

RECURSOS MINERAIS METÁLICOS

4ºAno – 1º Semestre

Unidade de Trabalhos Práticos nº4

Jazigos do Tipo Pórfiro



Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da
Universidade de Lisboa

Lisboa, 2006

JAZIGOS DO TIPO PÓRFIRO

1. Objectivos

O trabalho a desenvolver nas aulas tem por objectivo principal a caracterização:

- 1 - das várias paragéneses de alteração hidrotermal e posicionamento relativo das mesmas nos halos concêntricos de alteração/mineralização típicos destes depósitos;
- 2 - das diferentes tipologias de minério, salientando: a) a natureza disseminada da mineralização; b) a importância dos eventos de fracturação/mineralização; c) a zonação metalífera usual; e d) o papel relevante do enriquecimento supergénico em alguns depósitos.

1. Jazigos do tipo pórfiro: o que são?

Os jazigos do tipo pórfiro são assim designados por se encontrarem invariavelmente associados a rochas ígneas de textura porfírica, em que a mineralização ocorre disseminada ou em redes de veios e filonetes ("stockwork") no interior de extensas áreas de alteração hidrotermal. Estes jazigos encontram-se normalmente associados a intrusões instaladas a níveis crustais superficiais (<4 km).

2. Padrões de alteração hidrotermal e mineralização

Nos jazigos do tipo Pórfiro é possível identificar um conjunto de zonas de **mineralização-alteração** características. Embora cada jazigo seja um caso particular, é possível definir uma zonalidade grosseira do centro do sistema para a periferia de acordo com a seguinte ordem:

Zona Sódica-Cálcica: Caracterizada pela paragénese oligoclase, albite, actinolite e esfena.

Zona Potássica: Caracterizada pela paragénese **quartzito + ortoclase + biotite ± albite ± sericite ± anidrite ± apatite**.

Nos jazigos do tipo Pórfiro Cuprífero (Fig. 1), esta zona coincide normalmente com dois halos mineralizados distintos:

1: um **núcleo de baixos teores de Cu** (< 0.3%), caracterizado por apresentar pirite e calcopirite numa proporção grosseira de 1:2, com pequenas quantidades de magnetite e molibdenite. Esta última é muitas vezes recuperável economicamente, e ocorre frequentemente em veios distintos dos que contêm a calcopirite;

2: uma capa externa onde a proporção de pirite e calcopirite é semelhante e aproximadamente igual a 1% da rocha (**ore shell**). Pequenas quantidades de molibdenite estão disseminadas na rocha e também presentes ao longo de filonetes quartzosos. A bornite pode também ocorrer sob a forma de grãos discretos ou finos intercrescimentos com calcopirite.

Zonas Filítica e Argilítica: A alteração filítica (sericitica) caracteriza-se pela associação de **quartzito + sericite + pirite ± turmalina ± albite ± clorite**, enquanto que a argilítica, frequentemente associada a zonas de elevada permeabilidade, compreende a paragénese **quartzito + caulinite ± clorite**.

Nos Pórfiros Cupríferos estas zonas estão compreendidas entre a porção externa do **ore shell** e a base da capa rica em pirite (**pyrite shell**), onde os teores de Cu decrescem habitualmente para valores entre 0.1 e 0.5%. A proporção entre pirite e calcopirite é aproximadamente de 10:1, e o primeiro sulfureto, ocorrendo sob a forma de grãos euédricos a subeuédricos disseminados na matriz e no seio de filonetes e veios de quartzito, pode constituir cerca de 10% do volume total da rocha. A capa externa da **pyrite shell** pode conter mais de 25% de pirite; neste halo, são comuns os veios quartzosos ricos em pirite com possança centimétrica.

Zona propilítica: A paragénese que normalmente caracteriza este tipo de alteração hidrotermal consiste em **clorite + epídoto + carbonato ± quartzo**.

Nos Pórfiros Cupríferos a mineralização nesta zona, compreende veios de pirite (2-6% da rocha) que, localmente, podem conter também calcopirite, galena, tetraedrite e, por vezes, calcocite.

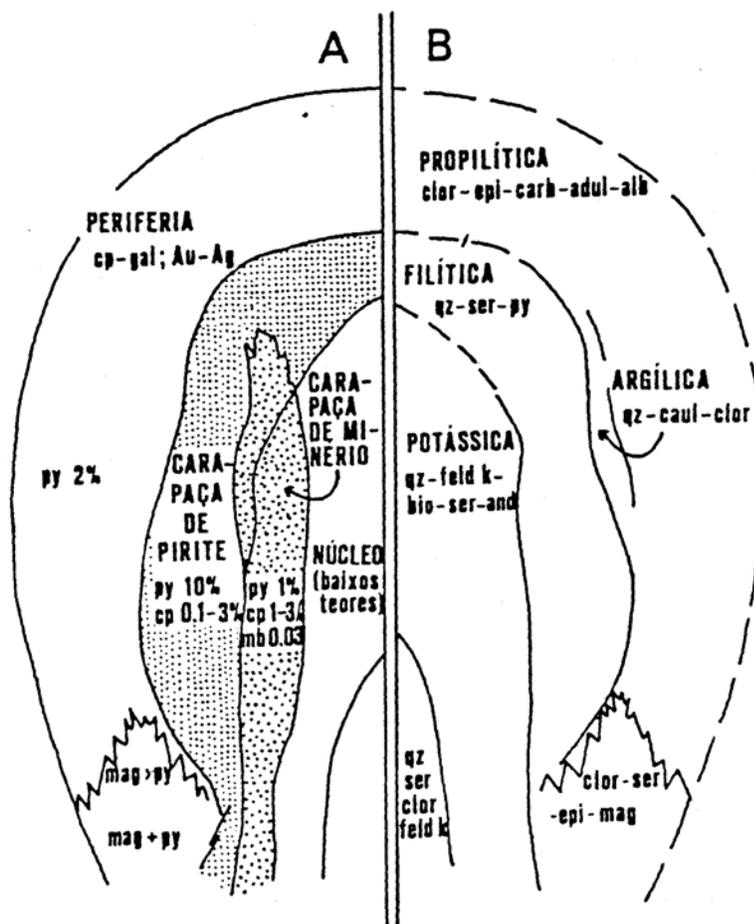


Figura 3. Zonas de mineralização (A) e de alteração hidrotermal (B) numa secção idealizada de um jazigo do tipo Pórfiro Cuprífero (adaptado de Lowell & Guilbert, 1970).

3. Importância económica, classificação, caracterização.

Do ponto de vista económico estes jazigos constituem fontes importantes de Cu, Mo, Au, W e Sn e em geral caracterizam-se por tonelagens elevadas (em média entre 50 a 500 Mt) e baixos teores (<1%), parâmetros que condicionam a sua exploração a métodos de extracção a céu aberto (*open pits*). A classificação deste tipo de jazigos é essencialmente baseada no conteúdo em metais. As características dos principais tipos de jazigos do tipo Pórfiro encontram-se sumarizadas na Tabela I.

Tabela I – Características das principais classes de jazigos do Tipo Pórfiro

Tipo Pórfiro	Metais	Ambiente geotectónico	R.ígneas	Prof.	Modo de ocorrência	Mineralogia		Alteração	Zonação	Dimensão		Ass. Geol.
						minérios	ganga			Teores	Tonelagem	
Cu-Au	Cu-Au	Zonas de subducção arco-volcânico	alcalinas gabro, diorite monzonito-sienitos nefelínicos oxidadas	epizonal a sub-volcânica	veios "stockworks" disseminados brechas	calcopirite bornite calcoite rara galena sphalerite teluredos tetraedrite Au nativo e prata nativa	biotite feldspato-K pirite magnetite sericite granada (melanite) clinopiroxena (diopsido) anidrite	sódica (albite, epidoto, diopsido, actinolite, escapolite, prenite) potássica (c/ anidrite ± melanite ± diopsido) filítica propilítica	irregular concêntrica	Cu 0.5-1% Au (> 0.3 g/t) Ag (>2 g/t)	>10 Mt	Cu, Au, Mo, Ti, V, P, F, Ba, Sr, Rb, Nb, Te, Pb, Zn, PGE
Cu	Cu (Mo, Au, Ag)	Zonas de subducção arco-continental ou arco-volcânico cinturadas orogénicas	calcoalcalinas metaluminosas oxidadas Tipo I diorito-qz, granodiorito, qz-monzonito	epizonal a sub-volcânica	veios "stockworks" disseminados brechas	calcopirite molybdenite bornite calcoite tetraedrite-tenanite enargite Au nativo electrum arsenopyrite galena esferalite	quartzo biotite sericite feldspato K pirite magnetite chlorite calcite epidote anidrite barite turmalina	potássica (c/ ±anidrite) filítica (c/ carbonatos) argilítica propilítica argilítica avançada (caulinite + pirofilite)	cilíndrica	Cu 0.5 % Mo (<0.002-0.016%) Au (0.002-0.38 g/t) Ag (<1-1.2 g/t)	>150 Mt Cu >100 Mt Cu-Mo >500 Mt	Proximal Cu, Mo, Au, Ag, Bi, W, B, Sr Distal Pb, Zn, Mn, V, Sb, As, Se, Te, Co, Ba, Rb, Hg
Mo	Mo (Cu, W)	Zonas de subducção arco-continental ou colisão continente-continente	Intermédias a félsicas (granodiorito-granito) calcoalcalino metaluminosas Tipo I pobres em F (<0.1%)	epizonal a sub-volcânica	veios "stockworks" brechas	molibdenite calcopirite scheelite galena	quartzo pirite feldspato K biotite sericite argilas calcite anidrite	potássica (c/ ±anidrite) silicificação filítica (c/ carbonatos) argilítica irregular propilítica	cone invertido cilíndrica irregular	0.1-0.2%	>100 Mt	Mo, Cu, W, Pb, Zn, Ag
Mo ou Climax	Mo (Sn, W)	Rifting em c. continental espessa pós-orogénicos	Félsicas >75% SiO ₂ Tipo S ricas F texturas solidificação unidireccionais (quartz em pente)	epizonal a sub-volcânica	veios "stockworks" brechas	molibdenite volframite cassiterite esferalite galena monazite	quartzo pirite topázio fluorite ± rodocrosite spessartina	greisenização (c/ topázio) silicificação (± magnetite) potássica filítica argilítica propilítica	cone invertido	0.1-0.3 %	>100 Mt	Mo, Sn, W, Rb, Mn, F
W	W (Mo, Sn, Ag)	Extensão moderada c. continental espessa pós-orogénicos	Félsicas Tipo S ricas F texturas solidificação unidireccionais (quartz em pente)	profunda a sub-volcânica	veios "stockworks" disseminados brechas	scheelite e/ou volframite molibdenite bismuto n. bismutinite cassiterite	pirite pirrotite magnetite arsenopyrite quartzo feldspato K biotite muscovite fluorite topázio	greisenização (c/ topázio + fluorite + micas Li-F) potássica local argilítica filítica propilítica	cone invertido cilíndrica irregular	0.2-0.3%	>100 Mt	W, Mo, Sn, F, Zn, Pb, Cu
Sn	Sn (Ag, W)	Extensão c. continental espessa pós-orogénicos	Félsicas Tipo S ricas F, B	profunda a sub-volcânica	veios "stockworks" disseminados brechas	cassiterite estranite calcopirite esferalite galena sulfosais de Sn e Ag	pirite arsenopyrite topázio fluorite turmalina muscovite zinwaldite lepidolite	greisenização (c/ topázio) turmalinização filítica (c/ turmalina) propilítica	cone invertido cilíndrica irregular	0.2-0.5 %	>10 Mt	Sn, Ag, W, Cu, Zn, As, Pb, Rb, Li, F, B

É ainda comum sistematizar os jazigos do tipo Pórfiro Cuprífero em três grandes grupos, a saber: *plutónicos, vulcânicos, e hipabissais*.

Os *Pórfiros Cupríferos plutónicos* associam-se a batólitos calco-alcalinos de grandes dimensões (com uma área aflorante geralmente superior a 100 km²) que intruem rochas vulcânicas comagmáticas, ou ocorrem na proximidade destas. A instalação dos batólitos processou-se, regra geral, em níveis crustais relativamente profundos (2-4 km). Os plutões encerram unidades litológicas texturalmente distintas: hipidiomórficas com granularidade média a grosseira, faneríticas e porfíricas. A instalação dos plutões é tipicamente diapírica; o ascenso sequencial de pulsações magmáticas e os subsequentes fenómenos de diferenciação são responsáveis pelos contactos bruscos e graduais característicos destes depósitos. As brechas são frequentes e ocorrem preferencialmente em estreita associação com o cortejo tardio de filões porfíricos; as estruturas brechóides mineralizadas contêm, regra geral, abundante especularite e turmalina. A mineralização associa-se privilegiadamente a um dos diferenciados ígneos grosseiros, podendo igualmente ocorrer de modo secundário em litologias ígneas suas derivadas.

Nos jazigos de *Pórfiros Cupríferos vulcânicos*, as rochas suporte da mineralização são quase sempre do tipo calco-alcálico, isto é, andesitos, latitos, dacitos e riólitos, o que sugere certa contemporaneidade entre o desenvolvimento do jazigo mineral com os últimos estádios da evolução das cinturas orogênicas. São contudo conhecidos alguns jazigos em que ocorrem rochas de natureza alcalina, geralmente associadas a plutonitos mais profundos. Nos edifícios vulcânicos calco-alcálicos, a instalação das rochas intrusivas é frequentemente condicionada pela presença de zonas de falha regionais e/ou pela existência de um padrão regular e radial de fracturas em torno do edifício vulcânico. Os corpos brechóides são comuns nestes depósitos e, frequentemente, encontram-se mineralizados contendo, em geral, abundante magnetite; a natureza destas brechas é variável, incluindo tefritos primários piroclásticos, pseudo-brechas de alteração, brechas ígneas e aglomerados de produtos de escorrência (particularmente importantes na base do edifício vulcânico). Nos centros vulcânicos alcalinos, os núcleos intrusivos estão geralmente instalados ao longo de estruturas regionais; a instalação das rochas intrusivas características dos níveis mais superficiais é normalmente controlada por zonas de falha. As brechas intrusivas e extrusivas (vulcânicas) são também comuns e, geralmente, encontram-se mineralizadas.

Os *Pórfiros Cupríferos hipabissais* associam-se a *stocks* calco-alcálicos constituídos por diferentes rochas porfíricas cuja distribuição se encontra relacionada com a instalação múltipla e sucessiva de pequenos corpos intrusivos hipabissais (0.5 a 2 km²) de geometria cilíndrica. São ainda comuns nestes depósitos, numerosos diques de rocha porfírica que, instalados preferencialmente em níveis crustais muito superficiais, antecedem ou são posteriores à mineralização. Esta pode ocorrer unicamente no seio do *stock* ou na rocha encaixante, ou em ambas. As brechas intrusivas são também comuns e características, incluindo as geradas por colapso (relacionadas com perturbação estrutural intensa e localizada) e explosão (relacionadas com a libertação rápida e intensa de voláteis); a brechificação é geralmente multifásica e faz-se acompanhar por intensa alteração hidrotermal. Este tipo de depósitos compreende quase exclusivamente os jazigos presentes nos E.U.A..

4. Enriquecimento supergénico

O enriquecimento supergénico é um fenómeno relativamente comum em muitos jazigos do tipo Pórfiro. A paragénese secundária desenvolvida em ambiente redutor compreende essencialmente **covelite**, **calcocite** e **digenite (Cu)**.

Nas zonas mais superficiais, os processos de alteração e enriquecimento secundário podem dar lugar a paragéneses oxidadas mais ou menos ricas em **hematite**, **goethite** e vários minerais hidratados de cobre, tais como a **antlerite** - $\text{Cu}_3(\text{SO}_4)(\text{OH})_4$, **atacamite** - $\text{Cu}_4\text{Cl}_2(\text{OH})_6$, **calcantite** - $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, **krohnkite** - $\text{Na}_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, **brochantite** - $\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$, **natrocalcite** - $\text{Na}_2\text{Cu}_4(\text{SO}_4)_4(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, **crisocola** - $\text{Cu}_4\text{H}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$, **turquesa** - $\text{CuAl}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, **cuprite** - Cu_2O ; **cuprocopiapite** - $\text{CuFe}_4(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, **lindgrenite** - $\text{Cu}_3(\text{MoO}_4)_2(\text{OH})_2$, **pisanite** - $(\text{CuFe})\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, **jarosite** - $\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ e, por vezes, **cobre nativo**.

As zonas de enriquecimento supergénico são, em muitos depósitos, alvo de exploração intensa, dado constituírem com frequência áreas de teor elevado e de fácil desmonte. Constituem, por outro lado, excelentes guias de prospecção mineira.

5. Caracterização sumária de alguns jazigos do tipo Pórfiro Cuprífero

As características mais pertinentes dos depósitos do tipo Pórfiro serão documentadas por uma série de amostras (e lâminas delgadas polidas) de Pórfiros Cupríferos dos jazigos de Sierrita-Esperanza, Ray e Silver Bell, todos eles localizados no estado do Arizona (E.U.A.) e alguns exemplares representativos dos domínios mineralizados dos Jazigos de Climax e Henderson (Pórfiros Molibdeníferos), no Colorado (E.U.A.).

5.1. Jazigo de Sierrita-Esperanza

As rochas ígneas hospedeiras da mineralização cuprífera neste depósito compreendem essencialmente quatro fácies, a saber.

1 - Monzonito quartzífero de Harris Ranch (referenciado por **HRQM**). Este litótipo ocorre preferencialmente no sector SW do depósito de Sierrita. Trata-se de uma rocha leuco-mesocrata, hipidiomórfica de granularidade média a grosseira, essencialmente constituída por **quartzo + ortoclase + anfíbola + biotite ± sericite ± pirite** disseminada. Apresenta-se frequentemente recortada por filonetes preenchidos por quartzo, pirite e calcopirite aos quais se associam por vezes sericite ± clorite. Na proximidade de alguns filonetes é também notório o aumento relativo de quartzo e sericite, traduzindo a preponderância dos fenómenos de silicificação e sericitização ao longo do tempo.

2 - Diorito quartzo-biotítico (referenciado por **BOD**). A intrusão tardia presente no sector NW do poço do depósito de Sierrita é, na sua essência, constituída por esta rocha, embora existam pequenas intrusões dioríticas dispersas por todo o Couto Mineiro. Trata-se de uma rocha melanocrática, hipidiomórfica de granularidade fina, extremamente silicificada, cuja matriz é, regra geral, rica em anfíbola biotitizada. Este litótipo encontra-se frequentemente recortado por diferentes famílias de filonetes mineralizados, cuja cronologia relativa nem sempre é fácil de estabelecer. De entre estes, salientam-se, pela sua abundância relativa, os preenchidos por:

- **quartzo + calcopirite + molibdenite ± pirite** (sistema mais precoce, frequentemente associado a domínios de alteração potássica);
- **quartzo + sericite + pirite ± clorite** (cujo desenvolvimento é correlacionável com os processos conducentes à alteração filítica);
- **quartzo + calcocite**, aos quais não se associa (pelo menos de modo evidente) nenhuma associação hidrotermal particular. Registe-se, contudo, a presença de **clorite** muito fina nos encostos de alguns filonetes deste tipo, em certos exemplares.
- **gesso**, de desenvolvimento bastante tardio.

3 - Granodiorito de Ruby Star (referenciado por **RSG**). Este litótipo ocorre preferencialmente em pequenas intrusões circulares no sector NNE do depósito de Sierrita. Trata-se de uma rocha leuco-mesocrata, hipidiomórfica de granularidade fina a média caracterizada pela associação de **quartzo + feldspato (ortoclase ?) + plagioclase + anfíbola + biotite ± clorite ± epidoto ± sericite**. Em amostras sujeitas a alteração supergénica são ainda abundantes os óxidos de manganês e minerais de argila.

4. Pórfiro Monzonítico quartzífero de Ruby Star (referenciado por **RSQMP**). Este é, em geral, o litótipo suporte da mineralização, representando muito provavelmente a diferenciação porfirítica do granodiorito de Ruby Star. Trata-se de uma rocha leuco a mesocrata, hipidiomórfica de granularidade média a grosseira e essencialmente constituída por **quartzo + plagioclase + ortoclase + biotite ± anfíbola**. A alteração hidrotermal de que foi alvo traduz-se pela deposição mais ou menos intensa de **quartzo + ortoclase + biotite ± calcopirite ± pirrotite ± magnetite**, nas zonas profundas do jazigo (correspondendo ao núcleo de alteração potássica), ou pelo desenvolvimento da paragénese composta por **quartzo + sericite ± clorite ± epidoto + pirite + esfalerite + bornite + calcocite ± marcassite**, nos sectores acima e em torno do núcleo central rico em calcopirite. O contacto entre estes dois grandes halos de alteração hidrotermal é gradual e são relativamente comuns as zonas onde

as duas associações mineralógicas ocorrem sobrepostas. As paragénese de alteração propilítica e argilítica estão relativamente mal representadas no depósito de Sierrita. É, no entanto, possível observar o desenvolvimento da associação mineralógica característica da alteração argilítica em zonas tectonicamente perturbadas.

A fracturação do pórfiro Ruby Star é também evidente a qualquer escala. As fracturas encontram-se geralmente preenchidas, dando lugar a uma rede de filonetes geometricamente semelhante à evidenciada pelo quartzo-diorito biotítico. Registe-se, no entanto, o desenvolvimento pronunciado de filonetes quartzosos ricos em sericite grosseira, bem como a presença relativamente frequente de veios tardios com gesso bem cristalizado.

Importa, por último, mencionar que a mineralização compreende a paragénese **calcopirite + molibdenite + magnetite + pirrotite ± pirite ± cubanite ± marcassite**, nas zonas mais profundas e ricas do depósito, a qual cede lugar a uma outra que, constituída por **pirite + bornite + calcocite + esfalerite ± calcopirite ± marcassite**, tipifica os sectores acima e em torno dos núcleos de teor mais elevado.

5.1.1. Questionário

1 - Como pode observar macroscopicamente ou com o auxílio da lupa, a matriz granular da rocha **HRQM** é constituída por várias fases mineralógicas distintas. Uma análise textural cuidada permite perceber quais as fases primárias relíquia e quais as que resultaram do intenso metassomatismo que caracteriza este tipo de jazigos minerais. Identifique os minerais não opacos presentes e discrimine-os neste óptica, explicitando os critérios adoptados.

2 - Confirme as relações geométricas e as associações secundárias de preenchimento das várias gerações de filonetes observáveis no litótipo **BQD** explicitadas no texto de apoio.

3 - Observe atentamente as amostras do litótipo **RSQMP** que lhe foram distribuídas e descreva-as pormenorizadamente tendo em linha de conta a caracterização da alteração hidrotermal, bem como os aspectos de índole geométrica e mineralógica evidenciados pelas diferentes gerações de veios.

5.2. Jazigo de Ray

Neste depósito, a mineralização associa-se preferencialmente a um **pórfiro granítico**, denominado por "**Granite Mountain Porphyry**", o qual ocorre em uma série de pequenas intrusões circulares e está representado pelas amostras R-6 e R-8; a associação mineralógica primária principal comporta fenocristais de plagioclase, quartzo, feldspato potássico, biotite e magnetite. A esfena, apatite, zircão, monazite e hornblenda ocorrem em quantidades acessórias. Reconhece-se ainda outra rocha intrusiva, no caso um **pórfiro quarto-monzonítico** geralmente designado por **Teapot Mountain Porphyry**, cuja relação (pelo menos espacial) com a mineralização não é evidente. Estas rochas ígneas, de idade Triásica, intruem toda a série Pré-Câmbrica característica daquela zona que, da base para o topo, compreende:

1 - a **Formação de Pinal** que consiste numa sequência metamorfozada de argilitos, arenitos e conglomerados. A única amostra disponível na colecção (R9) consiste num quartzito de grão fino a médio com uma matriz sericítica. Neste exemplar é notório o desenvolvimento de dois veios quartzosos, um deles com abundante **calcocite**. Este sulfureto ocorre ainda disseminado na matriz da rocha quartzítica.;

2 - o **Nível Conglomerático de Scanlan**, assente em discordância angular sobre a Formação precedente;

3 - a **Formação de Pioneer** que abarca uma sequência metamorfozada de arenitos e níveis argilíticos e que se encontra representada na presente colecção por uma amostra de quartzito (R4) cortado por vários filonetes de quartzo hidrotermal. As frequentes disseminações de sulfuretos na

matriz desta rocha metassedimentar fazem-se acompanhar por outros minerais indicadores da alteração hidrotermal a que a rocha foi sujeita;

4 - o **Nível Conglomerático de Barnes** de idade Pré-Câmbrica Superior (amostra R5).

O topo da sequência Pré-Câmbrica encontra-se sublinhado por diferentes filões camada de rochas doleríticas que, por vezes, constituem diques intrusivos naquela série. A presente colecção de amostras e lâminas delgadas polidas do jazigo de Ray comporta duas amostras de dolerito, designadas por R-1 e R-3. A observação cuidada destes exemplares e respectivas lâminas delgadas polidas, permite concluir que os mesmos apresentam padrões de alteração hidrotermal distintos, isto é, enquanto o dolerito representado pela amostra R-1 exhibe uma associação mineralógica típica da alteração filítica, a amostra R-3 encerra uma paragénese de alteração oxidada de mais baixa temperatura.

5.2.1. *Questionário*

4 - Com base na observação macroscópica e microscópica da amostra R4, identifique os principais sulfuretos presentes e o seu modo de ocorrência, bem como a associação mineralógica que caracteriza a alteração hidrotermal.

5 - A amostra R-7 constitui um excelente exemplo de um litótipo mineralizado e alterado hidrotermalmente da Formação de Pioneer. Examine cuidadosamente as lâminas delgadas polidas com a referência R-7, e responda sucintamente às seguintes perguntas:

a) Qual a rocha original ?

b) Qual a associação mineralógica de alteração hidrotermal predominante ?

c) Identifique os principais minerais opacos presentes e estabeleça, com base em critérios texturais seguros, a cronologia relativa entre estes.

d) A zóna exibida pelo preenchimento dos filonetes presentes neste exemplar sugere, ou não, carácter polifásico para o seu preenchimento ? Justifique.

Observe agora a amostra de mão R-7. Identifique os principais minerais que se associam ao processo de alteração e enriquecimento supergénico.

6 - Examine com atenção o exemplar R-3 e respectiva lâmina delgada polida. Para além dos minerais transparentes que, de modo geral, caracterizam a alteração filítica, identifique e caracterize:

a) a associação de minerais opacos presentes no exemplar amostrado ?

b) os minerais que permitem concluir que o litótipo em causa foi objecto de alteração tardia em ambiente oxidante.

7 - Observe atentamente a amostra R-8, representativa do pórfiro granítico, e encontre as evidências - necessárias à corroboração da seguinte afirmação: A alteração filítica sobrepõe-se parcialmente à potássica e faz-se acompanhar por desenvolvimento de numerosos filonetes quartzosos mais ou menos ricos em pirite que, por sua vez, afectam filonetes quartzosos com molibdenite e rara calcopirite.

8 - Observe detalhadamente a amostra R-6 e respectiva lâmina delgada polida e determine os tipos de alteração hidrotermal a que a rocha foi sujeita, justificando concisamente a sua resposta.

5.3. Jazigo de Silver Bell

As rochas aflorantes no Couto Mineiro de Silver Bell apresentam idades compreendidas entre o Pré-Câmbrico e o Quaternário. Para a área de exploração de El Tiro, contudo, a distribuição das principais unidades litológicas permite genericamente colocar em evidência duas sequências sedimentares distintas, a saber:

1 - série de idade Paleozóica composta por alternâncias rítmicas de calcários, argilas e arenitos;

2 - sequência sedimentar detrítica de idade Mesozóica essencialmente composta por arenitos e conglomerados.

Ambas as sequências sedimentares são intruídas por rochas ígneas geralmente porfíricas e de idade Mesozóica, apresentando-se todo o conjunto recortado por numerosos diques cenozóicos de natureza andesítica. Dados geocronológicos permitiram estabelecer a sequência cronológica relativa à instalação das mesmas que, do termo mais antigo para o mais recente, abarca os seguintes litótipos: alaskito (plutão de grandes dimensões), pórfiros dacíticos (stocks com dimensões variáveis), pórfiros de natureza sienítica-diorítica (diques), quartzo-monzonitos (stocks irregulares de pequena dimensão), pórfiros quartzo-monzoníticos (diques e pequenos stocks) e, por último, pórfiros granodioríticos (diques).

De todos estes litótipos só o alaskito e quartzo-monzonito estão representados na presente colecção de amostras relativas aos jazigos do tipo Pórfiro Cuprífero. O primeiro, representa uma rocha leucocrata, hipidiomórfica de granularidade média a grosseira, essencialmente constituída por quartzo, ortoclase, plagioclase, biotite, traços de zircão, apatite e óxidos de ferro e titânio. A mineralização cuprífera que se lhe associa é, na maior parte dos casos, resultado da acção dos processos de enriquecimento supergénico, dado que em geral os teores em Cu relacionados com a mineralização hipogénica raramente superam 0.2%. O pórfiro quartzo-monzonítico é uma rocha meso-leucocrata com matriz hipidiomórfica de granularidade média a grosseira, essencialmente constituída por fenocristais arredondados de quartzo, fenocristais euédricos a sub-euédricos de plagioclase, grãos anédricos de ortoclase, biotite e anfíbola. A magnetite, zircão, esfena e apatite constituem os principais minerais acessórios. Refira-se, por último, a presença de corneanas calcosilicatadas mineralizadas, resultantes do metamorfismo de contacto de rochas carbonatadas da sequência sedimentar Paleozóica (designadas por tactitos).

5.3.1. Questionário

9 - Observe atentamente as amostras com a 'referência' *Alaskite* e caracterize a alteração hidrotermal a que a rocha foi sujeita.

10 - As amostras SB-8 representam o pórfiro quartzo-monzonítico no depósito de Oxide. Após a observação cuidada deste exemplar diga, justificando, o tipo de alteração presente e identifique a paragéneses mineral que se lhe associa.

11 - A amostra de tactito disponível na presente colecção representa um minério de teor elevado, característico da área de exploração de El Tiro. Depois de o observar atentamente descreva-o de modo sucinto, referindo-se aos seguintes aspectos: mineralização e alteração supergénica.

12 - As amostras referenciadas por SB-7 materializam aspectos particulares do halo externo de alteração filítica, localmente mascarados pelo desenvolvimento mais ou menos intenso da alteração supergénica. Encontre as evidências mineralógicas e texturais que julgar pertinentes por forma a justificar tal afirmação.

8. Referências bibliográficas

- Burnham, C. N., 1979 - Magmas and hydrothermal fluids. In: Barnes H. L., ed., Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits. 2nd Ed., Wiley-Interscience, 71-136.
- Evans, A. M., 1989 - An introduction to ore geology. Blackwell Scientific Pub., Oxford.
- Graybeal, F.T., 1982 - Geology of the El Tiro area. *In*: Advances in Geology of the Porphyry Copper Deposits, Southwestern North America (Tittley, S.R., ed.), Tucson, Univ. Arizona Press, 487-506.
- Guilbert, J. M.; Park, Jr., C. F., 1986 - The Geology of Ore Deposits. W. H. Freeman and Company, New York, 985 pp.
- Henley, R. N.; McNabb, A., 1978 - Magmatic vapour plumes and ground-water interaction in porphyry copper emplacement. *Econ. Geol.* 73, 1-20.
- Lowell, J. D.; Guilbert, J. M., 1970 - Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits. *Econ. Geol.* 65, 373-408.
- Phillips, C.H.; Gambell, N.A.; Fountain, D.S., 1974 - Hydrothermal alteration, mineralization, and zoning in the Ray Deposit. *Econ. Geol.*, 68, 1237-1250.
- Preece, R.K.; Beane, R.E., 1982 - Contrasting evolutions of hydrothermal alteration in quartz monzonites and quartz diorite wall-rocks at the Sierrita Porphyry Copper Deposit, Arizona. *Econ. Geol.*, 77, 1621-1641.
- Tittley, S. R.; Beane, R. E., 1981 - Porphyry copper deposits. *Econ. Geol.* 75th Anniv., 214- 269.