

## MINERALIZAÇÕES ASSOCIADAS À SEQUÊNCIA GABRÓICA DO COMPLEXO ÍGNEO DE BEJA

### ORE SHOWINGS RELATED TO THE GABBROIC SEQUENCE OF THE BEJA IGNEOUS COMPLEX

A. Mateus<sup>1</sup>, J. Munhá<sup>1</sup>, A.P. Jesus<sup>1</sup>

#### RESUMO

Os processos geológicos activos durante as fases iniciais da colisão continental Varisca permitiram o estabelecimento de condições propícias ao desenvolvimento da *Sequência Gabróica Bandada* do Complexo Ígneo de Beja, envolvendo sucessivos influxos magmáticos entre *ca.* 355 Ma a *ca.* 345 Ma. A reciclagem (recarga/taxas de cristalização variáveis) a que os líquidos silicatos foram sujeitos e o preenchimento recorrente da(s) câmara(s) magmática(s), determinaram a génese de mineralizações magmatogénicas de óxidos (Fe-Ti-V) e de sulfuretos (Ni-Cu), produzidas no decurso da cristalização fraccionada por via de mecanismos do tipo injeção ou *filter pressing* sob condições físico-químicas distintas. Importa prosseguir com a caracterização destas mineralizações e complementar as campanhas de prospecção e pesquisa recentemente empreendidas, porquanto os dados disponíveis se revelam bastante promissores quanto à presença de massas mineralizadas ocultas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Complexo Ígneo de Beja, Sequência Gabróica Bandada; Mineralizações de Fe-Ti-V e Ni-Cu

#### ABSTRACT

Geological processes active during the onset of the Variscan continental collision allowed the development of suitable conditions to the *Layered Gabbroic Sequence* formation (Beja Igneous Complex), involving successive magmatic influxes between *ca.* 355 Ma a *ca.* 345 Ma. The recycling (variable recharge and crystallization rates) experienced by silicate melts and the recurrent replenishment of magmatic chamber(s) were critical to the genesis of magmatogenic oxide (Fe-Ti-V) and sulphide (Ni-Cu) ores; these were produced during fractional crystallization under distinct physical-chemical conditions by means of injection or filter pressing mechanisms. It matters to continue with the characterization of these mineralization types and to complement the exploration surveys recently undertaken, because the available data look very promising in what concerns the presence of hidden ore-bodies.

**KEY-WORDS:** Beja Igneous Complex, Layered Gabbroic Sequence, Fe-Ti-V and Ni-Cu mineralization

#### 1. INTRODUÇÃO

O Complexo Ígneo de Beja (CIB) estende-se ao longo do bordo SW da Zona de Ossa-Morena (ZOM), entre Vendas Novas e Serpa, determinando o essencial da geologia do domínio Sul do Sector Évora-Beja-Aracena (Carvalho et al., 1971; Oliveira et al., 1991; Araújo et al., 2006). Este Complexo inclui um vasto conjunto de rochas intrusivas, hipabissais e vulcânicas que hospedam diferentes sistemas mineralizantes, parte integrante da Faixa Mineira de S. Cristóvão – Beja – Serpa (Silva, 1948; Thadeu, 1965; Carvalho, 1972; Schermerhorn, 1981; Oliveira, 1986; Martins *et al.*, 1998; Mateus et al., 2008).

Como consequência das sucessivas revisões petrográficas e cartográficas empreendidas nas últimas décadas, é possível subdividir o CIB em três unidades principais (Andrade, 1976, 1981, 1983, 1984; Andrade et al., 1976; Santos, 1990; Santos et al., 1990; Jesus et al., 2006b, 2007b): (1) *Sequência Gabróica Bandada*, abarcando vários tipos de gabros heterogeneamente bordejados por rochas dioríticas; (2)

---

<sup>1</sup> Dep. Geologia e CeGUL, Fac. Ciências, Univ. Lisboa, Ed C6, Piso 4, Campo Grande, 1749-016 Lisboa  
amateus@fc.ul.pt, jmunha@fc.ul.pt, ana.jesus@fc.ul.pt

*Complexo Cuba-Alvito*, essencialmente constituído por (grano-)dioritos e raros domínios gabróicos; e (3) *Complexo de Pórfiros de Baleizão*, envolvendo diversos tipos de granitóides. Importa referir que as unidades tectonicamente desmembradas atribuíveis ao Complexo Ofiolítico de Beja Acebuches (Munhá et al., 1986; Fonseca e Ribeiro, 1993; Quesada et al., 1994) foram, durante muito tempo, consideradas parte integrante da Sequência Gabróica Bandada (Andrade, 1972, 1977, 1978, 1979, 1981; Andrade et al., 1976; Andrade e Ferreira Pinto, 1982). À *Sequência Gabróica Bandada* associam-se três tipos de mineralização: (i) acumulações maciças de óxidos de Fe-Ti-V intra-gabros olivínicos (Silva, 1945; Mateus et al., 2001b; Jesus, 2002; Jesus et al., 2003b, c); (ii) sulfuretos maciços *intercumulus* ricos em Ni-Cu(-Co) relacionados com fácies noríticas e piroxeníticas da sequência gabróica (Jesus et al., 2005a, 2006a, 2007a); e (iii) *stockworks* de sulfuretos de Cu(-Ni) que se desenvolvem no seio de gabros metassomatizados (Mateus et al., 2001a; Jesus et al., 2003a, b, 2007a). Os índices mineiros que, por vezes, se detectam no seio da unidade (grano-)diorítica são pouco significativos (Carvalho et al., 1971; Andrade, 1972, 1983; Oliveira, 1986). As intrusões porfiríticas tardias do CIB enquadram, por sua vez, mineralizações epitermais de Cu(-Ag-Au?) (Carvalho et al. 1971; Carvalho, 1971; Oliveira, 1986; Relvas, 1987; Massano, 1988; Oliveira et al., 2006).

O presente subcapítulo procura fazer o estado-da-arte sobre a caracterização e génese das mineralizações associadas à *Sequência Gabróica Bandada* do CIB, dando especial ênfase aos resultados obtidos nos últimos 10 anos, cuja interpretação justifica a manutenção de investimentos em prospecção e pesquisa para mineralizações ocultas de Fe-Ti-V e de Ni-Cu.

## 2. A SEQUÊNCIA GABRÓICA BANDADA DO CIB

Os primeiros estudos sobre o então denominado “Complexo Gabro-diorítico” do Maciço de Beja debruçaram-se sobre as características petrográficas e mineralógicas apresentadas por rochas em afloramentos-chave, salientando-se os trabalhos devidos a Braga (1933), Santos Pereira (1949), Assunção e Brak-Lamy (1950), Rocha e Pissarra (1959), Silva et al., (1970) e Batista et al. (1976). O bandado magmático, marcado pela ritmicidade de diferentes litologias cumuladas (“*rythmic layering*”) e associado à possível presença de variações composicionais sistemáticas dos seus minerais constituintes (“*cryptic layering*”), foi colocado em evidência pela primeira vez por Silva et al. (1970). Com base em observações maioritariamente na região de Odivelas, Andrade (1976, 1983, 1984) propôs uma zonação interna para os “Gabros de Beja”, mais tarde retomada por Santos (1990) e Santos et al. (1990). Nesta zonação, o domínio inferior da intrusão (“Gabros Inferiores” ou Unidade Od-1 – Andrade, 1983; Andrade e Oliveira, 1983) incluía grande parte da mancha aflorante da janela da cobertura Cenozóica em Odivelas, Soberanas e Castelo Ventoso, bem como toda a porção da sequência reconhecida entre Ferreira do Alentejo e Serpa. O domínio superior da intrusão (“Gabros Superiores” ou Unidade Od-2 – Andrade, 1983; Andrade e Oliveira, 1983), dispondo-se a NE dos gabros inferiores, distinguia-se pela presença de gabros anfibólicos, dando lugar a NE aos dioritos marginais (denominados Dioritos do Olival).

Levantamentos geológicos de grande detalhe empreendidos recentemente no compartimento W da *Sequência Gabróica Bandada* (entre Torrão e Beringel), em conjunto com novos dados petrográficos, mineralógicos e geoquímicos, permitiram melhor diferenciar esta unidade. Distinguem-se, assim, as cinco *Séries* (SBI, SBII, ODVI, ODVII, ODVIII, BRGI e BRGII) e o *Grupo de Bordadura* explicitados nas Figs. 1 e 2, cujas características fundamentais podem ser encontradas em Jesus et al. (2002, 2005b, 2006b, 2007b). A medição sistemática do bandado magmático neste compartimento da sequência gabróica revela existir variações que, em parte, deverão ser primárias, embora se verifiquem reajustamentos estruturais significativos na proximidade de diferentes zonas de cisalhamento semi-frágil (especialmente as de rumo geral WNW-ESSE, mas também, localmente, as de direcção geral NNW-SSE); em termos gerais, a direcção do bandado magmático varia entre WSW-ESSE a NW-SE, inclinando 25°-30° para SSW-SW. Verifica-se ainda o desenvolvimento de orientação preferencial dos principais minerais magmáticos definindo uma foliação meso- e microscópica (laminação magmática) localmente subparalela às interfaces do bandado magmático.

A ciclicidade modal e as variações da natureza geoquímica reveladas pelas diferentes fácies, enquadram-se no conceito de unidades megacíclicas de Irvine (1987), pelo que as *Séries* identificadas deverão representar ciclos magmáticos distintos, resultantes de influxos repetidos de líquido silicatado na(s) câmara(s) magmática(s). A sucessão de fácies regista então a evolução experimentada por cada novo influxo de magma em determinado momento, reflectindo, nomeadamente, a progressão dos processos de cristalização fraccionada, acumulação de minerais e mistura com o líquido silicatado residual; estes processos são, por sua vez, condicionados por modificações ao nível de variáveis intensivas como a

temperatura, pressão e actividade do oxigénio (e do enxofre). Deste modo, os contactos entre as *Séries* (e em menor escala entre os *Grupos*) correspondem a variações mais ou menos subtis das características mineralógicas e geoquímicas (documentando diferenças composicionais e de proporção relativa entre o novo influxo de magma e o grau de fraccionação do líquido residual residente), cuja descontextualização poderá induzir interpretações erróneas acerca da polaridade da intrusão gabróica.

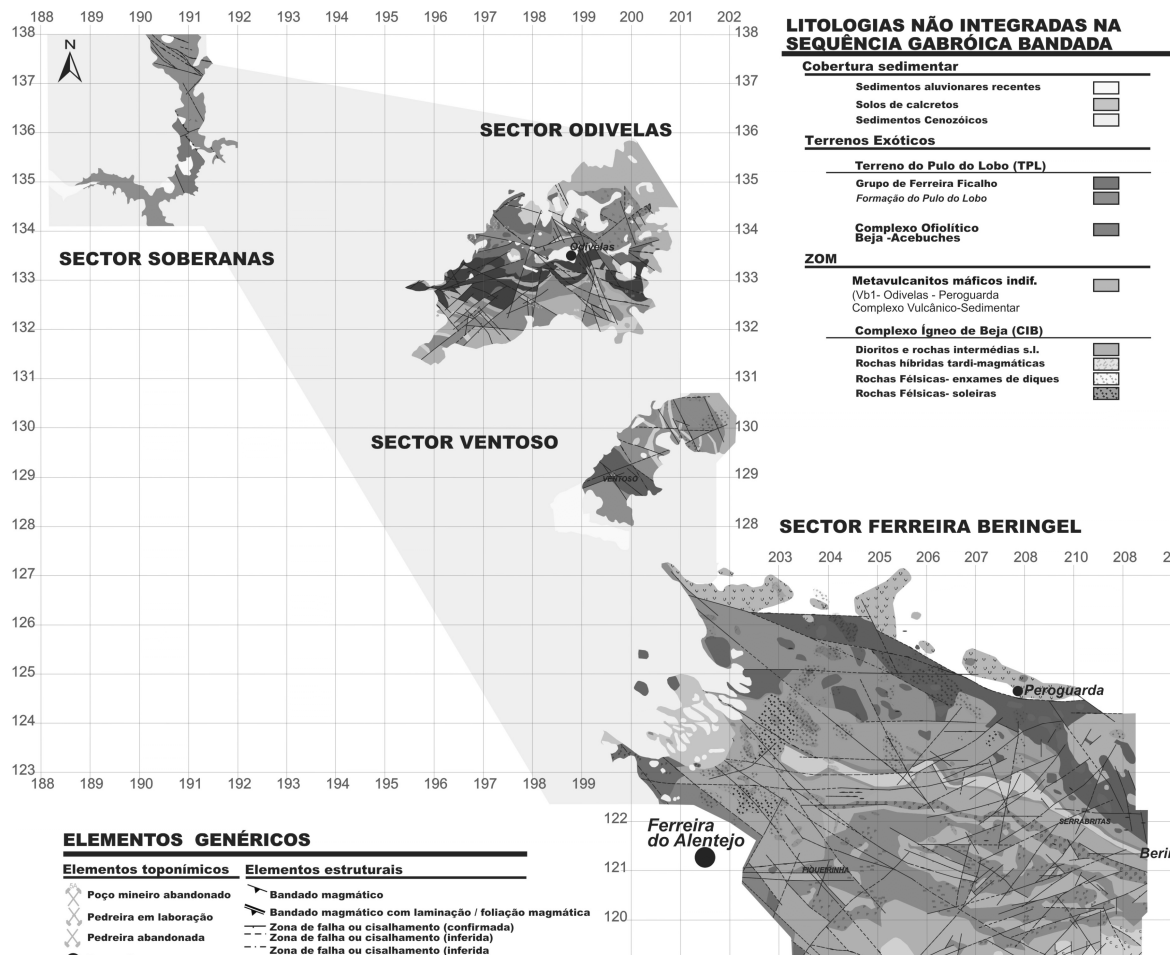


Fig. 1: Mapa geológico do compartimento W da *Sequência Gabróica Bandada* (Jesus et al., 2006b). A chave identificativa das litologias constituintes das diferentes *Séries* e do *Grupo de Bordadura* segue o explicitado nas colunas patentes na figura 2. Coordenadas de acordo com o elipsóide internacional Gauss, *datum* Lisboa.

De acordo com os elementos factuais disponíveis (Jesus et al., 2005b, 2006b, 2007b), os magmas que originaram as rochas da sequência gabróica apresentam afinidade geoquímica transicional entre as séries calco-alcalina e toleítica, sendo a sua mineralogia compatível com fraccionação em condições de baixa pressão (*ca.* 4 kbar). Os padrões de concentração normalizada em elementos do grupo das terras raras apresentam baixo enriquecimento relativamente aos condritos ( $1-10_{CN}$ ), em geral com baixa fraccionação  $La/Yb$  (*ca.*  $1.7_{CN}$ ), exceptuando as litologias ricas em plagioclase como por exemplo os leucotroctolitos de SB I ou os anortositos de ODV I que revelam  $La/Yb \leq 11_{CN}$  e  $La/Yb \leq 21_{CN}$ , respectivamente, para além de anomalias pronunciadas em Eu. Nos padrões de concentração normalizada em elementos incompatíveis, destacam-se os valores muito baixos obtidos para o Zr, Nb, Ta, Hf, Rb, Th e U relativamente ao manto primordial (invariavelmente  $< 10_{MP}$ ), os quais contrastam com as anomalias positivas fortes em Sr (e, menos intensas, em K e Ba – traduzindo acumulação de plagioclase) e em Ti (reflectindo acumulação de óxidos). Não há evidências de contaminação crustal significativa no decurso das fases iniciais de instalação e fraccionação dos magmas que originaram a *Sequência Gabróica Bandada*. Apenas durante a instalação dos diques pegmatóides que intruem a *Série* ODV III (Castelo Ventoso; Fig. 2) deverão ter ocorrido processos de contaminação crustal na(s) câmara(s) magmática(s) onde



### 3.1 Acumulações maciças de óxidos

Destacam-se de entre as mineralizações deste tipo as que ocorrem na região de Odivelas (Fig. 3), enquadradas por áreas de maior concentração relativa em minerais ferrimagnéticos que definem fortes anomalias na carta de campo magnético vertical (Fonseca, 1999).

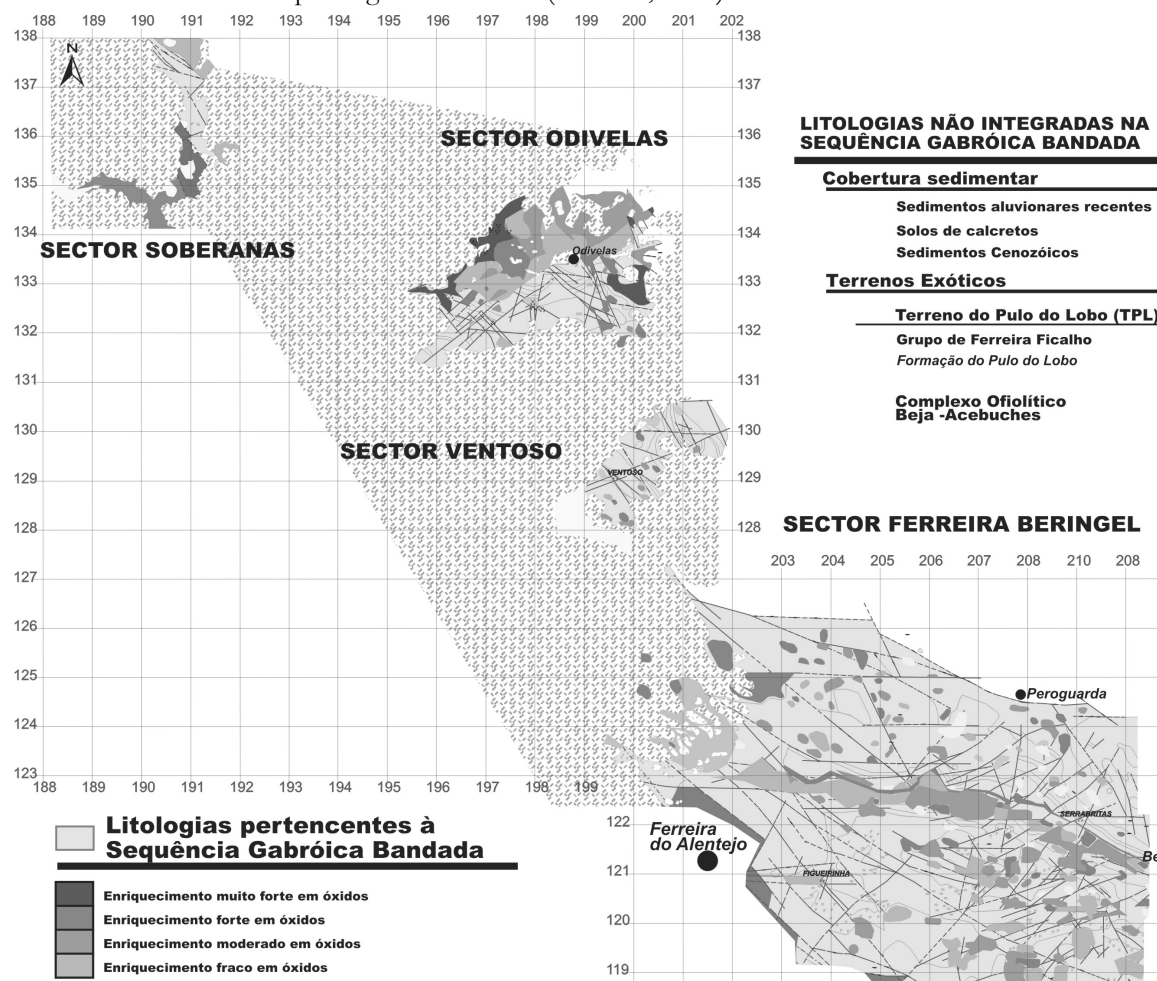


Fig. 3: Distribuição espacial (estimativa qualitativa) dos enriquecimentos em óxidos e sulfuretos manifestados pelas litologias constituintes da *Sequência Gabróica Bandada* (compartimento W). Coordenadas de acordo com o elipsóide internacional Gauss, datum Lisboa.

A sequência gabróica aflorante na região de Odivelas compreende duas Séries com polaridade normal, cujo contacto se desenvolve de forma gradual (Jesus, 2002; Jesus *et al.*, 2005b, 2006b). O Grupo Inferior da primeira Série (ODV I) é constituído por leucogabros olivínicos no seio dos quais ocorrem níveis troctolíticos e cumulados máficos variavelmente enriquecidos em Ti-magnetite e ilmenite, bem como acumulações maciças de óxidos de Fe-Ti-V. Estas acumulações, conhecidas desde 1944 (Silva, 1945), formam corpos irregulares que se dispõem subperpendicularmente ao bandado regional, apresentando uma constituição dominada por titanomaghemite vanadífera (agregados grosseiros equigranulares com textura poligonal) e ilmenite (poiquilítica), para além de maghemite acessória; a hematite e goethite, substituindo as espinelas ou preenchendo filonetes/fracturas tardias, abundam nos exemplares sujeitos a forte meteorização. As acumulações maciças de óxidos apresentam conteúdos variáveis em Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (53.53 - 68.46 wt%), FeO (1.44 a 7.03 wt%), TiO<sub>2</sub> (≤ 10 wt%) e V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (≤ 1 wt%); as reservas estimadas para o alvo prospectado pelo SFM cifram-se em cerca de 1000 ton. (Silva, 1945).

De acordo com Jesus *et al.* (2003c, 2005b), a génese das acumulações de óxidos terá ocorrido via crescimento *adcumulus* na base da Série ODV I em condições decrescentes de temperatura entre ≈1100°C e ≈900°C. A oxidação subsequente dos agregados maciços de óxidos em condições de não equilíbrio sob temperaturas inferiores a ≈600°C, terá conduzido à formação preferencial de (titano-)maghemite relativamente a hematite ou martite; quantidades vestigiais de catiões como o Al (e eventualmente V) na

espinela original, terão impedido a inversão estrutural deste óxido (não estequiométrico) para hematite, em relação à qual é meta-estável; os conteúdos globais em Ti e Fe<sup>2+</sup> dos agregados maghemíticos, reflectem então o volume modal de ilmenite.

### 3.2. Mineralizações sulfuretadas

As mineralizações sulfuretadas até ao momento reconhecidas formam duas tipologias distintas (Jesus *et al.*, 2003a, 2005a, 2006a, 2007a). A primeira reúne agregados maciços *intercumulus* relativamente precoces que, no sector Beringel-Ferreira do Alentejo, são bem representados pelas ocorrências de Serrabritas e Figueirinha (Fig. 3). A segunda agrupa sistemas mineralizantes caracterizados por redes anastomosadas de pirrotite maciça com calcopirite subordinada, os quais são cabalmente representados pela ocorrência de Castelo Ventoso (Fig. 3).

Em Serrabritas, o *intercumulus* de sulfuretos desenvolve-se em rochas noríticas, sendo frequentemente capeado por coroas espessas de ortopiroxena; a variabilidade composicional das duas piroxenas coexistentes denuncia condições de temperatura em torno dos 857±33°C (Jesus *et al.*, 2005b; 2007a). Os sulfuretos coexistem localmente com magnetite; a pirrotite é grosseira, revelando lamelas e chamuscas de pentlandite, para além de exsoluções menores de calcopirite. Observa-se escassa pentlandite subeuédrica, coexistindo com agregados finos de pirrotite, bem como franjas milimétricas descontínuas de calcopirite em torno de pirrotite sem exsoluções evidentes; nesta ocorrência, a pirite é rara e claramente limitada a um estágio deposicional tardio. Em termos geoquímicos, a mineralização apresenta conteúdos médios globais em Ni e Cu inferiores a 0,36 wt% e 0,28 wt%, respectivamente.

Em Figueirinha, os sulfuretos associam-se a rochas piroxeníticas com rara plagioclase e a sua maior abundância relativa é imputável ao coalescimento progressivo de *blebs* matriciais; observa-se, com frequência, o desenvolvimento de *blebs* de pirrotite (com exsoluções de pentlandite e de calcopirite) como inclusões no seio da clinopiroxena, sendo ainda notória a coexistência das *blebs* com magnetite e ilmenite; as características minerais/texturais indiciam um estágio tardio de cristalização (e reequilíbrio *subsolidus* ≈ 620 °C) sob condições *a*(O<sub>2</sub>) próximas às do tampão QFM (Jesus *et al.*, 2005b). A mineralização é constituída por pirrotite, pentlandite, calcopirite, pirite e minerais do grupo da linnaeite. A pirrotite inicial pode coexistir com magnetite e ilmenite, embora geralmente seja posterior aos óxidos. Os principais agregados de pirrotite mostram abundantes lamelas e chamuscas de pentlandite, coexistindo com exsoluções menores de calcopirite. Os minerais do grupo da linnaeite selam, tipicamente, filonetes zonados intra- e intergranulares, traduzindo a alteração de pirrotite ou de pentlandite pré-existente. A pirite está presente como: (1) grãos subeuédricos nas massas de pirrotite, desenvolvendo relações texturais sugestivas de equilíbrio de fase; e (2) preenchimentos de fracturas tardias. Em geral, a calcopirite preenche microfracturas e substitui sulfuretos pré-existentes. As concentrações globais (rocha total) obtidas para o Ni e Cu cifram-se abaixo de 0,89 wt% e 0,96 wt%, respectivamente.

As mineralizações de Castelo Ventoso formam redes anastomosadas que se encontram no seio de halos metassomáticos caracterizados por forte hidratação e modificação composicional dos gabros, na sua essência materializada por deposição de vários tipos de anfíbola e clorite magnésiana (Mateus *et al.*, 2001a; Jesus, 2002, 2007a). O desenvolvimento destes halos de alteração correlaciona-se com a instalação de diques pegmatóides com extensão e espessura variável, predominantemente constituídos por hornblenda e albite; a datação U/Pb em zircões destes diques forneceu uma idade de 342±9 Ma e a sua paragénese característica denota temperaturas de (re-)equilíbrio variáveis entre os ≈680°C e os ≈500°C (Jesus *et al.*, 2007b). O domínio mineralizado e respectivo halo de alteração ocorrem no seio de uma sucessão gabróica bem bandada com disseminações de sulfuretos cujas condições de cristalização rondam os 1154±37°C e 4±1.5 kbar (Jesus *et al.*, 2007b). Em Castelo Ventoso, os agregados maciços e grosseiros de sulfuretos ocorrem sob a forma de bolsas de dimensão variável, controlados por um sistema anastomosado de veios. A paragénese sulfuretada corresponde a agregados de pirrotite monoclinica (polítipo 4M) que, durante o arrefecimento e reequilíbrio a temperaturas inferiores a 600°C, exsolveu pequenas quantidades de pentlandite. A magnetite encontra-se preservada como inclusões em domínios periféricos das massas de pirrotite e o desenvolvimento inicial de calcopirite aparenta resultar da substituição incompleta de pirrotite sujeita a forte (micro)fracturação. A deposição tardia de calcopirite ocorre ao longo de fracturas inter- e transgranulares. A distribuição de pirite é também heterogénea: as primeiras gerações desenvolvem texturas de equilíbrio com os domínios periféricos dos agregados de pirrotite; a geração de maior importância é constituída por grãos idiomórficos zonados, preenchendo fracturas tardias. Ocorrem ainda agregados reticulares de mackinawite como resultado de processos de exsolução a partir da calcopirite e

pirrotite sob  $T < 200^{\circ}\text{C}$ . O processo de precipitação de sulfuretos e instabilização da paragénese primária associada, é interpretado como o resultado da introdução de fluidos modificados, facilitada pelo aumento da permeabilidade (por incremento da fracturação) com alguma contribuição magmática residual, que terá promovido a ocorrência de fenómenos de imiscibilidade do enxofre presente no líquido. Em termos geoquímicos, a mineralização apresenta concentrações em Cu e Ni inferiores a 1,4 wt% Cu e 0,15 wt%, respectivamente.

Alguns dos parâmetros críticos condicionantes das etapas iniciais de deposição dos sulfuretos no seio da *Sequência Gabróica Bandada* foram deduzidos por Jesus *et al.* (2007a). Os dados isotópicos ( $\delta^{34}\text{S}$  e Pb-Pb; Jesus *et al.*, 2007a) permitiram também concluir que os dois principais tipos de mineralizações sulfuretadas reflectem diferentes estádios evolutivos de um processo mineralizante síncrono do desenvolvimento da sequência grabróica. Assim: (1) os estádios precoces, envolvendo S e metais de origem mantélica, resultaram da segregação de líquidos ricos em S e Ni a  $\approx 700^{\circ}\text{C}$  e 4 kbar; (2) um estado de sulfidização relativamente elevada foi atingido subsequentemente, sendo o conteúdo metalífero determinado por fontes mantélicas heterogéneas e/ou diferentes graus de contaminação do magma pela crosta inferior; entre  $\approx 670^{\circ}\text{C}$  e  $\approx 500^{\circ}\text{C}$ , o percurso mineralizante progrediu sob  $a(\text{S}_2)$  próxima do equilíbrio pirrotite-pirrite; (3) os estádios tardios foram fortemente condicionados por contaminação crustal e a deposição de sulfuretos regulada pela mistura de líquidos pobres em Ni, mas enriquecidos em S e Cu  $\pm$  Co, com fluidos aquosos; um estado de sulfidização relativamente elevado foi novamente atingido, evoluindo a  $a(\text{S}_2)$  em torno do equilíbrio pirrotite-pirrite sob temperaturas entre  $\approx 630^{\circ}\text{C}$  e  $\approx 450^{\circ}\text{C}$ .

#### 4. DISCUSSÃO

A síntese dos dados actualmente disponíveis para o compartimento do CIB localizado entre Torrão e Beringel revela que a evolução complexa documentada pela sucessão das cinco *Séries* é, presumivelmente, passível de extrapolação para a restante parte da *Sequência Gabróica Bandada*. Esta evolução caracteriza-se por reciclagem do líquido silicatado (recarga/taxas de cristalização variáveis), envolvendo preenchimento magmático recorrente da(s) câmara(s); o *Grupo de Bordadura* corresponderá ao último e mais evoluído influxo. A constituição e o arranjo interno da *Sequência Gabróica Bandada*, prosseguindo desde *ca.* 355 Ma a *ca.* 345 Ma, denota uma génese necessariamente dependente da evolução geodinâmica experimentada pelo bordo SW da ZOM durante o início da colisão continental Varisca. Neste contexto (Jesus *et al.*, 2006b, 2007b; Ribeiro *et al.*, 2007): (i) a manutenção de um regime térmico elevado e prolongado ao longo daquele bordo da ZOM é suportada pelo avanço da subducção no Oceano Rheic, logo após o fecho da bacia oceânica marginal (*ca.* 390-370 Ma), seguida da colisão continental transpressiva e orogénese Varisca (*ca.* 350-300 Ma); e (ii) a ascensão dos magmas é imputada à progressão de mecanismos desencadeados por *slab break-off* na zona de subducção.

A evolução geoquímica complexa registada pela *Sequência Gabróica Bandada* do CIB potencia o desenvolvimento de processos geradores de mineralizações magmatogénicas em óxidos (Fe-Ti-V) e sulfuretos (Ni-Cu), conforme observado, não obstante o seu valor económico se encontrar por determinar de forma fidedigna; note-se, contudo, que os elementos factuais disponíveis justificam plenamente o interesse em complementar as campanhas de prospecção e pesquisa recentemente realizadas na região.

As mineralizações em óxidos aparentam confinar-se a estádios evolutivos relativamente precoces das *Séries* com carácter toleítico mais marcado (*e.g.* ODV I) onde o líquido magmático atingiu patamares de cristalização fraccionada mais avançados e, como tal, maior saturação em Fe-Ti. O carácter excepcional de ODV I relativamente às restantes *Séries* decorre de uma evolução gradual desde termos mais primitivos (SBI) e transicionais (SBII), a qual é marcada por variações bruscas de  $a(\text{O}_2)$ ; os óxidos terão precipitado sob condições decrescentes de temperatura entre  $\approx 1100^{\circ}\text{C}$  e  $\approx 900^{\circ}\text{C}$ , sendo sujeitos a reajustamentos composicionais posteriores ( $T < \approx 600^{\circ}\text{C}$ ; Jesus *et al.*, 2003c). As principais acumulações maciças de óxidos são conhecidas desde as campanhas de prospecção e pesquisa conduzidas pelo SFM nos anos quarenta (Silva, 1945); várias outras anomalias magnéticas aguardam caracterização apropriada na medida em que denunciam a possibilidade de existirem mineralizações ocultas, inclusivamente sob cobertura sedimentar Cenozóica (Mateus *et al.*, 2001b), hipótese também sustentada pela análise geoquímica de solos (Gonçalves *et al.*, 2001).

As mineralizações sulfuretadas correlacionam-se, preferencialmente, com os termos mais primitivos relacionados com eventos maiores de reciclagem magmática da *Sequência Grabróica Bandada* e traduzem etapas distintas de um processo mineralizante descontínuo no espaço e tempo que, globalmente, deverá

ter evoluído entre  $\approx 700/650^{\circ}\text{C}$  e  $450^{\circ}\text{C}$  sob  $\log a(\text{O}_2) \approx -18$  to  $-22$ . A origem das mineralizações mais tardias (representadas pela ocorrência de Castelo Ventoso) deverá ser síncrona do início dos processos de contaminação crustal da câmara magmática gabróica que terão favorecido a mistura de líquidos magmáticos residuais (pobres em Ni, mas moderadamente enriquecidos em Co e Cu) exsolvidos da pilha magmática em fase final de consolidação com fluidos crustais ricos em enxofre (conforme a assinatura isotópica  $\delta^{34}\text{S} \approx 6.2\text{‰}$  - Jesus et al., 2007a) e em elementos incompatíveis (similares aos que originaram os diques pegmatóides e o halo metassomático envolvente; Jesus et al., 2007a, b). Porém, são as mineralizações sulfuretadas *intercumulus* as que maior interesse suscitam, porquanto os magmas que fraccionaram as fácies gabróicas envolventes apresentam potencial para segregar líquidos sulfuretados com  $[\text{Ni}] \leq 5\text{ wt}\%$  (Jesus et al., 2006a). Adicionalmente, a possibilidade elevada de se gerar líquidos níquelíferos (máx.  $\approx 12\text{ wt}\%$  em 100% de sulfuretos) durante os estádios iniciais da evolução da *Sequência Gabróica Bandada* (Jesus et al., 2006a), valoriza imenso o potencial da faixa gabróica com características mais primitivas que se estende desde Ferreira do Alentejo à Ribeira das Soberanas, sob cobertura Cenozóica. Acresce, por fim, salientar que a paragénese mineral observada partilha numerosas características (incluindo idade e assinaturas isotópicas) com a mineralização suporte do depósito de Aguablanca (Espanha), em produção desde 2004 (e.g. Tornos and Chiaradia, 2004; Piña et al., 2006; Tornos et al., 2006; Ordóñez-Casado et al., 2008). A analogia é significativa e sugere a existência de um potencial metalogenético elevado para a cintura Varisca de rochas máficas-ultramáficas desenvolvida entre *ca.* 355 - 345 Ma, o qual carece de investigação adequada.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o convite endereçado pela Comissão Editorial da publicação “*Ciências Geológicas – Ensino, Investigação e sua História*” através do Professor Doutor Fernando Noronha, coordenador do capítulo *Geologia e Recursos Geológicos* inserido no Vol. II “*Geologia Aplicada*”. Agradecem ainda o suporte financeiro dos projectos *PROGEREMIN* (PRAXIS XXI/12/2.1/CTA/84/94), *MODELIB* (POCTI/3569/1999) e *POCA-PETROLOG* (UI: 263; POCTI/FEDER).

## REFERÊNCIAS

- Andrade, A.A.S. (1972) - Problèmes géologiques et métallogéniques de l'Alentejo central (Portugal). Mem. Not., Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol. Univ. Coimbra, vol. 73, pp. 66-79.
- Andrade, A.A.S. (1976) - Remarques sur le chimisme des gabbros d'Odivelas (Massif de Beja). Mem. Not., Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol. Univ. Coimbra, vol. 81, pp. 75-84.
- Andrade A.A.S. (1977) - The Beja Ophiolitic complex in Southern Portugal: a preliminary description. Mem., Not., Publ. Mus. Lab. Mineral. Univ. Coimbra, vol. 84, pp. 48-57.
- Andrade, A.A.S. (1978) - The problem of ophiolites in meso-Europe. Mem. Not. Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol. Univ. Coimbra, vol. 85, pp. 37-41.
- Andrade, A.A.S. (1979) - Aspectos geoquímicos do Ofiolitoide de Beja. Comun. Serv. Geol. Portugal, vol. 64, pp. 39-48.
- Andrade, A.A.S. (1981) - Sobre os três Complexos Gabro-Dioríticos de Beja. Bol. Soc. Geol. de Portugal, vol. XXII, pp. 73-76.
- Andrade, A.A.S. (1983) - Contribution à la analyse de la Suture Hercynienne de Beja (Portugal), perspectives métallogéniques. Tese de Doutoramento, INLP, Univ. de Nancy, 1-137.
- Andrade, A.A.S. (1984) - Sobre a originalidade (ou talvez não) do Maciço de Beja no sudoeste Peninsular. Mem. Not., Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol. Univ. Coimbra, vol. 97, pp. 115-132.
- Andrade, A.A.S., Ferreira Pinto, A.F., Conde, L.E.N. (1976) - Sur la géologie du Massif de Beja: observations sur la transversale d'Odivelas. Comun. Serv. Geol. Portugal, vol. 60, pp. 171-202.
- Andrade, A.A.S., Ferreira Pinto, A.F. (1982) - Nota sobre a petroquímica de um Complexo filoniano "Ofiolítico" (Plagiogranítico) dos arredores de Beja. Memórias e Notícias, Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol. Univ. Coimbra, vol. 93, pp. 71-76.
- Andrade, A.A.S., Oliveira, V. (1983) - Transversal de Beja-Odivelas-Alvito. Comun. Serv. Geol. Portugal, vol. 69: 267-282.
- Araújo, A., Piçarra, J., Borrego, J., Pedro, J., Oliveira, T. (2006) - As regiões Central e Sul da Zona de Ossa-Morena. Geologia de Portugal no Contexto da Ibéria – 1ª edição. R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha, J.C. Kullberg, eds., Univ. Évora, pp. 151-172.
- Assunção, C.F.T., Brak-Lamy, J. (1950) - Notas sobre a petrografia eruptiva do distrito de Beja. Bol. Mus e Lab. Min. Geol. Fac. Cienc. Univ. Lisboa, vol. 18, 6ª Série, pp. 81-95.
- Batista, J.A., Munhá, J., Oliveira, V., Ribeiro, L. (1976) - Alguns aspectos geológico-petrográficos da bordadura Sul do Complexo Eruptivo de Beja. Comun. Serv. Geol. Portugal, vol. LX, pp. 203-213.
- Braga, E.B. (1933) - Contribuição para o conhecimento geológico do concelho de Cuba. Bol. Mus e Lab. Min. Geol. Fac. Cienc. Univ. Lisboa, vol. 2, 1ª Série, pp. 149-157.
- Carvalho, D. (1971) - The metallogenetic consequences of plate tectonics and the upper Paleozoic evolution of southern Portugal. Est. Not. Trabalhos Serv. Fom. Min., vol. XX, fasc. 3-4, pp. 297-320.



- Carvalho, D., Goinhas, J., Oliveira, V., Ribeiro, A. (1971) - Observações sobre a geologia do Sul de Portugal e consequências metalogenéticas. *Est. Notas e Trab. Serv. Fom. Min.*, vol. 20, fasc. 3-4, pp. 153-199.
- Dallmeyer, R.D., Fonseca, P.E., Quesada, C., Ribeiro, A. (1993) -  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  mineral age constraints for the tectonothermal evolution of a Variscan suture in SW Iberia. *Tectonophysics*, vol. 222, pp. 177-194.
- Fonseca, P. (1999) - Prospecção geofísica por métodos magnéticos de componente total e vertical em Odivelas - Ferreira do Alentejo. Relatório preliminar de projecto, DPMM - IGM, 1-37.
- Fonseca, P., Ribeiro, A. (1993) - The tectonics of Beja-Acebuches Ophiolite: a major suture in the Iberian Variscan Fold Belt. *Geol. Rundsch.*, vol. 3, pp. 440-447.
- Gonçalves, M.A., Mateus, A., Oliveira, V. (2001) - Geochemical anomaly separation by multifractal modelling. *Journal of Geochemical Exploration*, vol. 72, pp. 91-114.
- Irvine, T.N. (1987) - Glossary of terms for layered intrusions. In: *Origins of Igneous Layering* (I. Parsons - Ed.), D. Reidel Publishing Company: 641-647.
- Jesus, A.P. (2002) - Mineralizações de Fe-Ti-V e ocorrências sulfuretas em rochas gabróicas do Complexo Ígneo de Beja (Odivelas-Ferreira do Alentejo). Dissertação de Mestrado, Fac. Ciênc. da Univ. de Lisboa, 1-197.
- Jesus A.P., Mateus A., Gonçalves M.A., Oliveira V. (2003a). Cu anomaly separation by multifractal modelling of soil geochemistry data from Ferreira do Alentejo to Serpa (Alentejo, Portugal). *IV Congresso Ibérico de Geoquímica*, Coimbra (Portugal): 205-207.
- Jesus, A.P., Mateus, A., Munhá, J., Branco, J.M., Araújo, V.H. (2006a) - Magmatic, Ni-Cu sulphide mineralization in the western compartment of the Beja Layered Gabbroic Sequence. VII Congresso Nacional de Geologia, Estremoz, pp. 1019-1022.
- Jesus, A.P., Mateus, A., Munhá, J., Pinto, A. (2005a) - Intercummulus massive Ni-Cu-Co, PGE-bearing sulphides in pyroxenite: a new mineralization type in the Layered Gabbroic Sequence of the Beja Igneous Complex (Portugal). SGA Meeting – Mineral Deposit Research: Meeting the Global Change, Beijing (China), J. Mao and F.P. Bierlein eds., Springer Verlag, pp. 405-407.
- Jesus, A.P., Mateus, A., Munhá, J., Tassinari, C., Alves, L.C., Bobos, I. (2007a) - Sulphide-mineralization types in the Layered Gabbroic Sequence of the Beja Igneous Complex (Portugal). XV Semana de Geoquímica - VI Congresso Ibérico, Geochemistry of Mineral Deposits, Vila Real, pp. 580-584.
- Jesus, A.P., Mateus, A., Oliveira, V., Munhá, J. (2003b) - Ore-forming systems in the layered gabbroic sequence of the Beja Igneous Complex (Ossa-Morena Zone, Portugal); state of the art and future perspectives. SGA Meeting – Mineral Exploration and Sustainable Development, Atenas (Grécia), Demetrios G. Eliopoulos *et al.* eds., Millpress, Rotterdam, vol. 1: 591-594.
- Jesus, A., Mateus, A., Waerenborgh, J.C., Figueiras, J., Cerqueira, L., Oliveira, V. (2003c) - Hypogene titanian, vanadian maghemitic in reworked oxide cumulates in the Beja layered gabbro complex (Odivelas, Southeastern Portugal). *Canadian Mineralogist*, vol. 41, fasc. 5, pp. 1105-1124.
- Jesus, A., Munhá, J., Mateus, A. (2005b) - Critical features controlling the evolution of the Beja Layered Gabbroic Sequence; implications to ore-forming processes. VIII Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa – XIV Semana de Geoquímica, Aveiro, pp. 305-310.
- Jesus, A., Munhá, J., Mateus, A. (2006b) - The western compartment of the Beja Layered Gabbroic Sequence: internal architecture and main petrogenetic features. VII Congresso Nacional de Geologia, Estremoz, pp. 171-174.
- Jesus, A., Munhá, J., Mateus, A., Tassinari, C., Nutman, A.P. (2007b) - The Beja Layered Gabbroic Sequence (Ossa-Morena Zone, Southern Portugal): geochronology and geodynamic implications. *Geodinamica Acta*, vol. 20, fasc. 3, pp. 139-157.
- Martins, L., Borralho, V., Moreira, J., Magno, C., Inverno, C.M.C., Oliveira, V., Torres, L., Matos, J., Oliveira D.P.S. (1998) - Mineral Potential of Portugal. Instituto Geológico e Mineiro, Portugal, 1-60.
- Massano, C. (1988) - Mineralizações do tipo epitermal em pórfiros da região de Alcaçovas. Relatório de Estágio Científico, Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Univ. Lisboa.
- Mateus, A., Jesus, A.P., Conceição, P., Oliveira, V., Rosa, C. (2001a) - Natureza mineralógica e geoquímica das mineralizações sulfuretas em gabros do Complexo Ígneo de Beja: algumas questões relativas à sua génese. VI Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Oficial Portuguesa- XII Semana da Geoquímica, Faro, pp. 125-129.
- Mateus, A., Jesus, A.P., Oliveira, V., Gonçalves, M.A., Rosa, C. (2001b) - Vanadiferous iron-titanium ores in Gabbroic series of the Beja-Igneous Complex (Odivelas, Portugal); remarks on their possible economic interest. *Estudos Notas e Trabalhos*, vol. 43, pp. 3-16.
- Mateus, A., Munhá, J., Inverno, C.M.C., Matos, J.X., Martins, L., Oliveira, D.P.S., Jesus, A., Salgueiro, R. (2008) - Mineralizações no sector português da Zona de Ossa Morena. *Geologia de Portugal no Contexto da Ibéria – 2ª edição*. A. Ribeiro, R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha, J.C. Kullberg, eds., Univ. Évora, (em impressão).
- Munhá, J., Oliveira, J.T., Ribeiro, A., Oliveira, V., Quesada, C., Kerrich, R. (1986) - Beja-Acebuches ophiolite: characterization and geodynamic significance. *Maleo*, vol. 2, fasc. 13, pp. 31.
- Quesada, C., Fonseca, P.E., Munhá, J., Oliveira, J.T., Ribeiro, A. (1994) - The Beja-Acebuches Ophiolite (Southern Iberia Variscan fold belt): Geological characterization and geodynamic significance. *Bol. Geol. y Minero*, vol. 105, fasc. 1, pp. 3-49.
- Oliveira, J.T., Oliveira, V., Piçarra, J.M. (1991) - Traços gerais da evolução tectono-estratigráfica da Zona de Ossa Morena em Portugal. *Cuad. Lab. Xcol. Laxe*, vol. 16, pp. 221-250.
- Oliveira, J.T., Relvas, J.M.R.S., Pereira, Z., Munhá, J., Matos, J.X., Barriga, F.J.A.S., Rosa, C.J. (2006) - O Complexo Vulcano-sedimentar de Toca da Moura-Cabrela (Zona de Ossa-Morena); evolução tectono-estratigráfica e mineralizações associadas. *Geologia de Portugal no Contexto da Ibéria – 1ª edição*. R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha, J.C. Kullberg, eds., Univ. Évora, pp. 181-193.
- Oliveira, V. (1986) - Prospecção de minérios metálicos a sul do Tejo. *Geonovas*, vol. 1, fasc. 1-2, pp. 15-22.
- Ordóñez-Casado, B., Martín-Lizard, A., Garcia-Neto, J. (2008). SHRIMP-zircon U-Pb dating of the Ni-Cu-PGE mineralized Aguablanca gabbro and Santa Olalla granodiorite: confirmation of an Early Carboniferous metallogenic epoch in the Variscan Massif of the Iberian Peninsula. *Ore Geology Reviews*, em impressão.

- Pin, C., Paquette, J.-L., Fonseca, P. (1999) - 350 Ma (U-Pb zircon) igneous emplacement age and Sr-Nd isotopic study of the Beja gabbroic complex (S. Portugal). XV Reunion de Geologia del Oeste Peninsular, Badajoz, pp. 190-194.
- Piña, R., Lunar, R., Ortega, L., Gervilla, F., Alapieti, T., Martínez, C. (2006) - Petrology and geochemistry of mafic-ultramafic fragments from the Aguablanca Ni-Cu ore breccia, Southwest Spain. *Econ. Geol.*, vol. 101, pp. 865-881.
- Ribeiro, A., Munhá, J., Dias, R., Mateus, A., Pereira, E., Ribeiro, M.L., Fonseca, P., Araújo, A., Oliveira, J.T., Romão, J., Chaminé, H., Coke, C., Pedro, J.C. (2007) - Geodynamic evolution of the SW Europe Variscides. *Tectonics*, vol. 26, TC6009.
- Relvas, J.M.R.S. (1987) - Alteração hidrotermal na área da Mina da Caeirinha (Sta Susana): perspectiva metalogenética. Relatório de Estágio Científico, Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Univ. Lisboa.
- Rocha, A.T., Pissarra, B.J.E. (1959) - Novos elementos para o conhecimento petrográfico dos arredores da cidade de Beja (Complexo Gabro-Diorítico do Baixo Alentejo). Bol. Mus e Lab. Min. Geol. Fac. Cienc. Univ. Lisboa, vol. 8, fasc. 1, pp. 53-76.
- Santos, J.F. (1990) - Petrologia do sector Ocidental da unidade de Odivelas (Maciço de Beja). Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, 1-226.
- Santos, J.F., Andrade, S.A., Munhá, J. (1990) - Magmatismo orogénico no limite meridional da Zona de Ossa Morena. *Comun. Serv. Geol. Portugal*, vol. 76, pp 91-124.
- Santos Pereira, J.D. (1949) - Elementos para a petrografia do distrito de Beja. *Publ. Mus. Lab. Miner. Geol. Fac. Ciências Porto*, (3ª Série) LIX, pp. 3-16.
- Schermerhorn, L.J.G. (1981) - Framework and evolution of hercynian mineralization in the Iberian Meseta. *Leiden Geologische Mededelingen*, vol. 52, pp. 23-56.
- Silva, J.M. (1945) - Notas sobre o jazigo de Ferro de Odivelas. *Estudos Notas e Trabalhos*, vol. 1, fasc. 3-4, pp. 286-292.
- Silva, J.M. (1948) - Gisements de fer du Sud du Portugal. *Est. Not. Trab. Serv. Fomn. Min.*, vol. 4, fasc. 1, pp. 31-42.
- Silva, L.C., Quadrado, R., Ribeiro, L. (1970) - Nota prévia sobre a existência de uma estrutura zonada e de anortositos no maciço gabro-diorítico de Beja. *Bol. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Lisboa*, vol. 11, pp. 223-232.
- Thadeu, D. (1965) - Notícia explicativa da Carta Mineira de Portugal, escala 1:500000, Lisboa, Serviços Geológicos de Portugal, 1-46.
- Tornos, F., Chiaradia, M. (2004) - Plumbotectonic evolution of the Ossa Morena Zone (Iberian Peninsula): tracing the influence of mantle-crust interaction in ore forming processes. *Econ. Geol.*, vol. 99, pp. 965-985.
- Tornos, F., Galindo, C., Casquet, C., Pevida, L.R., Martínez, C., Martínez E., Velasco, F., Iriondo, A. (2006) - The Aguablanca Ni-(Cu) sulfide deposit, SW Spain: geologic and geochemical controls and the relationship with a midcrustal layered mafic complex. *Mineral. Deposita* vol. 41, pp. 737-770.