

## Mapeamento geológico de detalhe (1:2000) das frentes de lavra da mina da Fosfertil Fertilizantes Fosfatados S.A.

C.B. Grasso<sup>1</sup>, C.C. Ribeiro<sup>1</sup>, J. A. Brod<sup>2</sup> & J.C. Gaspar<sup>2</sup>

1 Fosfertil S.A. Fazenda Chapadão, s/n, zona rural, Catalão – GO. CEP 75701-970 carlagrasso@fosfertil.com.br; carloscordeiro@fosfertil.com.br

2 Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro CEP 70910-900 Brasília – DF. brod@unb.br; gasp@unb.br

**Abstract** The Fosfertil Fertilizantes fosfatados S.A phosphate mine is situated in the Catalão I Alkaline Complex, central Brazil, which belongs to the Late Cretaceous Alto Paranaíba Igneous Province (APIP). The geological mapping on a 1:2000 scale was implemented in order to gather more detailed geologic information and, consequently, help the mining operation and planning. The main lithotypes identified in the mine area are alkaline pyroxenite, bebedourite, dunite, peridotite, carbonatite, phoscorite, phlogopitite, breccia, nelsonite, apatitite, magnetitite, and monazizite. Concomitant with the lithological mapping, an ore-type map was also produced, subdividing the weathering cover into aloterite, isalterite, altered rock and fresh rock units. A three-dimensional model was constructed on the basis of lithological information. The information gathered from both maps provides an essential tool for mine planning, since it allows ore estimation calculations to be performed individually, by geological unit and ore type, and may easily be cross-referenced to find the best combinations of the two sets of parameters.

**Keywords:** APIP, mine planning, geological mapping, geological 3D model.

**INTRODUÇÃO** O Complexo Alcalino de Catalão I localiza-se 23 km a nordeste da cidade de Catalão, Goiás. Corresponde a um domo alcalino aproximadamente circular, com 6 km na direção N-S e 5,5 km na direção E-W. O complexo tem idade K-Ar de  $85 \pm 6,9$  Ma (Sonoki & Garda 1988) e intrude rochas metassedimentares proterozóicas do Grupo Araxá, gerando uma auréola de fenitização de cerca de 2 km de largura (Gierth & Baecker 1985). Está associado a um volumoso magmatismo ultrapotássico ocorrido na região durante o Cretáceo Superior, como resultado da atividade de plumas mantélicas (Herz, 1977, Toyoda *et al.* 1994, Gibson *et al.* 1995, 1997; VanDecar *et al.* 1995, Thompson *et al.* 1998, Brod *et al.* 2000). Junto com kamafugitos, kimberlitos, lamproitos e outros complexos alcalino-carbonatíticos, forma a Província Ígnea do Alto Paranaíba (APIP, Gibson *et al.* 1995).

As rochas dos Complexos carbonatíticos da APIP foram derivadas de magmas ultramáficos ultrapotássicos primitivos, por uma combinação de imiscibilidade de líquidos e cristalização fracionada (Brod 1999, Brod *et al.* 2000). Diversos autores, ainda, propõem modelos alternativos para explicar a evolução multifásica do Complexo, envolvendo estágios metassomáticos, carbo-hidrotermais e intempéricos (e.g. Baecker 1983, Gierth & Baecker 1985, Danni *et al.* 1991, Pereira 1995, Araújo 1996, Ribeiro *et al.* 2005a).

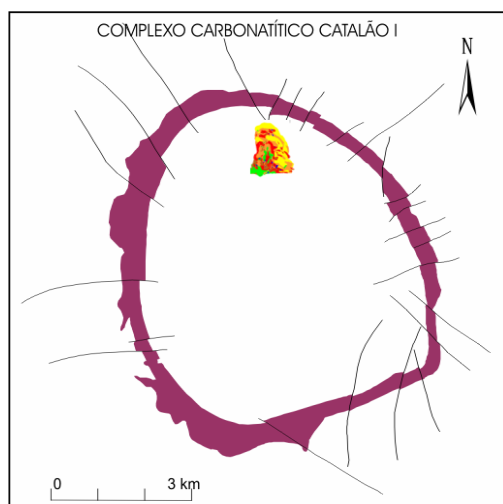


Figura 1. Províncias alcalinas da borda da Bacia do Paraná

A mineralização de fosfato no Complexo alcalino de Catalão I ocorreu por concentração supergênica a partir de rochas primárias ricas em apatita, as quais formam uma intrincada mistura de foscoritos e flogopititos. Há, também, reservas consideráveis de Nb, ETR, Ba e Ti (Oliveira & Ibernnon 1998, Brod *et al.* 2004, Ribeiro *et al.* 2005a). A estrutura dômica do complexo, com padrão de drenagem centrípeto e confinado, favoreceu o desenvolvimento de um espesso manto de intemperismo e, consequentemente, a formação de grandes volumes de minério fosático.

Com a evolução das atividades de mineração e o aprofundamento vertical dos pits, entretanto, a composição mineralógica do minério passou a tornar-se cada vez mais dependente e/ou influenciada pelo substrato, implicando na necessidade crescente de conhecer em detalhe as variações laterais e verticais não apenas do tipo de minério, mas também da rocha primária.

**A MINA DA FOSFÉRTIL** A mina da Fosfertil Fertilizantes Fosfatados S.A. situa-se próximo à borda norte do Complexo. Neste trabalho são apresentados os resultados de mapeamento do pit denominado Frente 4 (Fig. 2).



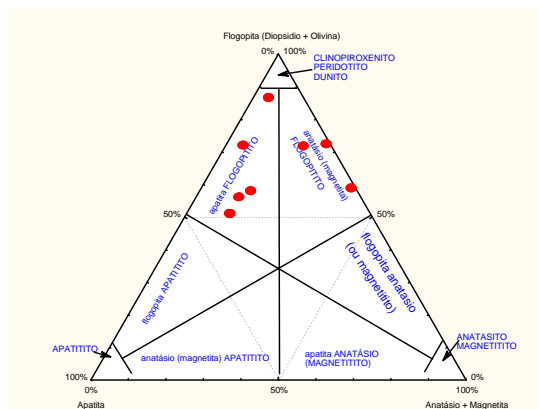
*Figura 2. Localização do pit denominado Frente 4 no complexo de Catalão*

A mina da Fosfertil faz divisa com a mina da Copebrás Ltda (fosfato) e com a Mineração Catalão Ltda. (nióbio), pertencentes ao Grupo Anglo American, e apresenta atualmente duas frentes de lavra. As complexas relações de contato entre os litotipos aflorantes refletem-se na escala de detalhe em que a mina é avaliada para fins de planejamento de lavra, acarretando grande dificuldade de se controlar tanto os teores de  $P_2O_5$  quanto de contaminantes. Outras variáveis a dificultar o planejamento de lavra são o intemperismo diferencial sobre diferentes litotipos e a variação da intensidade do intemperismo tanto na vertical quanto na horizontal.

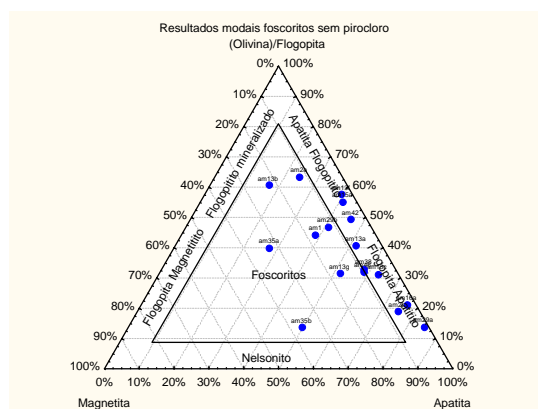
Na vertical, independente da unidade litológica, ocorrem pelo menos três níveis de intemperismo, que representam tipos de minério com características mineralógicas e texturais distintas que, adicionados aos diferentes litotipos, irão multiplicar por três a já considerável complexidade da área. Para detalhar informações geológicas de campo e fornecer

subsídios essenciais ao planejamento de lavra, foi implementada uma rotina de mapeamento geológico na escala 1:2000 nas minas da Fosfertil e Copebrás, numa parceria que visa aprofundar o conhecimento da Geologia e fornecer rotas de planejamento adequadas para melhor aproveitamento da jazida e desenvolvimento da mina.

**UNIDADES LITOLÓGICAS** Os principais litotipos presentes na mina pertencem às séries bebedourítica (piroxenitos alcalinos, bebedouritos, brechas dunitos, peridotitos, flogopititos, Fig. 3) foscorítica (foscoritos, flogopititos, nelsonitos, apatititos, magnetititos, Fig. 4) carbonatítica (Ca-carbonatitos e Mg-carbonatitos, Fig. 5), além de rochas da série carbo-hidrotermal (magnesita-carbonatitos e monazititos).

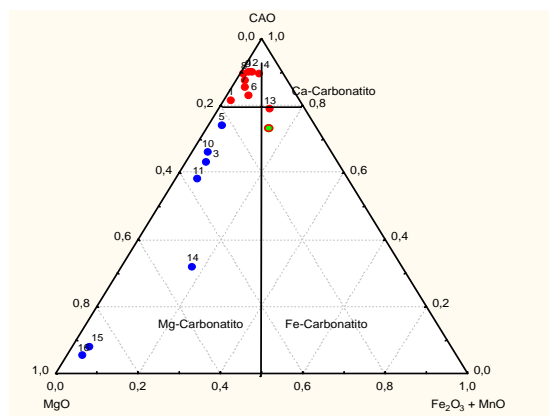


*Figura 3. Variação composicional nas rochas da série bebedourítica na mina da Fosfertil em Catalão*



*Figura 4. Variação composicional nas rochas da série foscorítica na mina da Fosfértil em Catalão*

No mapa litológico (Fig. 6) as unidades representam zonas de predominância de litotipos, conforme proposta de Ribeiro *et al.* (2005b), devido à complexa mistura de veios e diques subverticais de composição e espessura extremamente variadas.



*Figura 5. Variação composicional nas rochas da série carbonatítica na mina da Fosfértil em Catalão. As amostras localizadas junto ao vértice do MgO são magnesita carbonatitos da série carbo-hidrotermal.*

Na área da mina a série bebedourítica consiste essencialmente de flogopititos, os quais são interpretados como produtos de metassomatismo potássico sobre rochas ultramáficas primárias.

Na série foscorítica predominam na área mapeada rochas relativamente pobres em magnetita (foscoritos flogopita apatititos e apatita flogopititos). Analogamente à série bebedourítica, grande parte da flogopita dos foscoritos e rochas associadas é metassomática, sendo comuns os pseudomorfos de flogopita sobre olivina primária.

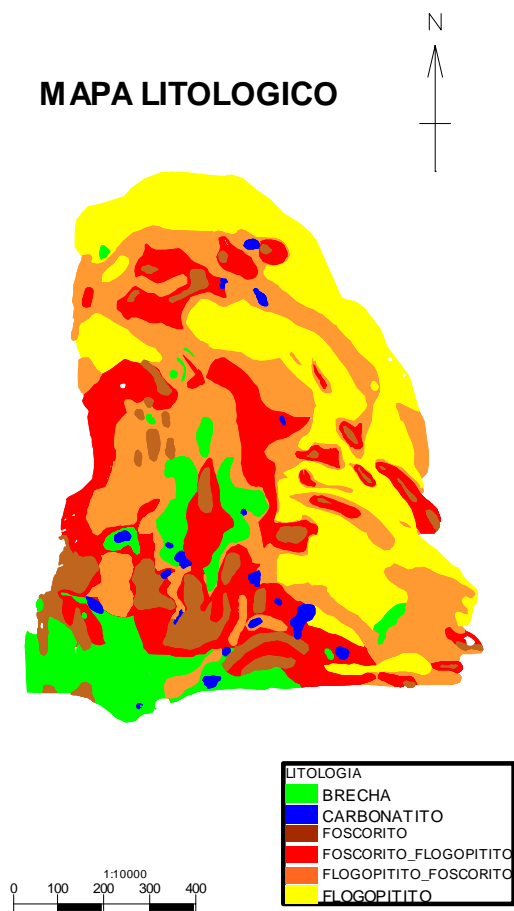
As rochas da série carbonatítica distribuem-se entre calciocarbonatitos e magnesiocarbonatitos. Algumas amostras apresentam excesso de magnésio em relação à composição da dolomita, indicando substituição da dolomita por magnesita.

**UNIDADES TIPOLOGICAS** As unidades tipológicas foram definidas com base na proposta de Oliveira e Imbernon (1998), para os diversos níveis de intemperismo, compreendendo saprolito aloterítico (aloterita), saprolito isalterítico (isalterita) e rocha alterada.

O horizonte aloterítico é estéril, pois apresenta máxima intensidade de intemperismo, o que leva à destruição da apatita e cristalização de fosfatos secundários aluminosos.

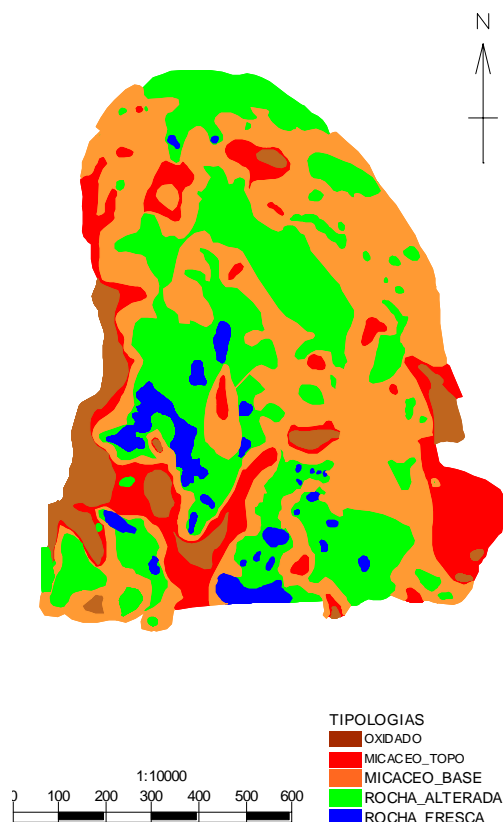
A zona isalterítica é a mais importante do ponto de vista de mineralização, pois contém o depósito de fosfato de Catalão I.

**MAPA LITOLOGICO**



*Figura 6. Mapa litológico da Frente 4*

**MAPA TIPOLOGICO**



*Figura 7. Mapa tipológico da Frente 4*

A zona isalterítica apresenta teores baixos de MgO e SiO<sub>2</sub> e altos de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Fig. 8). Para o mapeamento, a isalterita foi subdividida, com base em critérios geometalúrgicos, nas seguintes unidades tipológicas:

**Minério oxidado/micáceo oxidado:** material variando de argiloso a arenoso de cor marrom escuro a ocre, friável, marcado por ausência de micas ou presença de restos de vermiculita. É o minério mais rico e com menor teor de contaminantes.

**Minério micáceo de topo:** Material argiloso de cor marrom amarelado a marrom claro e rosado, friável, com abundância de vermiculita. O maior conteúdo de argila implica em uma menor permeabilidade desse horizonte, e seu contato superior é frequentemente marcado por níveis de silexito.

**Minério micáceo de base:** Material argiloso de cor amarelado claro, friável, com abundância de flogopita e pouca vermiculita. O limite entre o minério micáceo de base e o minério micáceo de topo pode ser identificado no campo pela completa conversão de flogopita em vermiculita. Carbonato está ausente.

Abaixo do horizonte isalterítico micáceo de base ocorre o horizonte rocha alterada, no qual as estruturas originais da rocha primária ainda estão preservadas e carbonato frequentemente subsiste. Cor cinza esverdeado é característica nesse horizonte.

Abaixo do horizonte rocha alterada ocorre o horizonte rocha fresca, onde não há minerais de alteração intempérica visíveis.

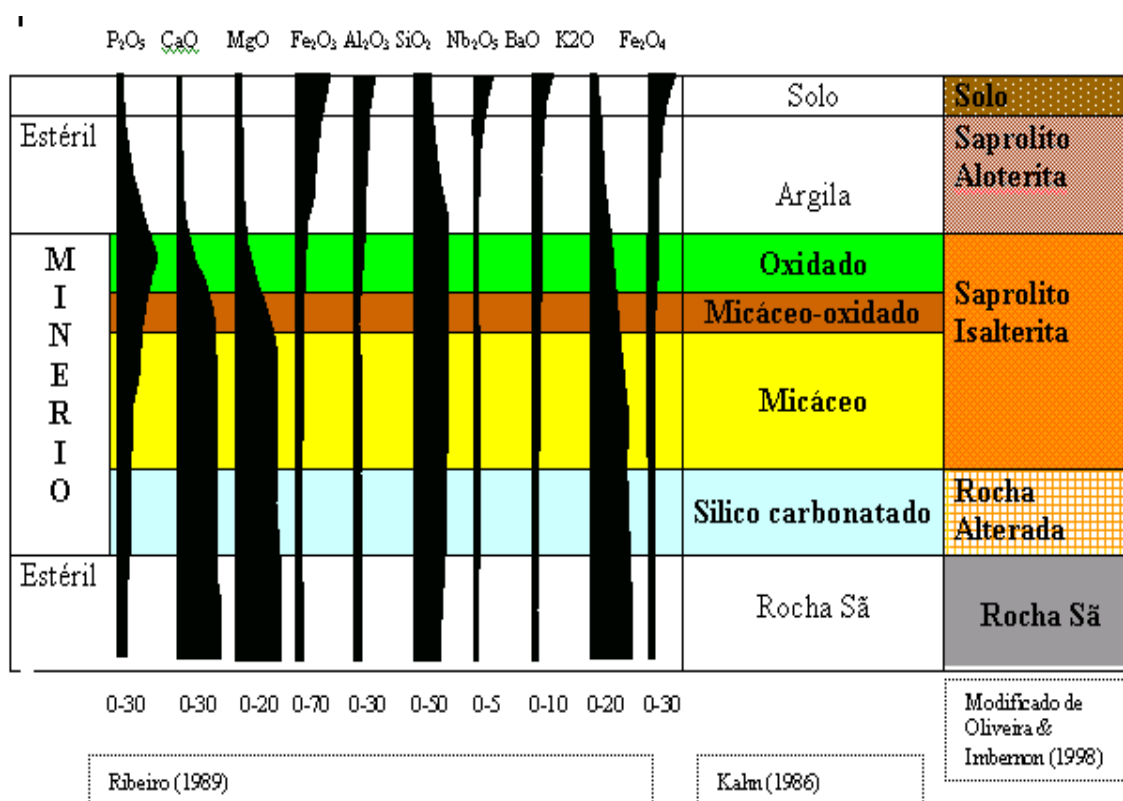


Figura 8. Comportamento dos elementos químicos no perfil de intemperismo de Catalão I

**MODELAGEM GEOLÓGICA 3-D** O modelamento geológico tridimensional da mina da Fosfertil foi desenvolvido com o software Datamine, a partir das informações coligidas com o mapeamento geológico e das seções geológicas traçadas a partir da descrição dos furos de sondagem.

A união do mapeamento geológico e das seções geológicas é a base da construção das wireframes (DTM), que definem os limites e a geometria das unidades lito-tipológicas e que recebem os blocos para a geração do modelo de blocos.

O modelo geológico da mina da Fosfertil irá permitir uma avaliação mais precisa da reserva, pois cada unidade lito-tipológica será avaliada separadamente, impedindo que um determinado litotipo ou tipo de minério influencie, ou seja, influenciado por outro e, consequentemente, evitando que sejam introduzidas tendenciosidades nos cálculos para planejamento de lavra.

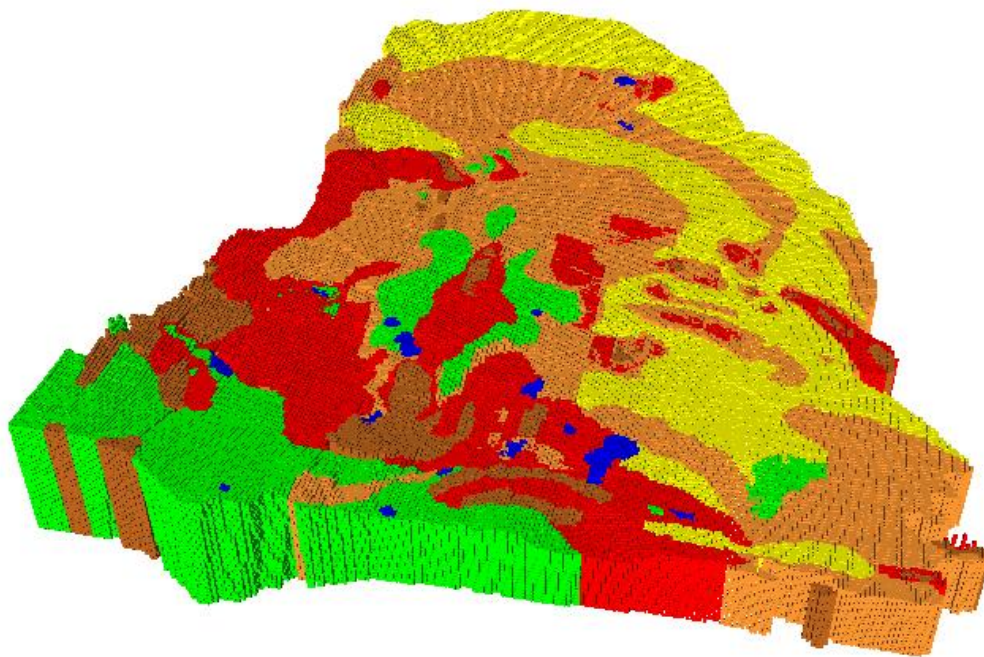
Os resultados do modelamento geológico para o pit denominado Frente 4 estão ilustrados na Fig. 9.



**DISCUSSÃO** O mapeamento geológico de detalhe das frentes de lavra da mina da Fosfertil é uma ferramenta extremamente útil no planejamento de lavra de curto e médio prazo por fornecer informações de campo que explicam as grandes variabilidades de teor e tipos de minério encontradas nas amostragens convencionais feitas na face das bancadas da mina.

Essa variabilidade decorre das intrincadas relações de contato entre os diversos litotipos presentes. Os

mapas geológicos são, também, os pontos de partida para a confecção da modelagem tridimensional da mina. O modelo geológico, em andamento, propicia uma análise tridimensional da disposição e da geometria das litologias e tipologias da mina, limitando-se às profundidades alcançadas pelos testemunhos de sondagem.



*Figura 8. Modelo tridimensional litológico da Frente 4 da mina de fosfato da Fosfertil em Catalão I*

O modelo tridimensional é, portanto, uma ferramenta que auxilia o planejamento de mina inclusive ao longo prazo, no qual são levados em consideração os planos de produção anuais adotados pela empresa.

**Agradecimentos** Os autores agradecem a Fosfertil Fertilizantes Fosfatados S.A. pelo acesso à mina e ao banco de dados.

### Referências

- ARAÚJO D.P. 1996. *Metassomatismo no Complexo Carbonatítico de Catalão I: implicações para a composição do magma carbonatítico e para o metassomatismo carbonatítico no manto superior*. Tese de Mestrado. Universidade de Brasília. Brasil.
- BAECKER M.L. 1983. *A mineralização de nióbio do solo residual laterítico e a petrografia das rochas ultramáficas alcalinas do domo de Catalão I, Goiás*. Tese de Mestrado. Universidade de Brasília, Brasil.
- BROD J.A. 1999. *Petrology and geochemistry of the Tapira alkaline Complex, Minas Gerais State, Brazil*. Tese de Doutorado, Universidade de Durham, Inglaterra.
- BROD J.A., GIBSON S.A., THOMPSON R.N., JUNQUEIRA-BROD T.C., SEER. H.J., MORAES L.C., BOAVENTURA G.R., 2000. The kamafugite – carbonatite association in the Alto Paranaíba Igneous Province, southeastern Brazil, *Revista Brasileira de Geociências*, **30**(3):404–408.
- BROD J.A., RIBEIRO C.C., GASPAR J.C., JUNQUEIRA-BROD T.C., BARBOSA E.S.R., RIFFEL B.F., SILVA J.F., CHABAN N., FERRARI A.J.D. 2004. Excursão 1: Geologia e Mineralizações dos Complexos Alcalino-Carbonatíticos da Província Ígnea do Alto Paranaíba. In: 42 Congresso Brasileiro de Geologia. Araxá, MG. *Anais CD-ROM*, p. 1-29.



- DANNI J.C.M., BAECKER M.L. RIBEIRO C.C. 1991. The geology of the Catalão I carbonatite Complex. V International Kimberlite Conference, Araxá, MG, Brazil, *Anais*, 25-29.
- GIBSON S.A., THOMPSON R.N., LEONARDOS O.H., DICKIN A.P., MITCHELL J.G. 1995. The late Cretaceous impact of the Trindade mantle plume: evidence from large – volume, mafic potassic magmatism in SE Brazil. *Journal of Petrology*, **36**:189 – 229.
- GIBSON S.A., THOMPSON R.N., WESKA R.K., DICKIN A.P., LEONARDOS O.H. 1997. Late-Cretaceous rift-related upwelling and melting of the Trindade starting plume head beneath western Brazil. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **126**:303-314
- GIERTH E., BAECKER M.L. 1985. A mineralização de nióbio e as rochas alcalinas associadas no complexo Catalão I, Goiás. In: SHOBHENHAUS C. (ed). *Principais depósitos minerais do Brasil*, vol. 2. MME/DNPM, Brasília, pp. 456-462.
- HERZ N. 1977. Timing and spreading in the South Atlantic: information from Brazilian alkaline rocks. *Geological Society of America Bulletin*, **88**: 101 – 112.
- OLIVEIRA S.M.B., IMBERNON R.A.L. 1998. Weathering alteration and related REE concentration in the Catalão I carbonatite complex, central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*. **11**(4):379-388.
- PEREIRA V.P. 1995. *A alteração no maciço alcalino Carbonatítico de Catalão I – GO, evolução mineralógica*, Tese de Pós Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 286p.
- RIBEIRO C.C., GASPAR J.C., BROD J.A. 2005a. Controle e gênese dos depósitos de monazita no Complexo Carbonatítico de Catalão I. In: I Simpósio Brasileiro de Metalogenia. Gramado, RS. *Anais*, CD-ROM
- RIBEIRO C.C., BROD J.A., GASPAR J.C., PETRINOVIC I.A., GRASSO C.B., JUNQUEIRA-BROD T.C. 2005b. Textural evidence for liquid immiscibility in the kamafugite–carbonatite association: the Catalão I alkaline–carbonatite complex, Alto Paranaíba Igneous Province. III Simpósio sobre Vulcanismo e Ambientes associados. *Anais*, Cabo Frio – RJ, p.137 – 141.
- SONOKI I.K., GARDA G.M. 1988. Idades K-Ar de rochas alcalinas do Brasil Meridional e Paraguai Oriental: compilação e adaptação as novas constantes de decaimento. *Boletim do IG-USP Série Científica*, **19**: 63-85
- THOMPSON R.N., GIBSON S.A., MITCHELL J.G., DICKIN P., LEONARDOS O.H., BROD J.A., GREENWOOD J.C. 1998. Migrating Cretaceous – Eocene magmatism in the Serra do Mar Alkaline Province, SE Brazil: melts from the deflected Trindade mantle plume? *Journal of petrology*, **39**(8):1493-1526.
- TOYODA K., HORIUCHI H., TOKONAMI M. 1994. Dupal anomaly of brasilian carbonatite: geochemical correlation with hotspots in the South Atlantic and implications for the mantle source. *Earth and Planetary Science Letters*, **126**:315- 331.
- VANDECAR J.C., JAMES D.E., ASSUMPÇÃO M. 1995. Seismic evidence for fossil mantle plume beneath South america and implications for plate driving forces. *Nature*, **378**:25- 31.