

RECURSOS MINERAIS METÁLICOS

4ºAno – 1º Semestre

Unidade de Trabalhos Práticos nº2

Jazigos Pegmatíticos

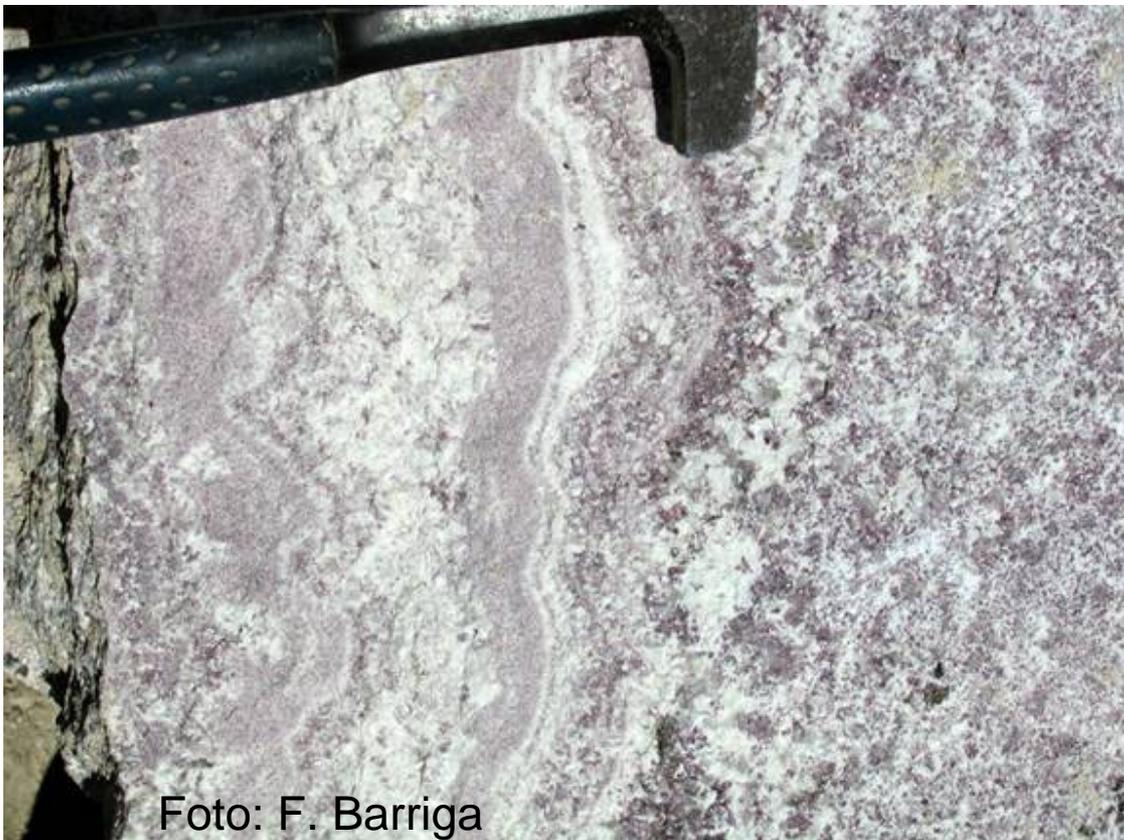


Foto: F. Barriga

Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da
Universidade de Lisboa

Lisboa, 2006

1. Nota introdutória

1.1. Pegmatitos: o que são?

Pegmatito, corresponde a um **termo textural** usado frequentemente para descrever rochas magmáticas de **grão muito grosseiro** (>3cm), com composição química similar à de rochas graníticas. Os pegmatitos formam, em geral, diques, soleiras e corpos irregulares intrusivos, ou ainda segregações tardias inclusas em batólitos graníticos. Contudo, existem rochas textural, mineralógica e quimicamente indistintas mas de origem metamórfica (via migmatitização) que podem ser igualmente designadas de pegmatitos, mas que pela sua escassa importância como fonte de metais não constituem objecto de estudo desta disciplina.

1.2. Pegmatitos: como se formam?

Os pegmatitos formam-se a partir de fracções residuais magmáticas resultantes de processos de fraccionação e/ou decorrentes da actividade hidrotermal tardi-magmática caracterizada quer por fenómenos de ebulição, quer por processos de mistura de fluidos quimicamente distintos. Estes processos podem conduzir a **enriquecimentos em elementos incompatíveis** reflectindo-se na mineralogia dos pegmatitos, muitas vezes caracterizada por incorporação substancial de voláteis (OH, F, B, Cl) e metais raros (Be, Li, Sn, W, Rb, Cs, Nb, Ta, REE e U).

1.3. Pegmatitos: mineralogia e classificação

A interacção complexa entre os vários elementos químicos sob condições físico-químicas que condicionam o desenvolvimento das estruturas pegmatíticas, permite o estabelecimento de uma **mineralogia** muito diversa e, principalmente, de uma **zonalidade químico-mineralógica** notória, cuja caracterização constitui o alicerce fundamental da classificação destes sistemas geológicos em diferentes tipologias.

Pegmatitos Simples

Os pegmatitos mais simples compreendem essencialmente quartzo, feldspato e mica branca. Geralmente não apresentam zonação interna bem desenvolvida, embora o primeiro silicato possa ocupar preferencialmente os domínios centrais dos veios, diques e bolsadas. Os minerais acessórios mais comuns são turmalina, apatite, berilo, granada, topázio.

Complexos

Nos pegmatitos complexos (sistemizados de acordo com a preponderância de determinada associação metálico-mineralógica – Tabela I), o estudo da zonação químico-mineralógica deverá ser efectuado com particular atenção, pois a substituição tardia (geralmente polifásica) das paragénese pré-existent é um fenómeno relativamente vulgar, criando sérias dificuldades ao exame da sequência de deposição. Nos casos mais simples e na ausência de evidências claras que suportem a intervenção tardia de fenómenos metassomáticos, é lícito atribuir o desenvolvimento dos grandes cristais nos domínios centrais das estruturas pegmatíticas à actividade de fluidos tardi-magmáticos de viscosidade reduzida e fluidez elevada. Tal não é, contudo, a situação mais usual, pelo que a génese da zonação geralmente evidenciada pelas estruturas pegmatíticas (económicas, em particular) carece ainda de explicação plausível.

Tabela I – Classificação dos pegmatitos de metais raros de acordo com Cerny (1991a)

Tipo	Família	Tipo/Sub-tipo
Simplex		
Complexo	LCT (Li, Cs, Ta) – B, P, F Granitos tipo S e I Magma ricos em voláteis Marginal, exterior Zonados	Berilo (Be, Ta>Nb,Sn) Complexo (Li, Rb, Cs, Be, Sn, Ta, Nb) Espodumena – $LiAlSi_2O_6$ Petalite - $LiAlSi_4O_{10}$ Ambligonite - $LiAlFPO_4$ Lepidolite - $K(Li,Al)_{2-3}AlSi_3O_{10}(O,OH,F)_2$ Elbaite - $Na(Li,Al)_3Al_6Si_6O_{18}(BO_3)_3(OH)_4$ Danburite - silicato de Ca e B Albite-espodumena (Li, Sn, Be, Ta, Nb) Albite (Ta, Nb, Sn, Be)
	NYF (Nb, Y, F) Granitos tipo A Magmas secos Pouco zonados	Gadolinite (Y, HREE, Be, Nb> Ta, F, U, Th, Ti, Zr, Sc) Alanite-monazite (LREE, U, Th, Be, Nb>Ta, F)

1.4. Pegmatitos: zonação regional

Os pegmatitos ocorrem frequentemente em cortejos filonianos, formando os chamados campos pegmatíticos nos quais é, por vezes, possível definir também uma zonação químico-mineralógica regional (Fig. 1). Em geral, o grau de diferenciação e, conseqüentemente, o conteúdo em voláteis e metais raros, aumenta com o afastamento relativamente à fonte dos fluidos magmático-hidrotermais, em virtude do Li, P, B e F diminuírem não só a viscosidade dos fluidos mas também a temperatura do "solidus". A densidade de filões diminui no mesmo sentido. Em muitos casos, esta zonação constitui um excelente guia de prospecção.

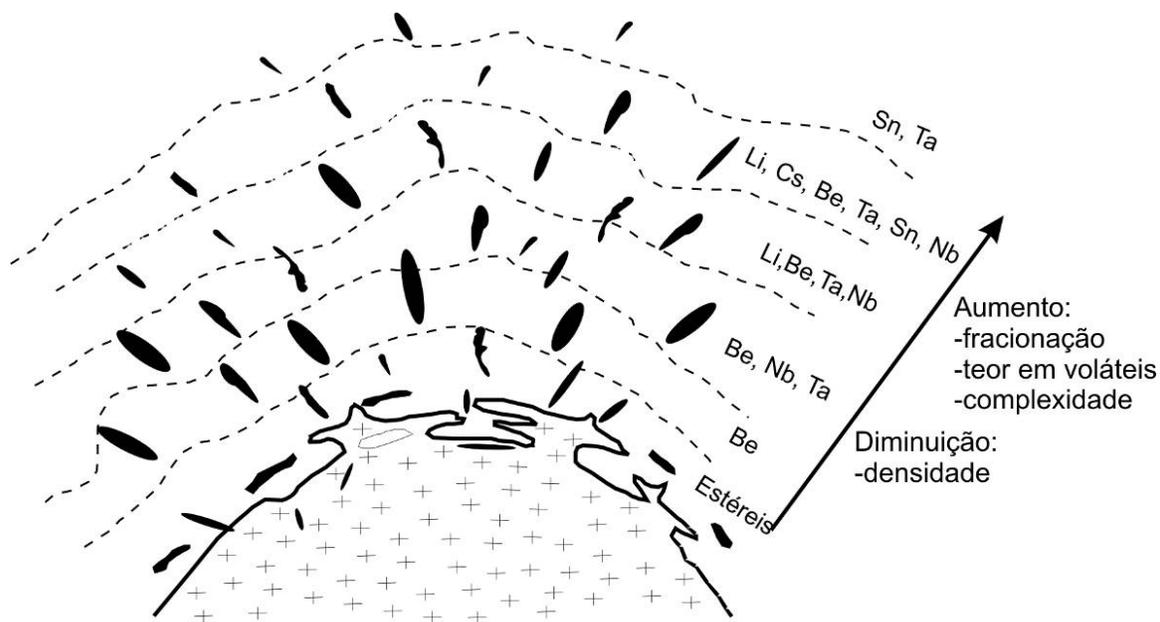


Figura 1 – Representação esquemática da zonação de um campo pegmatítico do tipo LCT .
Adaptado de Cerny (1991b)

1.5. Pegmatitos: importância económica

Os pegmatitos constituem fonte importante de pedras preciosas e semi-preciosas, de minerais industriais e de metais raros como o Li, Rb, Cs, Be, Ge, Sc, Y, Sn, W, Mo, Nb, Ta e U. O valor económico actual destes jazigos é função da pureza e facilidade de separação dos seus minerais e/ou metais. Os feldspatos, micas, quartzo, berilo, bertrandite, corindo, gemas, espodumena, lepidolite, ambligonite, columbite, tantalite, volframite/ferberite, scheelite, molibdenite e uraninite, representam os minerais de maior interesse comercial.

2. Depósitos pegmatíticos em Portugal

As principais ocorrências pegmatíticas com interesse económico em Portugal distribuem-se pelos terrenos graníticos constituintes das regiões beirãs¹ que, em traços gerais, sublinham o eixo central da Zona Centro-Ibérica (Fig. 2). Neste importante sector do soco paleozóico, destacam-se, pela sua importância histórica, extensão e/ou actividade mineira actual, os campos pegmatíticos de Sátão (Viseu), Mangualde e de Seixo Amarelo - Gonçalo (Guarda), especialmente associados a granitos porfiróides biotíticos e/ou granitos grosseiros de duas micas gerados no decurso da orogenia Hercínica. Nesta disciplina importará identificar em amostra de mão e lâmina delgada os traços mineralógicos e texturais típicos das principais fácies graníticas, reconhecer e caracterizar as orlas de metassomatismo no contacto com estruturas mineralizadas, identificar a paragénese mineral que sela os pegmatitos económicos e estabelecer os critérios que permitem avaliar a sua zonação mineralógica e, conseqüentemente, a importância que tal procedimento tem na obtenção de concentrados de valor comercial.

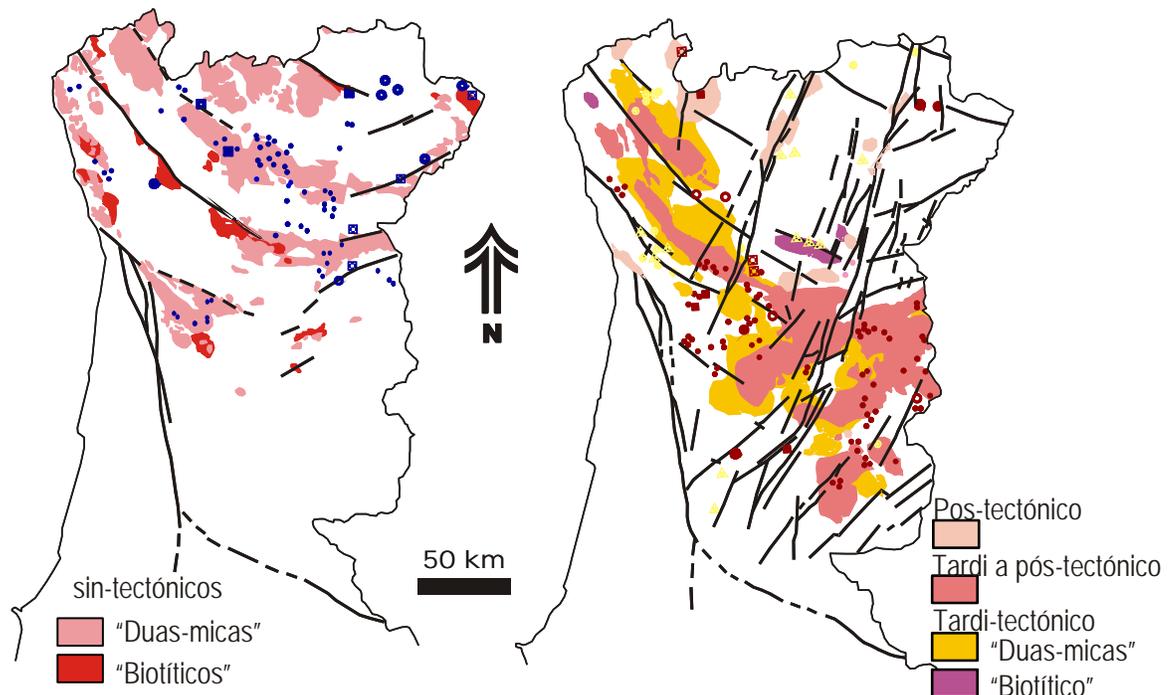


Figura 2 - Distribuição de rochas granitóides na Zona Centro Ibérica. Adaptado de Mateus e Noronha (2001)

¹ O campo pegmatítico de Arga na região minhota, constitui, talvez, a maior excepção conhecida (Leal Gomes, 1995), muito embora se associe ao mesmo eixo metalogenético que os seus congéneres a Sul, e o seu potencial económico não se encontra devidamente avaliado.

2.1. Os aplito-pegmatitos de Seixo Amarelo - Gonçalo (Guarda)

O campo pegmatítico de Seixo Amarelo - Gonçalo, integra um domínio mais vasto (com extensão aflorante próxima de 100 km²) que se desenvolve pela região de Gouveia - Fornos de Algodres - Celorico da Beira - Guarda - Belmonte - Bendada - Sabugal e compreende filões aplito-pegmatíticos sub-horizontais (com inclinação geralmente inferior a 30° - *soleiras*) preenchidos por uma paragénese essencial relativamente constante: **quartzo, feldspato potássico, albite, moscovite e mica litinífera**. Embora a densidade de filões varie consideravelmente dentro deste imenso domínio, regista-se uma tendência geral no sentido das maiores concentrações de soleiras aflorarem em zonas de bordadura (*exocontactos*) de granitos tardi-orogénicos intrusivos em batólitos sin-orogénicos e metassedimentos normalmente pertencentes ao Complexo Xisto-Grauváquico ante-Ordovícico.

Os pegmatitos são, por norma, complexos e do sub-tipo com lepidolite, apresentando concentrações significativas em metais raros. As soleiras intruem preferencialmente o granito porfiróide biotítico, sin-orogénico, normalmente designado por *Granito da Guarda*, não obstante serem conhecidos vários casos em que as rochas encaixantes da mineralização integram o conjunto de fácies tardi-orogénicas de duas micas e granularidade grosseira, como as denominadas por *Granito da Quinta do Lagedo* e *Granito de Fráguas-Pena Lobo*. Neste contexto, cabe salientar o facto das estruturas ricas em estanho se desenvolverem preferencialmente na proximidade da cúpula aflorante do *Granito de Fráguas-Pena Lobo* e/ou em níveis estruturalmente abaixo dos que contêm as soleiras litiníferas, as quais prevalecem claramente nos domínios mais afastados daquela fácies granítica tardi-orogénica (Fig. 3). As implicações metalogenéticas decorrentes desta zonalidade regional são abordadas no trabalho de Ramos *et al.* (1994), cuja leitura se recomenda vivamente.

As estruturas mineralizadas desta região apresentam uma textura mista, resultante da coexistência entre fases aplítica e pegmatítica, cuja importância relativa varia significativamente de soleira para soleira. A *fase pegmatítica* caracteriza-se pela sua granulometria grosseira e paragénese geralmente composta por cristais sub-idiomórficos de feldspato potássico e agregados de quartzo, aos quais se associa com frequência albite, moscovite e lepidolite. A *fase aplítica* envolve e intrui por vezes a fase pegmatítica, ou dispõe-se preferencialmente ao longo de um dos encostos da soleira; apresenta granulometria fina, sacaróide, e é constituída essencialmente por albite, quartzo, mica branca ou mica litinífera. Convém ainda salientar que, face à composição mineralógica e química, é possível agrupar as soleiras aplito-pegmatíticas em três tipos fundamentais, a saber:

1 - *soleiras estaníferas*: representam o tipo geoquimicamente menos evoluído, caracterizado por concentrações baixas em Li, Rb e elementos afins, e teores significativos em Sn, Nb e Ta. A associação mineralógica essencial consiste em quartzo, feldspato potássico, albite e moscovite.

2 - *soleiras litiníferas*: representam o tipo geoquimicamente mais evoluído, caracterizado por teores elevados em elementos incompatíveis como o Li e Rb, frequentemente associados a concentrações significativas em Sn, Nb e Ta. A paragénese essencial compreende quartzo, albite, feldspato potássico, lepidolite e moscovite mais ou menos litinífera.

3 - *soleiras estano-litiníferas*: tratam-se de estruturas que, de modo geral, estabelecem a transição entre as tipologias precedentes.

O zonamento interno das soleiras é, com alguma frequência, complexa. De acordo com Ramos *et al.* (1994), esta caracteriza-se

(...) "*pela alternância de bandas centimétricas ou decimétricas com composição, cor e textura diferentes. Estas bandas dispõem-se em geral paralelamente aos encostos. Outras vezes dispõem-se concêntricamente envolvendo nódulos de lepidolite de granulado fino.*

As zonas são muitas vezes definidas pela alternância de horizontes ricos em lepidolite com outros onde a albite, o quartzo e a mica branca predominam.

Noutros casos a zonação é definida pela alternância de bandas aplíticas com lepidolite, centimétricas, que alternam com outras também lepidolíticas que apresentam textura pegmatítica. Ainda noutros casos ocorrem bandas centimétricas com textura pegmatítica dispostas paralelamente aos encostos da soleira, ricos em lepidolite, e dispendo-se os cristais de lepidolite (com 1 a 2 cm de diâmetro) orientados sub-paralelamente e perpendicularmente aos encostos. Estas bandas alternam com outras em que o quartzo e albite são largamente predominantes e podem ocorrer a tecto ou a muro da soleira. O bandado pode tornar-se incipiente lateralmente e desaparecer completamente passando a soleira a ter uma textura maciça.

Duma maneira geral podemos dizer que a maior parte das soleiras zonadas são do tipo litinífero, não sendo os aspectos mais complexos observados em pegmatitos do tipo estanífero.

A intrusão das soleiras aplito-pegmatíticas induziu o desenvolvimento de bandas de metassomatismo ao longo dos contactos com as diferentes fácies graníticas que as encaixam. Estas, apresentam espessura média variável entre os 5 e 20 cm e compreendem uma série de transformações químico-mineralógicas a saber:

- a) nítido endurecimento da rocha granítica, devido à deposição intensa e tardia de quartzo, frequentemente acompanhado por recristalização de albite e feldspato potássico;
- b) desferrização da biotite primária acompanhada por incorporação de lítio, dando origem a uma biotite litinífera (*zinnwaldite*); e
- c) cristalização de turmalina, localmente complementada por berilo.

2.2.1 Questionário

1 - Caracterize do ponto de vista mineralógico e textural as amostras da presente colecção que tipificam as litologias encaixantes das soleiras aplito-pegmatíticas de Seixo Amarelo.

2 - A amostra SA-1 representa o minério litinífero maciço. Recorrendo ao exame macro e microscópico do exemplar e respectiva lâmina delgada polida, diga qual a paragénese mineral característica deste pegmatito.

3 - Observe atentamente a amostra SA-2. Identifique os minerais que acompanham o quartzo, atendendo às suas características macroscópicas e propriedades ópticas. Com base na observação da lâmina delgada polida, estabeleça a cronologia entre os silicatos constituintes da matriz.

4 - Caracterize texturalmente e mineralogicamente as amostra de pegmatito referenciadas por SA-4 e 120.

5 - Caracterize do ponto de vista mineralógico e textural a banda de metassomatismo apresentada pelo granito encaixante do veio pegmatítico, representado pela amostra SA-5.

6 - Imagine que as amostras SA-1 a SA-5 representam diferentes partes de uma mesma soleira zonada. Faça um esquema das possíveis zonas da referida soleira e referencie a localização de cada amostra nesse esquema.

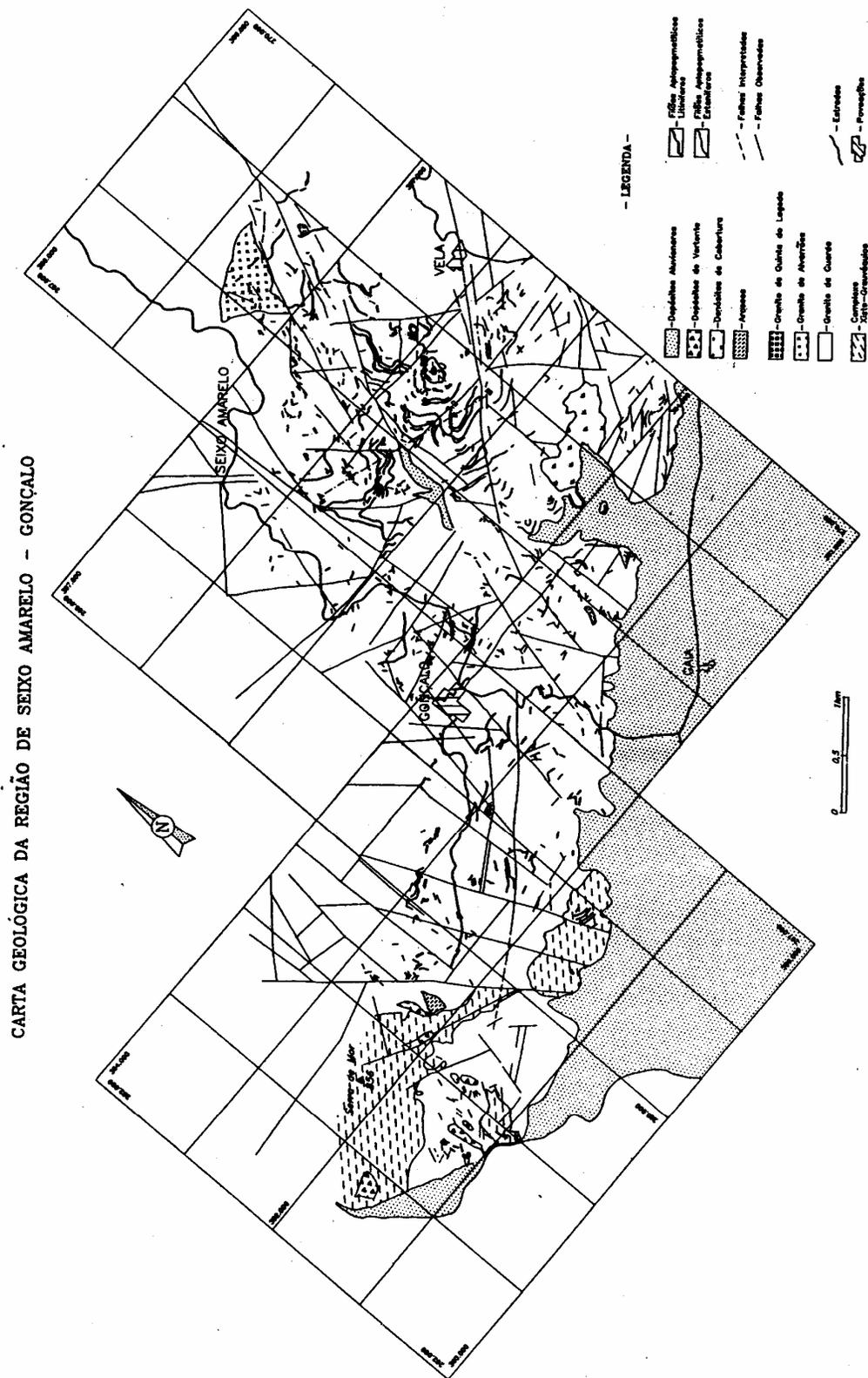


Figura 3 – Mapa geológico da região Seixo Amarelo – Gonçalo (Ramos et al., 1994)

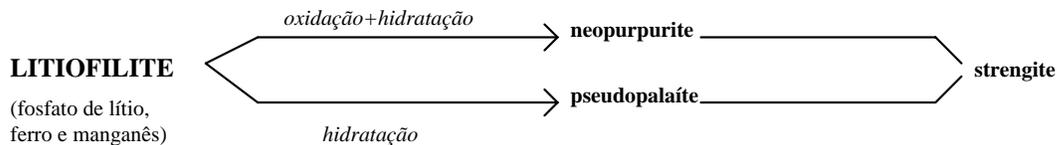
2.2. Os pegmatitos mangano-litíferos de Mangualde

O campo pegmatítico de Mangualde desenvolve-se preferencialmente no seio de granitos sin-orogénicos de duas micas e granularidade média a grosseira, muito embora alguns filões mais possantes ocorram na proximidade dos contactos com as fácies graníticas porfiróides ou rochas sedimentares ante-Ordovícicas.

Os filões pegmatíticos exibem possança muito variável (de alguns centímetros a metros) e formam diques subverticais, assim como bolsadas irregulares de onde irrompem numerosas apófises.; note-se, porém, que quando a litologia encaixante é o granito de duas micas (predominando a moscovite), os pegmatitos apresentam granularidade mais fina e aparentam resultar da acção de fenómenos metassomáticos - estas estruturas não são, por norma, objecto de exploração mineira. De entre os pegmatitos aflorantes neste sector, salientam-se os de natureza mangano-litínifera em virtude da sua variabilidade mineralógica e importância económica, não obstante a lavra mineira se encontrar actualmente desactivada. As estruturas deste tipo desenvolvem-se numa área relativamente restrita entre Mangualde e Mesquitela e deram origem a várias explorações, como as denominadas por Chão do Castanheiro, Cabeço do Seixo, Regada e Rochel. Para facilmente se ter uma ideia geral da paragénese que, de modo geral, caracteriza os pegmatitos mangano-litíniferos, organizou-se o quadro seguinte (adaptado do trabalho pioneiro de Mário de Jesus, 1933):

Minerais Essenciais		Ortose, quartzo, albite, moscovite.
	<i>Silicatos</i>	heterofilite, berilo, turmalina, brandãosite, mullerite, mesquitelite.
Minerais Acessórios	<i>Fosfatos</i>	litiofilite, mangualdite, triplite, metatriplite, neopurpurite, pseudopalaíte, strengite, fluorfosfato de Mg e Ca, torbernite.
	<i>Sulfuretos</i>	arsenopirite, molibdenite, esfalerite, calcopirite, pirite.
	<i>Oxidos/Hidróxidos</i>	cassiterite, hidróxidos de Fe e Mn.

Uma leitura geral do quadro, revela de imediato a importância relativa das espécies fosfatadas, em particular as de natureza mangano-litínifera, sejam elas primárias, ou o resultado da sua alteração via processos tardios de oxidação/hidratação, como por exemplo:



A título complementar note-se que:

- *heterofilite*, designa a variedade de biotite rica em manganês;
- *brandãosite*, designa uma granada da série almandina-espessartite bastante empobrecida em Al_2O_3 que geralmente ocorre associada à heterofilite;
- *mesquitelite*, designa uma variedade siliciosa de montmorilonite que, tal como a mullerite, resulta da alteração tardia da ortose; e a
- *mangualdite*, designa uma variedade de apatite rica em manganês, particularmente abundante nas estruturas pegmatíticas ricas em heterofilite \pm brandãosite.

Acresce referir, por último, que os sulfuretos ocorrem sempre em quantidades muito pequenas, por vezes negligenciáveis, e que a cassiterite, quando presente, se associa preferencialmente a pegmatitos ricos em litiofilite. Os interessados deverão consultar o trabalho de Mário de Jesus (1933) para informações detalhadas.

2.2.1 Questionário

7 - Escreva as fórmulas químicas dos minerais constantes no quadro da página anterior, recorrendo para o efeito ao Manual de Mineralogia de Dana.

8 - As amostras 145, 150, 121, 136 constituem porções representativas dos pegmatitos económicos de Mangualde. Identifique os minerais mais abundantes, justificando concisamente a sua resposta.

9 - A amostra 199 compreende alguns dos sulfuretos que normalmente ocorrem no seio dos pegmatitos mangano-litíferos de Mangualde. Identifique-os.

10 - Como designa o mineral de alteração que ocorre de forma disseminada na amostra 142?

11 - Se o campo pegmatítico de mangualde incluir filões mineralizados do tipo complexo com lepidolite semelhantes aos observados em Seixo Amarelo, esperaria encontrá-los em zonas mais proximais ou mais distais do sistema? Justifique a sua resposta e ilustre-a com auxílio de um esquema adequado.

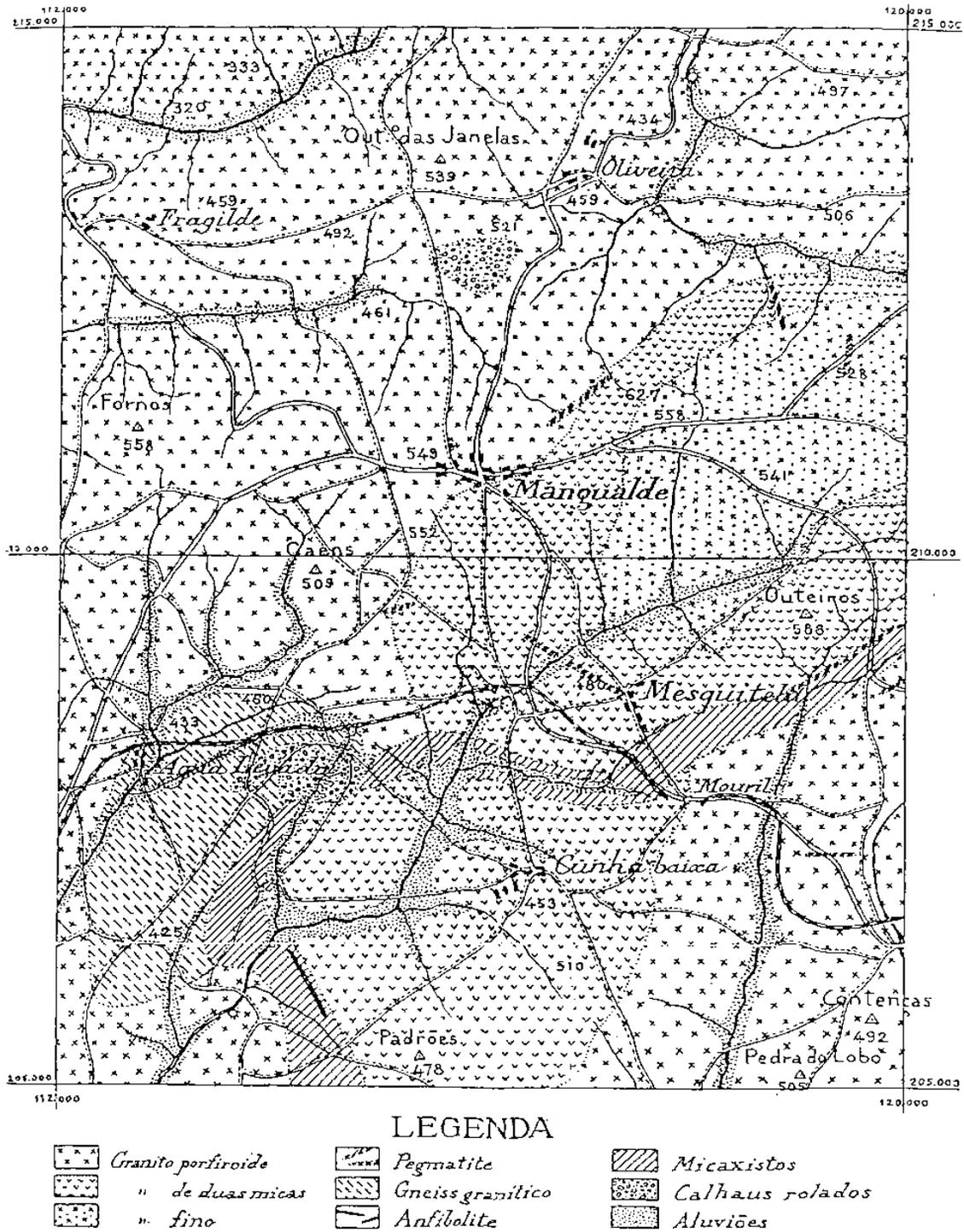


Figura 4 – Mapa geológico da região de Mangualde (Mário de Jesus, 1933)

3. Bibliografia recomendada

Cerny, P. (1991a) Rare-element granitic pegmatites. Part I: Anatomy and internal evolution of pegmatite deposits. *Geoscience Canada*, **18**, 49-67.

Cerny, P. (1991b) Rare-element granitic pegmatites. Part II: regional and global environments and petrogenesis. *Geoscience Canada*, **18**, 68-81.

Leal Gomes, C. (1995) - Discriminação do espectro de recursos base associados à evolução granítica residual no campo filoniano de Arga - Minho - N Portugal. Estudos, Notas e Trabalhos, I.G.M., 37, pp. 59 - 86.

Mário de Jesus, A. (1933). Pegmatites mangano-litíferas da região de Mangualde. *Comun. Serv. Geol. de Port.*, **XIX**: 65-210.

Ramos, J.F.; Ribeiro, A.; Barriga, F.J.A.S. (1994). Mineralizações de metais raros de Seixo Amarelo - Gonçalo (Guarda). *Bol.Minas*, **31**: 101-115.

4. Outras referências citadas

Mateus, A. e Noronha, F. (2001). Late-variscan crustal uplift of the Iberian Terrane as a response to isostatic rebound; implications for the brittle-ductile transition, fluid circulation and metallogenesis. *Fac. de Ciências do Porto, Dep. Geol., Memória* **7**, 295-298.

Link: <http://www.pegmatology.com/>

Anexo – Tabela dos principais minerais em pegmatitos explorados como gemas

Mineral	Gemas	
Corindo (Al)	Safira: azul, outras cores excepto vermelho Rubi: vermelho	Fe-Ti Cr, Fe
Berilo (Be)	Esmeralda: verde, azul Água Marinha: azul-verde claro Heliodoro: amarelo Morganite: rosa Goshenite: incolor	Cr, Fe Fe ²⁺ , Fe ³⁺ Fe-O Mn
Escapolite (Cl)	Escapolite: amarela	
Feldspato (Si, K, Na, Ca)	Amazonite: verde, azul Labradorite: jogo de cores (pedra da lua)	Pb
Granada	Demantoid: andradite verde Uvarovite: verde Tsavorite: grossularia verde Spessartina: laranja Almandina: vermelho-violeta Malaia: variação de cor	Cr Cr Cr Mn Fe V
Piroxena	Espodumena: rosa-púrpura	Li
Quartzo (Si)	Ametista: púrpura Citrino: amarelo, laranja, castanho Fumado: preto Aventurina: verde Rosa: rosa	Fe Fe Al micas Ti
Turmalina (B)	Elbaite: rosa – verde, bicolor-“melancia” Verdelite: verde Rubelite: rosa – vermelha Indicolite: azul Achroite: incolor Schorl: preta Dravite: castanha	Li Fe-Mn
Topázio (F)	Topázio Imperial - laranja Topázio: azul, amarelo, castanho, rosa e vermelho (muito raro).	
Zircão (Zr)	Zircão: castanho, amarelo, rosa, incolor	Zr
Zoizite (Ca, Al)	Tanzanite: violeta-azul	V