-oriental de Minas Gerais e o NW do Espírito Santo. A província é representada por faixas móveis neoproterozóicas formadas no Ciclo Brasileiro (600 – 450 Ma) e que circundam o Cráton São Francisco. Essas faixas móveis resultaram do retrabalhamento de unidades eo-proterozóicas representadas por rochas de alto a baixo grau de metamorfismo dos Complexos Piedade, Paraíba do Sul e Pocrane, e das sequências supracrustais neoproterozóicas do Grupo Rio Doce. Durante essas fases termo-tectônicas do Brasiliano originaram-se as diversas gerações de granitóides e pegmatitos (Correia Neves et al. 1986, Bilal et al. 1998, 2000a, 2000b). Vários pegmatitos, especialmente aqueles com elementos raros, com morganita e turmalinas coradas estão, normalmente, alojados segundo os planos de foliação dos Xistos São Tomé (Fig. 1).



A evolução regional foi condicionada pelas zonas de cisalhamento Governador Valadares-Guaçuí e de Vitória. Duas fases principais de deformação desenvolveram-se sob fácies anfibolito (Bilal *et al.* 2000b): uma (D<sub>1</sub>) anterior ao posicionamento dos granitóides e outra (D<sub>2</sub>) posterior.

A deformação D<sub>1</sub>, de orientação N10-30° e de médio a alto grau, foi responsável pela formação de foliação penetrativa em estado sólido e pela lineação mineral das rochas encaixantes e dos granitóides. Afetou os granitos pré-tectônicos e controlou a foliação dos granitóides sín-tectônicos. A foliação associada às lineações oblíquas sugere que as zonas de cisalhamento subverticais foram importantes durante o posicionamento dos granitóides (Bilal *et al.* 2000a).

A deformação D<sub>2</sub>, caracterizada por uma clivagem de crenulação, boudinagem e falhas normais, é atribuída a uma fase extensiva contemporânea ao posicionamento dos granitóides pós-tectônicos.

Dados geocronológicos U-Pb (Söllner *et al.* 1991, Machado *et al.* 1996) e Sm-Nd (Fischel *et al.* 1998), demonstram a existência de dois eventos termo-tectônicos na região, ocorridos entre 590-565 Ma e 535-520 Ma. (Bilal *et al.* 2000a, 2000b, Horn A.H. & Bilal E. 2004).

**MÉTODOS** **Introdução** Foram coletadas 18 amostras, com 20 a 50 kg, de rocha maciça ao longo de linhas aproximadamente N-S entre o hiperstênio granito e o granito do Complexo Intrusivo Ibituba, visando observar a variação petrográfica entre ambos (Fig. 1).

Os zircões foram separados utilizando o método de concentração clássico, com moagem moderada e separação com bromofórmio e iodeto de metileno, segundo os procedimentos propostos por Duplaix (1948) e Parfenoff *et al.* (1970).

As populações de zircão foram estudadas ao microscópio ótico de transmissão (MOT) e ao microscópio eletrônico de varredura (MEV). Posteriormente aplicou-se a metodologia da tipologia dos zircões de Pupin (1976). A tipologia de zircões consiste na teoria de que mudanças nos parâmetros físico-químicos do magma, durante o seu resfriamento, que alteram o crescimento das faces dos cristais, originando assim diferentes formas. Baseando-se nessas variações das formas o método considera a análise estatística da morfologia dos cristais, classificando-os segundo o Diagrama de Partição Tipológica (DPT).

**Separação mineral** A separação mineral foi realizada nos laboratórios do CPMT/UFMG e do LOPAG/UFOP seguindo as seguintes etapas:

Britagem, seguida de moagem moderada e concentração de minerais pesados com bateia; separação magnética de minerais de alta susceptibilidade com ímã de mão; separação de minerais de média susceptibilidade magnética, da fração não magnética da etapa anterior, com o separador magnético isodinâmico Frantz com 0,25A e uma inclinação da calha de 15°L; separação de minerais mais pesados, da fração não magnética da etapa anterior, com bromofórmio (d=2,89g/cm<sup>3</sup>) e iodeto de metileno (d=3,32g/cm<sup>3</sup>).

Algumas amostras continham, além de zircão, altas porcentagens de monazita, eliminadas por digestão em ácido sulfúrico concentrado e a quente (~60°C), como proposto por Almeida *et al.* (2002a, 2002b), sem alteração das características químicas do zircão.

**Descrição tipológica** As frações de zircão separadas foram montadas em lâminas delgadas com bálsamo do Canadá, para estudos ao microscópio óptico. Os cristais foram distribuídos de maneira caótica e a classificação feita em linhas preservando o caráter aleatório da amostragem. A análise da morfologia foi feita para 100 cristais, admitindo-se um valor de indeterminação máximo de 20%. Indexadas as faces, plotou-se as porcentagens de cada tipo cristalográfico da amostra, no diagrama de Pupin (1976), DPT. Os dados foram tratados estatisticamente para obter as curvas de tendência de evolução tipológica (TET) e o ponto médio do DPT (A<sub>m</sub>, T<sub>m</sub>). A automatização dos cálculos foi feita com uma planilha com os valores e curvas desejadas, alimentada com os dados adquiridos ao microscópio (Almeida *et al.* 2002a, 2002b).

A identificação das faces foi difícil ao microscópio óptico, devido à alta densidade e conseqüente relevo dos cristais, somado a defeitos morfológicos como fraturas, zoneamento interno e impurezas. Para superar essas dificuldades, empregou-se a alternativa de que utilizam Almeida *et al.* (2002a, 2002b) com o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) obtendo-se imagens nítidas da superfície dos cristais em pseudo 3D. Os cristais são espalhados também de maneira caótica sobre fita dupla face de carbono e pulverizados com ouro.

**RESULTADOS Zircão do hiperstênio granito** Os cristais do zircão se assemelham aos dos granitos. São prismáticos alongados, límpidos, com inclusões fluidas e sólidas de zircão e outros minerais. Os cristais contêm muitas inclusões de minerais opacos, o que é menos comum no zircão dos granitos.

Os tamanhos dos cristais variam entre 10 e 100 µm. A razão comprimento/largura predominante é de 3:1. Razões menores de 2:1 e 1:1 são menos comuns e

são representadas por cristais menores e menos euédricos que os que ocorrem em granitos (Fig. 2).

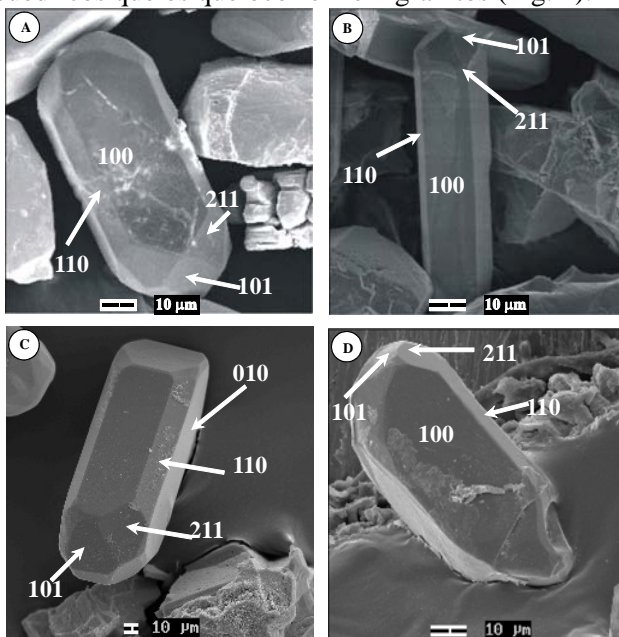


Figura 2. Prancha de microfotografias dos cristais de zircão do hiperstênio granito. Escala = 10μm. a. Cristal euédrico de zircão do tipo S<sub>23</sub>; b. Cristal euédrico de zircão do tipo S<sub>25</sub>; c. Cristal euédrico de zircão do tipo S<sub>24</sub>; d. Cristal euédrico de zircão do tipo S<sub>24</sub>.

**Zircão do granito** cristais de zircão do granito são invariavelmente prismáticos, alongados, biterminados, de comprimento/largura em geral 3:1, por vezes 2:1 ou menor e, de tamanho de 10 a 100 μm (Fig. 3). Possuem inclusões fluidas e sólidas numerosas. As inclusões sólidas são mais numerosas do que as fluidas. Grande parte das inclusões sólidas são cristais de zircão, muitos são límpidos e facetados, mas alguns arredondados e é incerto se representam núcleos mais antigos. Esses cristais inclusos têm formas que variam, desde arredondados a alongados. Também são comuns inclusões de minerais radioativos com fraturas radiais que penetram o zircão hospedeiro. Grande número de fraturas, ou mesmo grãos quebrados, são atribuídas ao processo de separação mineral, mas também podem ser atribuídas aos esforços tectônicos.

**Gráfico de porcentagens** Descrição Tipológica do Hiperstênio Granito O tipo mais comum de zircão do hiperstênio granito é do S<sub>24</sub> (Figs. 2 e 3), com dispersão para S<sub>23</sub> e S<sub>25</sub>. Predominam bipirâmides {101} e {211}, mas a {101} é mais desenvolvida. Os prismas mais comuns são subordinadamente {100} e {110}, sendo o primeiro muito maior que o segundo (Fig.2).

Nos hiperstênio granitos, a evolução dos cristais é menos importante na vertical do que na horizontal.

As amostras I-100 e I-150 mostram uma evolução com certa discrepância em relação ao padrão das demais amostras, coletadas na borda do corpo, possivelmente por contaminação das rochas encaixantes.

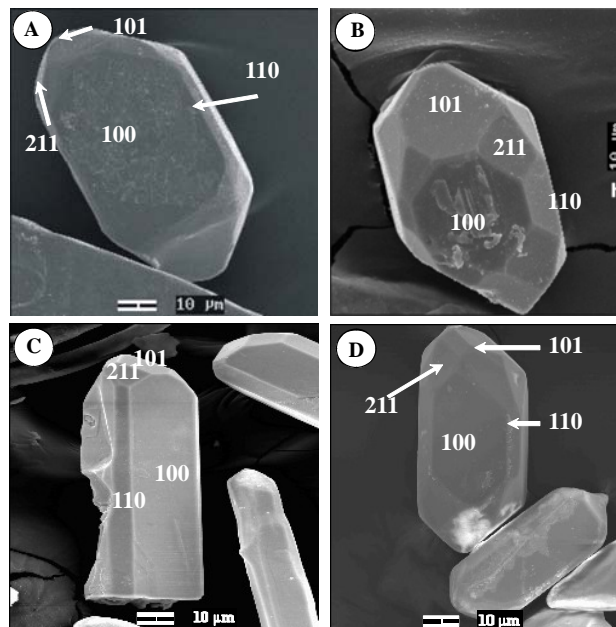


Figura 3. Prancha de microfotografias dos de zircão dos granitos cálcio-alcalinos (CAC-alc). Escala = 10μm. a. Cristal euédrico de zircão do tipo S<sub>24</sub>; b. Cristal euédrico de zircão do tipo S<sub>19</sub>; c. Cristal euédrico de zircão do tipo S<sub>19</sub>; d. Cristal euédrico de zircão do tipo S<sub>18</sub>.

**Descrição Tipológica do Granito** O estudo tipológico dos cristais de zircão mostra uma dispersão entre os tipos S<sub>24</sub> e S<sub>19</sub> (Fig.3), onde se tem uma predominância das bipirâmides {101} e {211} equidimensionais com uma leve tendência da {101} se destacar em relação à {211} (Fig.3).

Já na análise dos prismas há certa predominância do {100} sobre {110}, com maior percentual do prisma {100} >> {110}. Essas relações correspondem à porção do diagrama onde os cristais são mais alongados.

As formas mais evoluídas dos zircões, na cristalização, são evidenciadas pelos tipos S<sub>14</sub>, S<sub>9</sub> e S<sub>8</sub>, evoluindo assim para o centro do diagrama (Fig.3).

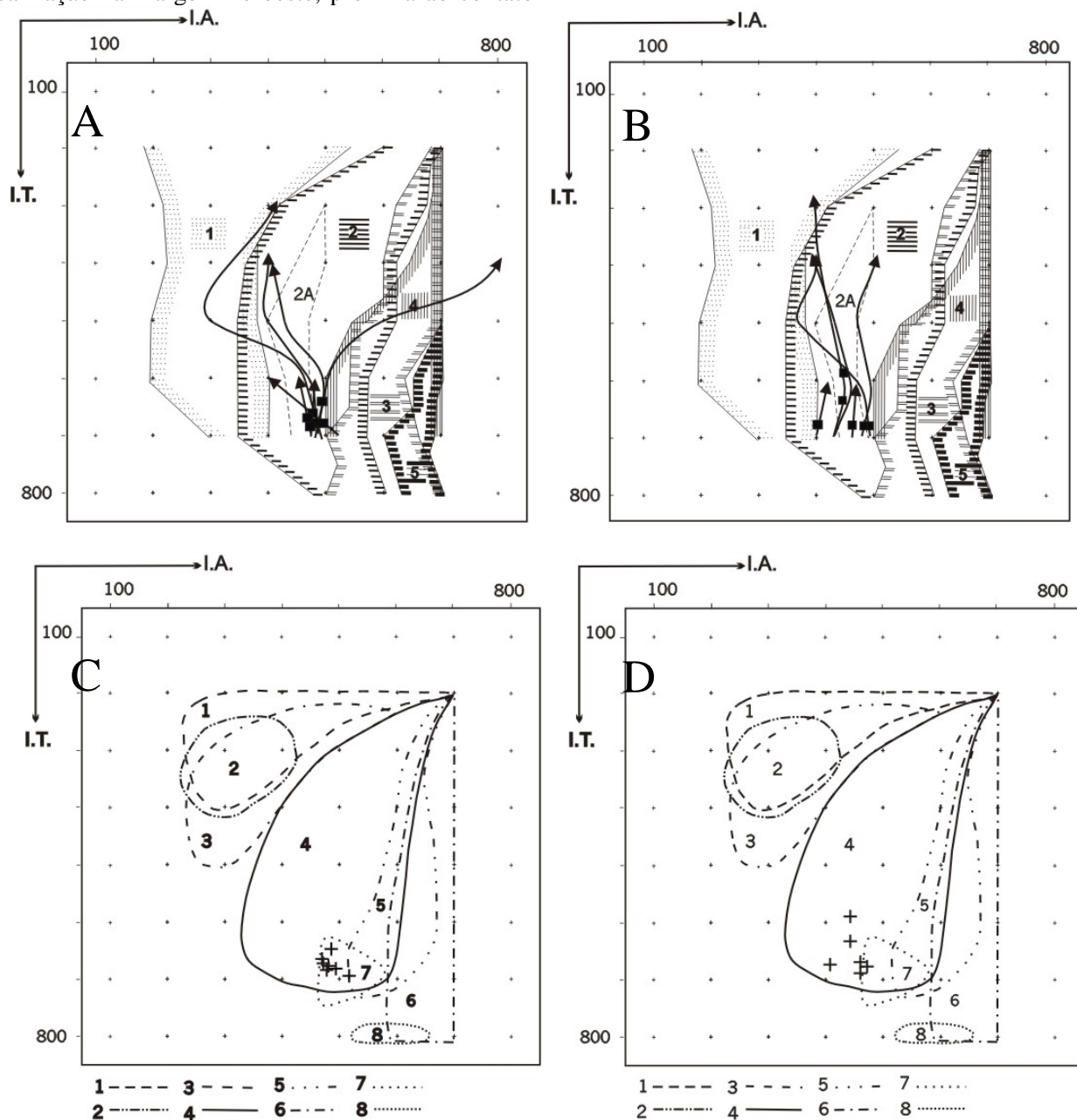
**AMBIENTES GEOTECTÔNICOS Hiperstênio Granito** O estudo tipológico dos cristais de zircão das amostras do hiperstênio granito baseou-se em sete amostras, cujos índices de alcalinidade (I.A) médio é 483 e temperatura (I.T) de 675°; (Fig.4 A). Os índices I.A e I.T e a tendência de evolução tipológica (TET)



nos distintos diagramas de Pupin (1980, 1988), das populações das diferentes amostras apontam evolução compatível com a série dos granitos cálcio-alcalinos evoluindo para cálcio-alcalino rico em potássio (Fig. 4 A). A amostra I-100, mostra evolução na série dos granitos subalcalinos o que é atribuído a sua localização na margem noroeste, próxima ao contato

com as rochas do Complexo Paraíba do Sul, com possível assimilação das rochas encaixantes (Fig. 1).

As amostras dos granitos estudados no diagrama tipológico do zircão se distribuem claramente no campo correspondente à série dos granitos toleíticos continentais, (Fig.4 C).



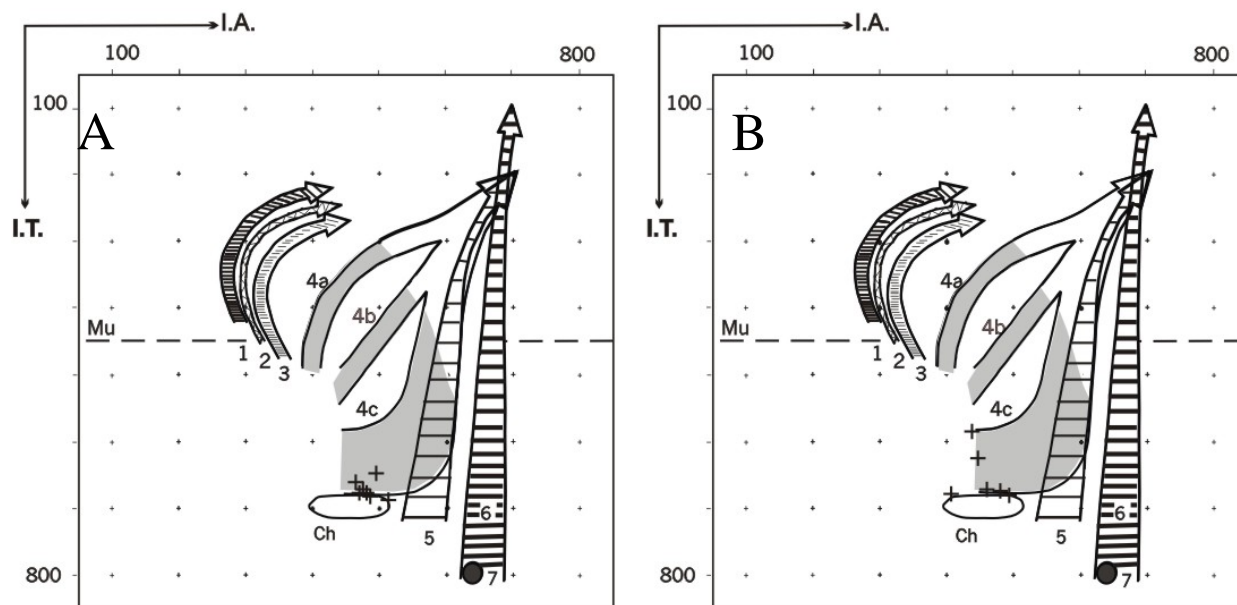
**Figura 4.** A - Hiperstênio granito; B - Granito cálcio-alcalino (CAC-alc). Distribuição da tendência de evolução tipológica -T.E.T. (Pupin, 1980). (1) Rochas graníticas de origem principalmente crustal; (2) Granitos cálcioalcalinos; (2A) Granitos cálcioalcalinos ricos em potássio; (3) Granitos subalcalinos; (4) Granitos alcalinos subsolvus; (5) Granitos alcalinos hipersolvus e curvas de tendência da evolução tipológica e respectiva média; (+) Amostras estudadas. C - Hiperstênio granito; D - Granito cálcio-alcalino (CAC-alc).

Distribuição de rochas graníticas no diagrama tipológico do zircão (Pupin 1988). (1) Leucogranitos aluminosos; (2) Monzogranitos – granodioritos (sub) autóctones; (3) Monzogranitos – granodioritos intrusivos aluminosos; (4) Séries graníticas calcioalcalinas e calcioalcalinas potássicas; (5) Séries graníticas subalcalinas; (6) Séries graníticas alcalinas; (7) Granitos toleíticos continentais; (8) Séries graníticas oceânicas.

A análise para rochas endógenas, segundo Pupin (1980), é dominada pela série dos granitos charnoquíticos, com evolução para série dos granitos orogênicos cálcio-alcálicos. Na distribuição dos pontos médios da TET de granitos crustais, (Pupin 1980), o hiperstênio granito se insere no domínio dos

charnoquitos com evolução para a série cálcio-alcálica de alta temperatura, com granodioritos e monzonitos (Fig. 5 A).

O diagrama tipológico, de rochas plutônicas (Pupin 1980), evidenciou evolução no domínio dos dioritos, quartzo-gabros e dioritos e tonalitos.



**Figura 5. A - Hiperstênio granito; B - Granito; Distribuição dos pontos médios da T.E.T. a partir das populações de zircões de granitos principalmente crustais (Pupin, 1980). (1) Leucogranitos aluminosos; (2) Monzogranitos e granodioritos (suib) autóctones; (3) Monzogranitos e granodioritos intrusivos aluminosos.**

**Granitos de origem crustal + mantélicos; Granitos híbridos; (4a, b, c) Séries graníticas cálcio-alcálicas (domínio sombreado = granodioritos+ monzogranitos, domínio claro = monzogranitos e granitos alcálicos); (5) Séries graníticas alcálicas. Granitos principalmente mantélicos; (6) Séries de granitos alcálicos; (7) Séries de granitos toleíticos; (Mu) Limite de granitos a moscovita ( $I.T. < 450^\circ$ ); (Ch) domínio dos charnoquitos magmáticos.**

**Granito** O estudo tipológico dos cristais de zircão das amostras do CAC-alc granito baseou-se no tratamento de nove amostras, cujos índices médios de alcalinidade (I.A) é 430 e temperatura (I.T) de  $649^\circ$  (Fig.4 B). Os índices I.A e I.T e a T.E.T. nos distintos diagramas de Pupin (1980, 1988), para populações das diferentes amostras, apontam para granitos de série cálcio-alcálica rica em potássio, com evolução para granitos crustais (Fig.4B).

No diagrama tipológico de distribuição de rochas graníticas, (Pupin 1988), as amostras são compatíveis com granitos toleíticos continentais evoluindo para granitos cálcio-alcálicos potássicos (Fig.4 D).

No diagrama tipológico de rochas endógenas (Pupin 1980), há uma dispersão das amostras no campo dos granitos charnoquíticos e tonalitos, com clara evolução para granitos orogênicos da série cálcio-alcálica.

Na distribuição dos pontos médios da TET de granitos crustais (Pupin 1980), os cristais de zircão do CAC-alc granito se posicionou no limite do domínio

dos charnoquitos com franca evolução para granitos série cálcio-alcálica de alta temperatura, tais como granodioritos e monzonitos. Nos diagramas tipológicos, de rochas plutônicas, (Pupin 1980), as amostras se dispersam entre o domínio dos granodioritos com evolução para dioritos, quartzo-gabros e dioritos e tonalitos.

**CONCLUSÃO E DISCUSSÃO** Relacionando os resultados desta investigação com os dados de campo, dados petrográficos, mineralógicos e químicos conclui-se que:

i) ambas suítes graníticas têm composição mineralógica e química distinta: Os cristais de zircão das suítes graníticas são morfologicamente diferentes dos que ocorrem nos migmatitos, granulitos e gnaisses encaixantes;

ii) as duas suítes são claramente co-genéticas, geradas pelo mesmo processo, mas em níveis crustais diferentes, pois o hiperstênio granito é de crosta inferior e o CAC-alc granito de crosta superior;



iii) a influência mantélica é clara na representação estatística da distribuição das populações de zircão das amostras do hiperstênio granito. Entretanto o granito CAC-alc pode ser separado em dois grupos: um de influência mantélica e o outro de influência crustal;

iv) o hiperstênio granito intruiu primeiro, seguido pelo CAC-alc granito, parcialmente gerado e/ou mobilizado pelo hiperstênio granito;

v) as duas suítes se desenvolveram seguindo caminhos de fracionamento semelhantes, e

vi) as características petrológicas das suítes granitóides, obtidas por meio da tipologia dos cristais de zircão, da região do rio Doce encontram-se relacionadas ao enquadramento tectônico.

Como até o presente momento evidências conclusivas da existência de crosta oceânica não

foram registrados, na porção central e sul da Província Estrutural Mantiqueira, o modelo mais adequado para explicar a origem dos granitóides das partes centrais e sul da Província Estrutural Mantiqueira pode ser o de colisão continental (Söllner *et al.* 1991, Bilal *et al.* 2002a, b).

**Agradecimentos** Este artigo sintetiza os primeiros resultados de um trabalho de colaboração entre a Universidade Federal de Minas Gerais e da Universidade de Rio Grande do Sul. Os autores expressam seu profundo agradecimento ao Prof. Dr. Hardy Jost pela leitura crítica bem como pelos seus enriquecedores comentários e sugestões. Ficam aqui também registrados agradecimentos às seguintes instituições agradecimentos: UFOP-IGC-LOPAG, ICEx-LME, CNPq (bolsas PV, PID e BIC), CAPES e FAPEMIG.

### Referências

- ALMEIDA A.M. de, HORN A.H., DUSSIN I.A., BERNI G.V., SAMPAIO N.P. 2002a. Investigações em cristais de zircão do Maciço Intrusivo Ibituba-Itapina. Estados de Minas Gerais e Espírito Santo. *In: LIV Reun. SBPC, UFG, Goiânia, An. Vol.1: p. 45-46.*
- ALMEIDA A.M. de, HORN A.H., DUSSIN I.A., BERNI G.V., SAMPAIO N.P. 2002b. Investigações em zircões do Maciço Ibituba-Itapina. Minas Gerais e Espírito Santo, Brasil (II). *In: X Sem. Inic. Cient. UFMG, Belo Horizonte, An. Vol. 2: p.58.*
- BILAL E., NALINI H.A., HORN A.H., CORREIA-NEVES J.M., GIRET A.R., FUZIKAWA K., FERNANDES M.L.S., MELLO F.M. de, MOUTTE J. 1998. Neoproterozoic granitoid suites of Rio Doce Region, Brazil. *In: International Conference on Precambrian and Craton Tectonics, Ouro Preto, Ext. Abs: 41-43p.*
- BILAL E., HORN A.H., NALINI H.A., MELLO F.M. de, CORREIA-NEVES J.M., GIRET A.R., MOUTTE J., FUZIKAWA K., FERNANDES M.L.S. 2000a. Neoproterozoic granitoid suites in southeastern Brazil, *Rev. Bras. Geol.*, **30**:1/2/3: CD.
- BILAL E., CORREIA-NEVES J.M., FUZIKAWA K., HORN A.H., MARCIANO V.R. da R.O., FERNANDES M.L.S., MELLO F.M. de, MOUTTE J., NASRAOUI M. 2000b. Pegmatites of southeastern Brazil. *Rev. Bras. Geol.* **30**(1/2/3): CD.
- BLUNDY J.D. & HOLLAND T.J. 1990. Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer. *Contrib. Mineral. and Petr.*, **104**:208-224.
- DUPLAIX S. 1948. *Détermination Microscopique des Minéraux des Sables*, Lab. de Géog. Phys. – C.N.R.S., Librairie Polytechnique CH.Béranger, Paris, 80pp.
- FISCHEL D.P., PIMENTAL M.M., FUCHS R.A., COSTA A.G., ROSIERE C.A. 1998. Geology and Sm-Nd isotopic data for the Mantiqueira and Juiz de Fora complexes (Ribeira Belt) in the Abre Campo-Minhaçu region, Minas Gerais, Brazil. *In: Inter. Conf. on Prec. and Craton Tec., Ouro Preto, Vol.1 21-23p.*
- HORN A.H. & BILAL E. 2004. Geochemistry and evolution of the Neoproterozoic Intrusive Complex of Ibituba-Itapina, in the Rio Doce region in Minas Gerais and Espírito Santo States, Eastern Brazil. *Romanian Journal of Mineral Deposits*, Bucarest, **81**:112-116.
- HORN A.H., GIRET A.R., BILAL E., CORREIA-NEVES J.M., CARVALHO S. 1996. O complexo intrusivo Ibituba-Itapina, noroeste do estado de Espírito Santo - resultados e caracterização preliminares. *In: SBG, XXXIX Cong. Bras. de Geol., Salvador, An. 6, p.375-378.*
- HORN A.H., GIRET A.R., BILAL E., CORREIA-NEVES J.M. 1998. Der Ibituba-Itapina Intrusiv Komplex im Ribeira Mobile Belt, Espírito Santo, Brasilien, *In: Lateinamerika Kolloquium, Bayreuth, Germany. Zusammensfassungen Heft: 56-57. 19. Koll. Lateinam., Freiburg, Tagungshefte 1/1: p86-87.*