

# Aplicação de uma metodologia litogeoquímica na investigação de ocorrências auríferas

J. M. Santos Oliveira

Instituto Geológico e Mineiro, 4465, S. Mamede de Infesta, Portugal.  
santos.oliveira@igm.pt

## RESUMO

**Palavras-chave:** litogeoquímica; ouro; prospecção mineira.

Procedeu-se a uma avaliação de resultados químicos obtidos em rochas metassedimentares provenientes de quatro casos de estudo do país associáveis, directa ou possivelmente, a mineralizações de ouro. Em termos geoquímicos, o Au ocorre anómalo relativamente a valores de referência o que dá suporte às teorias existentes sobre a possibilidade de ocorrência de uma província auro-argentífera na Península. Os resultados mostraram que a metodologia litogeoquímica utilizada, apoiada na análise multielementar de Au e outros elementos químicos afiliados em metassedimentos, pode contribuir para a delimitação de ocorrências do metal. Embora sem carácter “universal”, verificou-se que o As e o Sb são os “pathfinders” mais consistentes embora, em certos casos, o Au possa ocorrer também associado com elementos com características siderófilas e/ou basófilas (Mo, Cr, Ni).

## Introdução

É sabido que os métodos de índole *litogeoquímica* podem contribuir para a revelação de jazidas primárias de ouro (ver por exemplo, Beus & Grigorian, 1977; Rose *et al.*, 1979; Govett, 1983; Nurmi & Lestinen, 1991) na medida em que propiciam a determinação de graus de “especialização” geoquímica e metalogenética das rochas associadas com esses eventos geológicos. Deverá ter-se, todavia, em mente que a aplicação das metodologias geoquímicas deve ser sempre acompanhada e complementada com informação de natureza geológica, mineralógica e petrológica, entre outra.

Com o objectivo de validar (ou não) este princípio, investigaram-se 4 áreas do país com contornos geológico-estruturais globalmente semelhantes. Privilegiaram-se áreas com contextos litológicos metassedimentares, de preferência acumulando as seguintes características: a) existência de fácies redutores (xistos negros, carbonosos e/ou grafitosos); b) ocorrência na vizinhança, imediata ou remota, de maciços granitóides, os quais são passíveis de induzir metamorfismo, metassomatismo e hidrotermalismo no encaixante; c) evidências de tectónica e de estruturas propícias à acumulação de mineralizações auríferas (por exemplo, cisalhamentos ou sistemas preferenciais de lineamentos) e d) presença de indícios de mineralização aurífera. No pressuposto da existência de uma província metalogenética auro-argentífera no NW da Península Ibérica, é hoje assumido que este tipo de mineralização, de um modo geral, tende a associar-se espacialmente com grandes zonas de cisalhamento dúctil sin-D3 (Noronha & Farinha Ramos, 1993), relacionando-se com episódios sucessivos de distensão Hercínica.

## Resultados

Na Fig. 1 indicam-se as quatro áreas de estudo consideradas. A tabela 1 sumariza resultados de vários elementos químicos em rochas, provenientes de estudos aí realizados, os quais abrangeram algumas centenas de amostras no seu total.

1) O distrito auro-antimonífero do Baixo Douro é constituído por litologias turbidíticas dotadas de baixos graus de metamorfismo (epizonal), registando-se a ocorrência distal de granitóides Hercínicos. Os metassedimentos estão organizados segundo um anticlinório que, do ponto stratigráfico, contém formações xistosas, quartzíticas, siltosas e grauvacóides desde o Câmbrio inferior(?) até ao Carbónico (Pereira *et al.*, 1992). Sobressai a existência de cisalhamentos maiores NW-SE, concordantes com a orientação geral das formações sedimentares. Dispersas pela área ocorrem mineralizações de sulfuretos (essencialmente antimonite, mas também alguma arsenopirite) com ouro em filões quartzosos (Couto, 1993).

Estudos geoquímicos realizados a uma escala regional, particularmente numa área entre Valongo e Melres, permitiram identificar concentrações subtilmente anómalas de Au nalgumas das unidades litológicas metassedimentares da área (Castro Reis *et al.*, 1997). Essas anomalias distribuem-se ao longo da coluna cronostratigráfica e são erráticas em termos espaciais. A uma escala de maior pormenor, junto à mina de Au-Sb do Sobrido, sobressaíram evidências de perturbações mineralógicas e geoquímicas em rochas no contacto ou na vizinhança imediata das mineralizações, provavelmente relacionadas com processos de alteração hidrotermal que aí se desenvolveram. Delinearam-se anomalias litogeoquímicas positivas de Au e ainda outras (positivas e negativas)

para vários elementos indicadores. O As, Sb, Pb, Ag, Cr, Fe, Ca, Na, P e Si tendem a enriquecer, acompanhando o Au nessa tendência, enquanto o Rb, Sr, Ba, Zr, Al, Mg, Ti e K empobrecem.

Tabela 1- Médias de elementos químicos seleccionados em rochas das quatro áreas estudadas.

Litologias amostradas	ppb Au	ppm As	ppm Sb	ppm Pb	ppm Zn	ppm Ag	ppm W	ppm Cr
Xistos, grauvaques-GXG <sup>1)</sup>	13	27	<20	27	90	<0.2	<5	122
Xistos negros argilosos-Silúrico <sup>1)</sup>	18	21	<20	8	70	<0.2	<5	131
Brechas sedimentares-Carbónico <sup>1)</sup>	40	45	942	590	23	0.4	4	259
Xistos gossanizados-Précâmbrico <sup>2)</sup>	179	80	27	19	8	0.2	11	118
Quartzo filoneano brechificado <sup>2)</sup>	1205	231	48	192	8	2.2	12	187
Metapelitos-CXG <sup>3)</sup>	8	25	<20	13	106	<0.2	5	118
Quartzo em filões <sup>3)</sup>	40	93	<20	20	146	0.3	12	366
Metapelitos-CXG <sup>4)</sup>	17	35	25	17	176	<0.2	5	129
Quartzo em filões <sup>4)</sup>	17286	557	9337	72	332	0.23	33	307
Felsitos filoneanos <sup>4)</sup>	2194	127	255	30	279	<0.2	62	82
<i>Clarke (segundo Taylor 1964)</i>	4	2	0.2	13	70	0.07	1.5	100
<i>Médias em xistos (Rose et al., 1979)</i>	4	12	1-2	25	100	0.19	2	90

<sup>1)</sup>Douro (área de Valongo - Melres); <sup>2)</sup>Poço Redondo; <sup>3)</sup>Pedrógão; <sup>4)</sup>Sarzedas.

2) A área de Poço Redondo (Tomar) está relacionada geologicamente com a denominada Faixa Blastomilonítica Porto-Tomar-Badajoz-Córdova. Segundo Gama Pereira & Conde (1993) define-se aí uma estrutura constituída por “shear zones” Variscas sobrepostas a estruturas mais antigas que ocorrem ao longo e perto dos contactos entre a ZCI e a ZOM. O antigo jazigo de ouro de Poço Redondo está relacionado com uma brecha quartzo-ferruginosa de natureza tectónica e ocorre em formações metassedimentares Precâmbricas. Acções hidrotermais tardias, predominantemente nas formas de argilização, sericitização, silicificação, albitização, sulfuretação e alguma cloritização, associam-se estreitamente aos estádios da mineralização.

Com base em Análise Factorial, definiu-se uma assinatura litogeoquímica, à escala local, nas rochas da área constituída por Au-As-Ag-Sb-Pb-Cu-P que é extensiva aos solos da área (Martins *et al.*, 1994). Outros elementos, em geral acompanhantes de mineralizações auríferas, tais como o Zn, Bi e Se, não exibiram este comportamento, anotando-se mesmo um empobrecimento anormal dos teores de Zn nas rochas vizinhas da mineralização.

3) A área de Pedrógão (Penamacor) é dominada por rochas metassedimentares Câmbricas, essencialmente turbidíticas do CXG, que afloram enquadradas pelo maciço granítico de Castelo Branco e pelo plutonito granitóide de Penamacor (Conde in Ferreira Pinto *et al.*, 2000). Estudos de prospecção realizados anteriormente por outros autores tinham permitido a identificação de anomalias de ouro em aluviões, indiciadoras da existência de alguma mineralização na área.

De acordo com Santos Oliveira *et al.* (2001), os metassedimentos ocorrem enriquecidos em ouro em comparação com valores de referência (teores entre 8 e 23 ppb Au). Filões quartzosos, brechificados e discordantes relativamente aos metassedimentos, revelam concentrações médias ainda mais elevadas (40 ppb Au). O Au não está correlacionado nas rochas com outros elementos metalíferos, mas mantém uma relação estatístico-matemática significativa com elementos siderófilos e de características basófilas (Au-Mo-Cr-Ni). Tendências de enriquecimento de ouro associáveis à evolução química das rochas mais marcantes da área (4-11 ppb Au em metassedimentos com baixo metamorfismo → 23 ppb em anfíbolitos → 40 ppb em filões de quartzo) sugerem que processos concentradores de metal podem ter existido e que os filões quartzosos constituirão “armadilhas” susceptíveis de ter gerado a fixação de alguma mineralização.

4) A área de Sarzedas (Castelo Branco) é dominada por unidades metassedimentares pertencentes ao CXG, nas quais predominam metapelitos e siltitos constituindo unidades alternantes (Tomás Oliveira *et al.*, 1994). Diversas rochas filoneanas ocorrem também na área: pórfiros felsíticos, diabases, filões ácidos e filões quartzosos. São conhecidas mineralizações de ouro, aparentemente com pequena expressão.

Resultados litogeoquímicos mostraram que o ouro existe, na generalidade das litologias, com concentrações anómalas relativamente a valores de referência consagrados, oscilando entre 12 e 17 ppb Au (Santos Oliveira, 2002). Delinearam-se controlos de natureza litológica e estrutural na dispersão primária do metal. Por um lado, verificou-se que litotipos particulares, como filões quartzosos (frequentemente brechificados) e felsitos, são portadores de teores relevantes de Au (alguns com significado económico potencial). A grande variabilidade determinada nas concentrações de Au nestas rochas e uma clara evolução, em termos de teores, no sentido metapelitos (9 ppb) → metapelitos proximais de estruturas mineralizadas (30 ppb) → felsitos (2194 ppb) → filões quartzosos (17286 ppb) sugerem uma origem epigenética para a mineralização. Por outro lado, afigura-se que rochas associadas mais estreitamente com zonas de “shear” ocorrem quimicamente enriquecidas em relação a rochas fora dessa influência (em média, 20 ppb Au contrastando com cerca de 10 ppb Au para a generalidade dos metassedimentos).

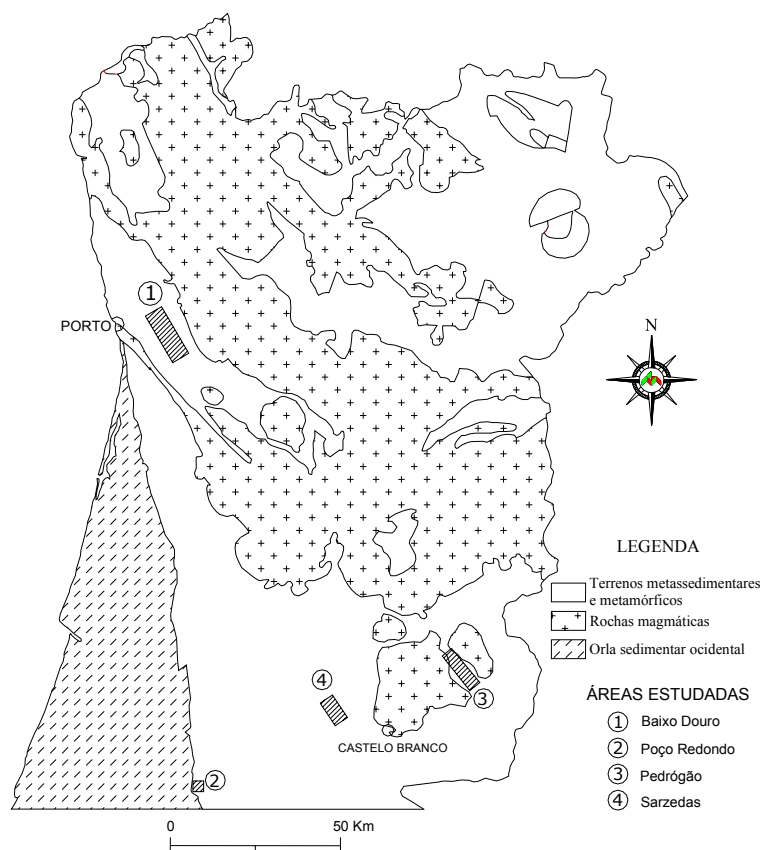


Figura 1- Localização das quatro áreas estudadas: Baixo Douro, Poço Redondo, Pedrógão e Sarzedas.

## Conclusões

Os estudos em apreço demonstram que diversas unidades litológicas enquadráveis em fácies metassedimentares podem ocorrer localmente enriquecidos em Au, mas esta tendência parece ser independente da idade das formações e correlacionar-se mais com factores litológicos, alterações químicas posteriores e com a tectónica. Os resultados apontam no sentido de mineralizações auríferas primárias estarem predominantemente contidas em filões quartzosos, embora outras estruturas particulares possam também indiciar mineralização.

Afigurou-se que o ouro é o melhor indicador geoquímico de prospecção de si próprio, isto é, quando se pretende pesquisar mineralizações auríferas. Todavia, a aplicação de uma metodologia de análise multielementar (de preferência sustentada em técnicas de análise matemática multivariada) pode contribuir para a melhor compreensão do comportamento da distribuição do ouro em rochas metassedimentares e para a definição dos estilos de mineralização presentes. Há que ter, no entanto, presente que os elementos “pathfinder” não parecem evidenciar carácter “universal”, já que se determinaram associações geoquímicas diferentes nas diversas áreas estudadas. Os acompanhantes mais consistentes do Au são o As e o Sb mas, em certas situações, podem emergir associações com elementos com características siderófilas e/ou basófilas (Mo, Cr, Ni). A Ag não é indicador litogeoquímico óbvio.

Confirmou-se que alguns parâmetros litogeoquímicos podem conceder valor acrescentado a campanhas de prospecção e pesquisa mineiras para ouro, encontrando aplicação às escalas de trabalho, quer regional, quer local. A litogeoquímica, combinada com a mineralogia e a aplicação de outras técnicas de prospecção, constitui, de facto, um instrumento válido tendo em vista o estabelecimento de guias de pesquisa mineral.

## Bibliografia

- Beus, A. A. & Grigorian, S. V. (1977) - *Geochemical Exploration Methods for Mineral Deposits*, Applied Publishing Ltd., Wilmette, Illinois, USA, 287 p.
- Castro Reis, M. L.; Moreira, M. E.; Bravo Silva, P.; Ávila, P.; Alves Ferreira, M. A.; Simões, M. & Santos Oliveira, J. M. (1997) - Mineralogical and geochemical features of metasedimentary rocks associated to one case of Au-Sb hydrothermal mineralization in Portugal, *Comunicações IGM*, 83: 29-42.
- Couto, H. (1993) - As mineralizações de Sb-Au da região Dúrico-Beirã. *PhD Thesis, Fac. Ciências Universidade Porto*: 463 p.+ anexos.

- Ferreira Pinto, A.; Conde, L. N.; Rachinhas, P. R. S.; Rabaça, T. L.; Matos, C. A. Regêncio Macedo, C.; Santos Oliveira, J. M.; Castro Reis, M. L.; Farinha, J. A.; Shepherd, T. J.; Naden, J. & Pratas, J. S. (2000) - Aspectos metalogenéticos da região de Castelo Branco: parâmetros controladores das mineralizações e abordagem dos impactes ambientais, *Relatório Final Contrato Praxis 2/2.1/CTA/81/94*, 132 p.
- Gama Pereira, L. & Conde, L. N. (1993) - The contact between the Ossa Morena and the Centro-Iberian geotectonic zones in the Coimbra-Tomar and Badajoz-Cordoba shear zones, *Comunicações XII Reunião Geologia Oeste Peninsular (Abstract)*.
- Govett, G. J. S. (1983) - Handbook of Exploration Geochemistry. Volume 3: Rock Geochemistry in Mineral Exploration, *Elsevier Scientific Publishing Company*, 461 p.
- Martins, L. P.; Santos Oliveira, J. M.; Simões, M. & Viegas, L. (1994) - Geologia, mineralogia e geoquímica do depósito aurífero de Poço Redondo, Tomar, Centro de Portugal. *Estudos, Notas Trabalhos IGM*, 36: 3-36.
- Noronha, F. & Farinha Ramos, J. F. (1993) - Mineralizações auríferas primárias no norte de Portugal. Algumas reflexões. *Cuadernos Laboratorio Xeolóxico Laxe (Coruña)*, 18: 133-146.
- Nurmi, P. A & Lestinen, P. (1991) - Pathfinder elements in gold exploration based on multielement pilot studies of mesothermal deposits in selected Late Archean and Early Proterozoic terrains, *Proceedings Symposium Brazil Gold'91*, Belo Horizonte. A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield. Editor E.A. Ladeira: 751-758.
- Pereira, E. (1992) (Coord.) - Carta Geológica de Portugal, escala 1:200000. Notícia Explicativa da Folha 1, *Serviços Geológicos Portugal*, 83 p.
- Rose, A. H.; Hawkes, H. & Webb, J. S. (1979) - Geochemistry in Mineral Exploration. Second Edition, *Academic Press*, 657 p.
- Santos Oliveira, J. M.; Farinha, J. & Castro Reis, M. L. (2001) - Ouro e outros elementos traço em metassedimentos da área de Pedrógão (Penamacor, centro de Portugal). *Estudos, Notas Trabalhos IGM*, 43: 57-86.
- Santos Oliveira, J. M. (2002) - Litogeoquímica na área de Sarzedas (Castelo Branco). Contribuição para o estudo de ocorrências de ouro, *Relatório interno IGM*, 17 p.
- Tomás Oliveira, J.; Sequeira, A. & Romão, J. M. (1994) - Relatório sobre a geologia das regiões de Sarzedas e Vila de Rei. In: Integrated Multidisciplinary Exploration Techniques for Gold and Precious Metals in the Western Iberian Peninsula, *Final Report, vol. II, Contrato CEC (DGXII) n° MA2M-0032*.