

## *Subsídios para uma Sistemática dos Jazigos Minerais e Minérios de Lítio de Portugal*

Carlos Leal Gomes e Patrícia Dias

*Lab2PT – Universidade do Minho Gualtar, 4710-57 Braga Portugal*

*Email: carloslealdb@gmail.com*

*Palavras chave:* Minério de lítio, Aplito, Pegmatito, Cintura Pegmatítica Centro Ibérica.

### RESUMO

Em território português os depósitos minerais de Li são de tipo porfírico, pegmatítico, e aplito – pegmatítico e estão relacionados, genética ou espacialmente, com granitos. Do ponto de vista geográfico distribuem-se sobretudo pela porção N do território onde abundam os granitos.

As principais condicionantes da morfometria dos aplito-pegmatitos exo-graníticos são estruturais e decorrem da evolução tectónica entre a segunda e a terceira fases de deformação Varisca (D2 a D3) e da sua interferência com a implantação dos granitos. A assinatura pegmatítica LCT com mineralizações de Li prevalece numa grande diversidade de condições de implantação intermédias, Sin-D2 a Tardi-D3, relacionando-se com linhagens graníticas metaluminosas a peraluminosas (tipo S ou híbridas) de duas micas a essencialmente biotíticas. Estes pegmatitos podem atingir grandes dimensões e evidenciam uma metalogénese complexa sugerindo a possibilidade de desenvolvimento de jazigos minerais polimetálicos e poliminerálicos com minerais de Li por vezes abundantes (até 20% modal, no caso da petalite) e ainda, nióbio-tantalatos, cassiterite, volframite, berilo e minerais de T. R..

Na Cintura Pegmatítica Centro Ibérica (CPCI) a petalite pode ser um mineral cardinal, sobretudo em pegmatitos alojados em rochas encaixantes metassedimentares Silúricas perante anomalias térmicas geradas por dissipação de calor a partir dos plutonitos graníticos.

Nesses terrenos metamórficos, os mesmos campos de tensões de D2 a D3 são determinantes da morfoscopia e morfometria dos aplito-pegmatitos.

Combinando estudos de petrofabric efetuados em vários pegmatitos petalíticos e/ou protopetalíticos – Formigoso e Bouça do Carvalhal (Serra de Arga), Queiriga (V. N. de Paiva), Seixoso (Amarante) e Beça (Montalegre) - verificou-se generalizadamente uma sucessão de estádios de conversão isoquímica da petalite em espodumena e subsequente evolução em sistema aberto.

Atendendo ao equilíbrio paragenético com os feldspatos e à lixiviação de álcalis no decurso da argilização supergénica, o valor máximo de 2.5% de  $\text{Li}_2\text{O}$  em rocha total pode ser considerado uma barreira geoquímica imposta pelo determinante petalítico primário sendo, portanto, o valor máximo que é de esperar nestes aplito-pegmatitos exo-graníticos. Outrossim, valores de  $\text{Li}_2\text{O} > 0.5\%$  indiciam uma possível ocorrência da petalite num aplito-pegmatito. Os Terrenos que hospedam os campos filonianos mineralizados mais significativos são Para-autóctones a Alóctones muitas vezes com uma idade de referência, Silúrica – na Serra de Arga a Vieiros e Seixoso (SA) e em Trás-os-Montes Ocidental. Os maiores volumes de aplito - pegmatitos situam-se em junções triplas e nós dilatacionais em redes de cisalhamento que afetam terrenos Silúricos.

No caso dos pegmatitos da região da Guarda e outros similares, com encaixante granítico, a totalidade do potencial litínífero que lhes é atribuído só será recuperado, no decurso de uma eventual extração, se além das caixas pegmatíticas propriamente ditas também forem recuperadas as faixas de zinwalditização dos granitos que lhes são contíguas.

Quanto às características naturais mais prováveis dos depósitos litíníferos que podem vir a ser considerados económicos, os minérios mais interessantes, a dimensão útil e os teores significativos, correspondem a 7 tipos e 4 subtipos LCT, cuja compleição está confirmada e sugeridos os níveis de exposição topográficos e estruturais para cada caso. A expansão em profundidade dos indicadores de massas de pegmatitos e de mineralizações de Li não devem ter grande expressão nem importância. Na CPCI, em coerência com um maior desenvolvimento das estruturas de transporte tagencial a expansão mais significativa dos depósitos é lateral e tendencialmente subhorizontal.

## INTRODUÇÃO

Em conjuntos pegmatíticos do N de Portugal, a discriminação de especializações metalíferas Li, Cs e Ta (LCT) *versus* Nb, Y e F (NYF) (designações de Cerny e Ercit, 2005), pode ser deduzida de minerais tipomórficos e elementos indicadores e em contexto Varisco, tais especializações podem ser encaradas como assinaturas de enquadramento geotectónico e filiação. As principais condicionantes da morfometria dos corpos exo-graníticos são estruturais e decorrem da evolução tectónica Varisca, entre a segunda e a terceira fases de deformação (D2 a D3) (Leal Gomes, 1994 e Dias & Ribeiro, 1995) e sua interferência com a implantação dos granitos.

Em contexto intragranítico, e ao longo de corredores de realimentação magmática, a mistura recorrente de diferenciados básicos com produtos graníticos residuais, incrementa o potencial de geração de pegmatitos através da transferência e adição de constituintes voláteis e mineralizadores no sentido dos compósitos magma/fluido mais evoluídos (Leal Gomes & Lopes Nunes, 2003).

De acordo com Leal Gomes (2005) o carácter NYF verifica-se em corpos precoces, com implantação afetada pela 2ª

fase Varisca de deformação (D2). Estes pegmatitos podem ser ultra-aluminosos (com crisoberilo e/ou corindo e raramente topázio), não apresentam minerais de Li e quando têm altos conteúdos de Ta o mesmo expressa-se sob a forma de tapiolite que é rara.

Posteriormente, a feição NYF repete-se nos pegmatitos implantados já em situação pós-tectónica relativamente à 3ª fase Varisca (D3). Estes são inequivocamente de tipo NYF, estão filiados em granitos de tipo I com marcada tendência subcalina e estão afetados em “subsolidus” por fenómenos de amazonitização e enrubescimento das pertites, próprios de ambientes de génese miarolítica já indicadores de “uplifting” ou exumação e implantação epizonal. Trata-se de pegmatitos tabulares muito pouco possantes com xenotima e fluorite.

A assinatura LCT cobre uma grande diversidade de condições de implantação intermédias, Sin-D2 a Tardi-D3, relacionando-se com linhagens graníticas metaluminosas a peraluminosas (tipo S ou híbridas) de duas micas e essencialmente biotíticas. Estes pegmatitos podem atingir grandes dimensões e evidenciam uma metalogénese complexa sugerindo a possibilidade de desenvolvimento de jazigos minerais polimetálicos e poliminerálicos com minerais de Li, por vezes abundantes (até 20% modal, no caso da petalite), nióbio-

tantalatos, cassiterite, volframite, berilo e minerais de T. R (fig. 1).

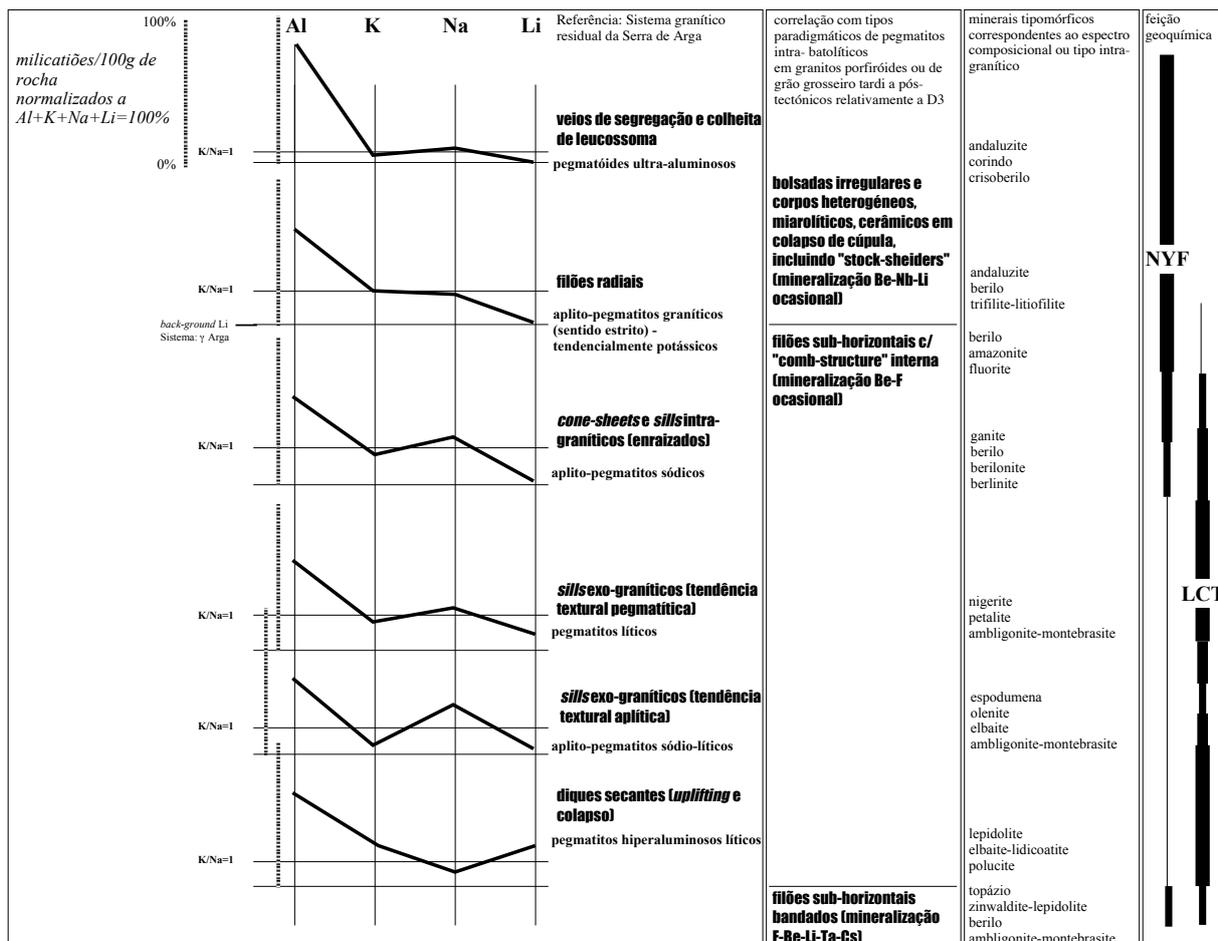
Por vezes um mesmo pegmatito apresenta paragêneses das duas feições geoquímicas (LCT, NYF) em unidades correspondentes a estados de fracionamento distintos mas cogenéticos. É o caso das bolsadas intragraníticas de morfologia irregular mas de grande dimensão. Os depósitos correspondentes além de quartzo, feldspatos e micas podem conter berilo, molibdenite e Nb-tantalatos. Os minerais de Li tendem a ser pouco abundantes a restringir-se à classe dos fosfatos que ocorre sob a forma de unidades zonais situadas entre as zonas intermédias e os núcleos de quartzo.

Recorrendo ao sistema de caracterização geoquímica de rochas granitóides através de variáveis multicatiónicas, em Leal Gomes (1994) é sugerido um sistema de

normalização geoquímica das composições dos aplito-pegmatitos (para análises de amostras de rocha total obtidas em canal transverso) cuja aplicação pode ser generalizada a quaisquer conjuntos de corpos pegmatíticos com litologias homogêneas (corpos não internamente zonados e sem gigacristais).

Na figura 1, em que se normalizam as composições químicas de aplito-pegmatitos a 100% do somatório de milicatiões alcalinos significativos por 100g de rocha, é possível verificar que os espectros de normalização têm eficácia tipológica e permitem discriminar aplito-pegmatitos LCT de diferentes feições químico-mineralógicas. Nesta aproximação (Leal Gomes, 1994)  $Li_2O$  é considerado como um óxido de metal alcalino principal.

FIGURA 1



Espectros químico-mineralógicos obtidos recorrendo à normalização a milicatiões por 100 g de rocha dos óxidos de componentes principais Al, K, Na e Li. São condições de normalização a estequiometria dos minerais: albite, ortose e o silicato anidro de Li, petalite. Foram consideradas 66 composições.

Dado que os silicatos de Li anidros são aqui entendidos como minerais cardinais, sendo ao mesmo tempo minérios de Li, os mesmos espectros permitem referenciar as fácies com potencial interesse litinífero. São aquelas, que embora homogêneas, têm tendência textural pegmatítica:

- exo-graníticas litínicas – com predominância de silicatos de Li anidros;

- exo-graníticas a endo-graníticas hiperaluminosas litínicas – com predominância de filossilicatos de Li.

Ainda nos diagramas da mesma figura 1 é claramente perceptível que a especialização e a mineralização litinífera (LCT) são mais importantes no caso dos pegmatitos e aplito-pegmatitos exo-graníticos. Conjugando esta constatação com os resultados de Leal Gomes e Lopes Nunes (2003) e Leal Gomes (2005) os pegmatitos exo-graníticos, por sua vez mais interessantes, são os que estão hospedados em terrenos metassedimentares especialmente os que são considerados Silúricos.

### Classificação dos minerais de Li - abundância relativa e atributo tipológico para os corpos aplito-pegmatíticos

No caso da Província Pegmatítica Varisca os silicatos de Li anidros são minerais cardinais dos aplito-pegmatitos da mesma forma que a albite, a ortoclase e o quartzo (Leal Gomes, 1994).

Tal como o elemento volátil F, o metal alcalino Li, pode ser considerado como um elemento depressor do liquidus magmático e só a partir da sua expressão como silicato anidro, deixa de influenciar o processo de cristalização retardada. Foi assim definido em Leal Gomes (1994), o limiar petalítico, a partir do qual, geoquimicamente, ocorrem inflexões nas tendências evolutivas primárias, que têm expressão vetorial nos diagramas químico mineralógicos (ortose ± albite ± quartzo ± espodumena ou petalite = 100%). Isto significa que tal como ortose, albite, quartzo, os silicatos anidros de Li podem ser minerais magmáticos típicos e também minerais cardinais como é pressuposto ao admitir a tipologia patente na figura 1, a qual se tem revelado funcional em todas as incidências em que foi aplicada (contextos com evidência de cristalização retardada e depressão de liquidus).

Na Cintura Pegmatítica Centro Ibérica a petalite é um mineral cardinal, sobretudo para pegmatitos alojados em

contextos metassedimentares Silúricos, com anomalias térmicas geradas por dissipação de calor a partir de plutonitos graníticos. Isto sucede pois a blastese cordierítica, que é própria deste metamorfismo, impõe condições de acolhimento dos diferenciados, ainda magmáticos e especializados em Li, no domínio de estabilidade adequado à cristalização da petalite (fig. 2). Só a regressão posterior leva a uma transição “subsolvus” ainda viável no interior dos aplito-pegmatitos, expressando-se espodumena e quartzo após a petalite.

Condições de cristalização verdadeiramente pegmatíticas prevalecem em meios onde estão em presença múltiplas frações, tais como magma, fluido, gels, “mushes” e “clusters” cristalinos, que acolhem a partilha de constituintes de acordo com as constantes de repartição específicas para cada interface.

Estas condições verificam-se já posteriormente à expressão da petalite e permitem, elas sim, a geração de verdadeiras estruturas heterogêneas zonadas, no interior dos pegmatitos. Aqui, espodumena e ambligonite-montebrasite são considerados os minerais representativos da próxima transição de estado, a qual envolve o aparecimento de soluções hidrotermais verdadeiras através de uma imiscibilidade fluida extensiva, que possui potencial autometassomático. Podem formar-se em condições de “subsolvus”, paragêneses com lepidolite ± ambligonite-montebrasite as quais podem ser encaradas como equivalentes petrogenéticas da deposição de eucryptite em condições magmáticas mais típicas (fig. 2) (Leal Gomes, 1994).

FIGURA 2

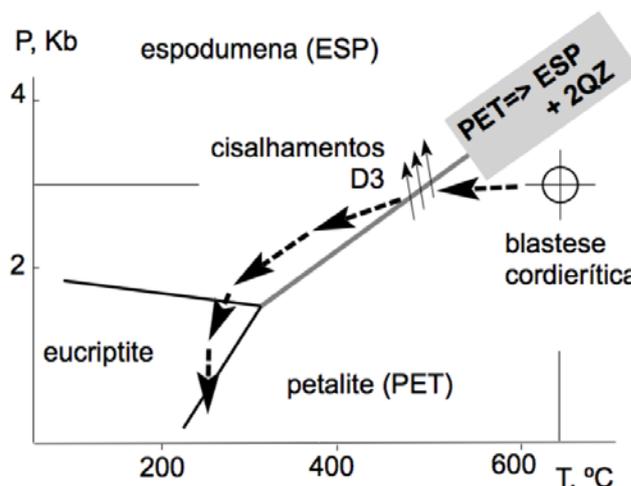


Diagrama de equilíbrio dos aluminossilicatos de Li com incorporação da tendência de fraccionamento e equilíbrio principal em subsolvus.

### **Distribuição regional dos jazigos minerais de Li de Portugal**

Além de condicionar a colocação de granitos, a evolução Varisca produz uma sobreposição tectonogénica de terrenos alóctones e para-autóctones em resultado do transporte tangencial em cavalgamentos de primeira ordem sobre domínios autóctones. Em todos estes terrenos ocorrem conjuntos pegmatíticos e rochas granitóides especializadas em Li.

Como atrás ficou dito, a estruturação interna da Cadeia Varisca Ibérica evidencia três fases principais de dobramento (D) também referenciadas como fases de deformação principais:

- 1ª fase (D1), marcada pela geração de dobras e de uma superfície metamórfica, ou clivagem de plano axial estabelecida em regime tectonometamórfico dúctil;

- 2ª fase (D2), caracterizada pela geração de dobras deitadas e cavalgamentos sub-horizontais, com transporte tectónico significativo, laminando as estruturas anteriores, especialmente nos flancos inversos das dobras;

- 3ª fase (D3), com geração de dobras com planos axiais subverticais, subparalelos ao Arco Ibero-Armoricano, ocasionalmente produzindo uma superfície metamórfica, xistosidade de fluxo e de plano axial, muito inclinada a vertical.

As relações genéticas e estruturais entre os pegmatitos e os diversos elementos que configuram a Orogénese Varisca no NW de Portugal fundamentam o Conceito de Província Pegmatítica Varisca (Leal Gomes, 1994). Trata-se de uma divisão de primeira ordem em que se incluem, em hierarquia decrescente, as divisões: cinturas, campos, enxames, grupos, pares e corpos pegmatíticos (unidades elementares), seguindo a sistemática e a nomenclatura do esquema de distribuição regional proposto em Cerny (1982).

Usando a compartimentação do Maciço Ibérico de Lotze (1945), modificada por Julivert *et al.* (1974) e Farias *et al.* (1987), as unidades tectonoestratigráficas onde se alojam ocorrências pegmatíticas potencialmente produtivas em Li, correspondem à Zona Centro Ibérica (ZCI) e à Zona de Galiza e Trás-os-Montes (ZGTM) (fig. 3). No entanto, os pegmatitos e/ou aplito-pegmatitos LCT – especializados e mineralizados em Li, Cs e Ta - encontram-se em geral relacionados com a evolução metamórfica, magmática e estrutural da ZCI, facto a que na referida hierarquia de Cerny (1982) se ajusta o conceito de Cintura (fig. 4). Surge

assim a Cintura Pegmatítica Centro-Ibérica (CPCI), tal como é definida em Leal Gomes (1994) e Leal Gomes & Lopes Nunes (2003).

Ainda segundo os mesmos autores, a CPCI comporta uma grande diversidade de tipos composicionais e estruturais de pegmatitos que abrange todo o âmbito da diversidade composicional discutido em Cerny & Ercit (2005).

Em Leal Gomes & Lopes Nunes (2003) (fig. 5) são delineadas as trajetórias planolineares e megaescalares mais importantes da estruturação da CPCI as quais representam: atitudes de enxames filonianos aplito-pegmatíticos, alongamentos de plutonitos granitóides especializados em Li ou com mineralização específica, alinhamentos de bolsadas e corredores com pegmatitos portadores de expressão mineralógica de Li.

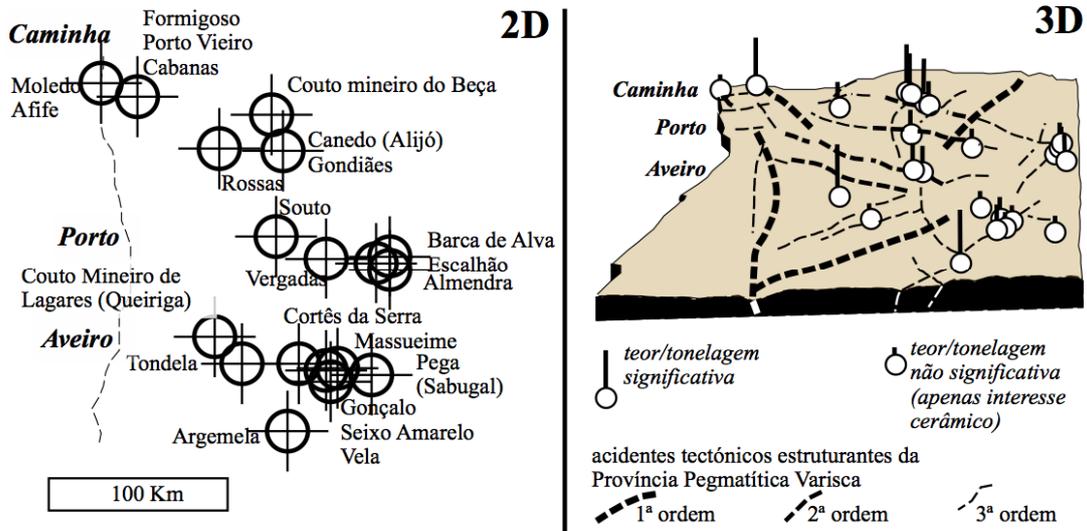
Estas e também várias outras estruturas de afinidade Varisca, de alguma forma, controlaram ou influenciaram a génese e evolução de pegmatitos, aplito-pegmatitos e leucogranitos.

### **Modelos conceptuais de implantação de pegmatitos**

De acordo com Brisbin (1986) a posição, a forma, a orientação e, em certa medida, o tamanho dos corpos pegmatíticos são controlados por uma complexa interação, observada na altura da intrusão, entre a pressão dos fluidos pegmatíticos, o estado reológico da rocha hospedeira, as tensões vigentes, litostáticas e dirigidas, a pressão porosa, as anisotropias das litologias encaixantes e as direcções dilatacionais.

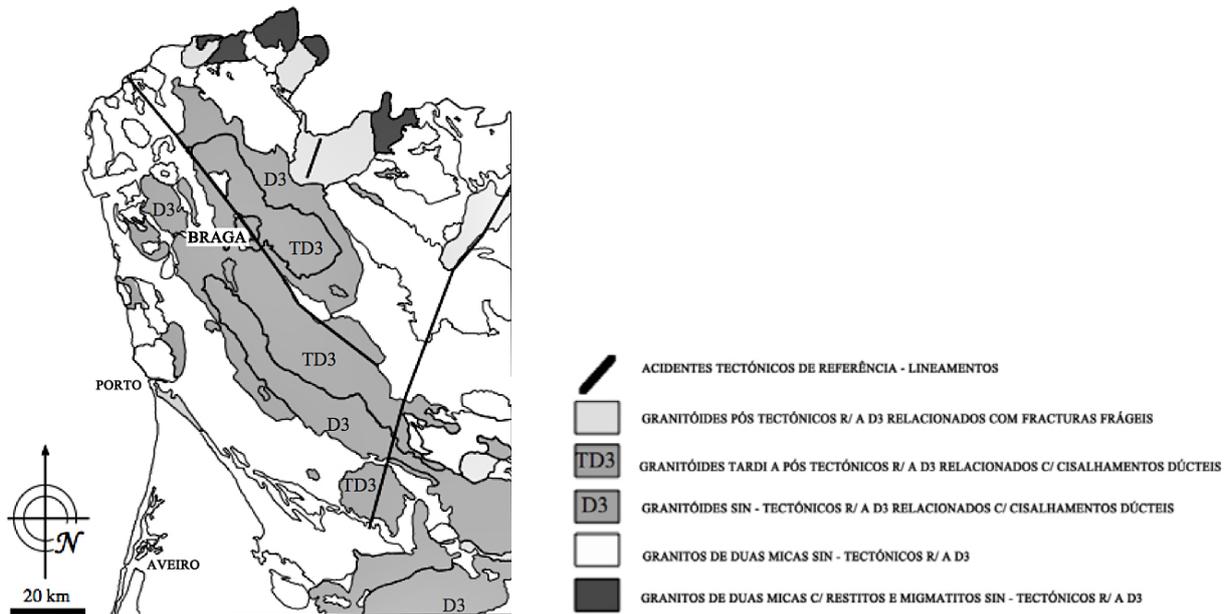
Na Crusta superior, onde prevalecem condições frágeis, a combinação de tensões litostáticas e dirigidas com as anisotropias de resistência à deformação tais como, fraturas, clivagens, xistosidades, ou estratificações, originam várias direcções preferenciais de resistência mínima. Os pegmatitos ocorrentes nestas condições tendem a ser tabulares e apresentam orientação preferencial, normal àquelas direcções.

FIGURA 3



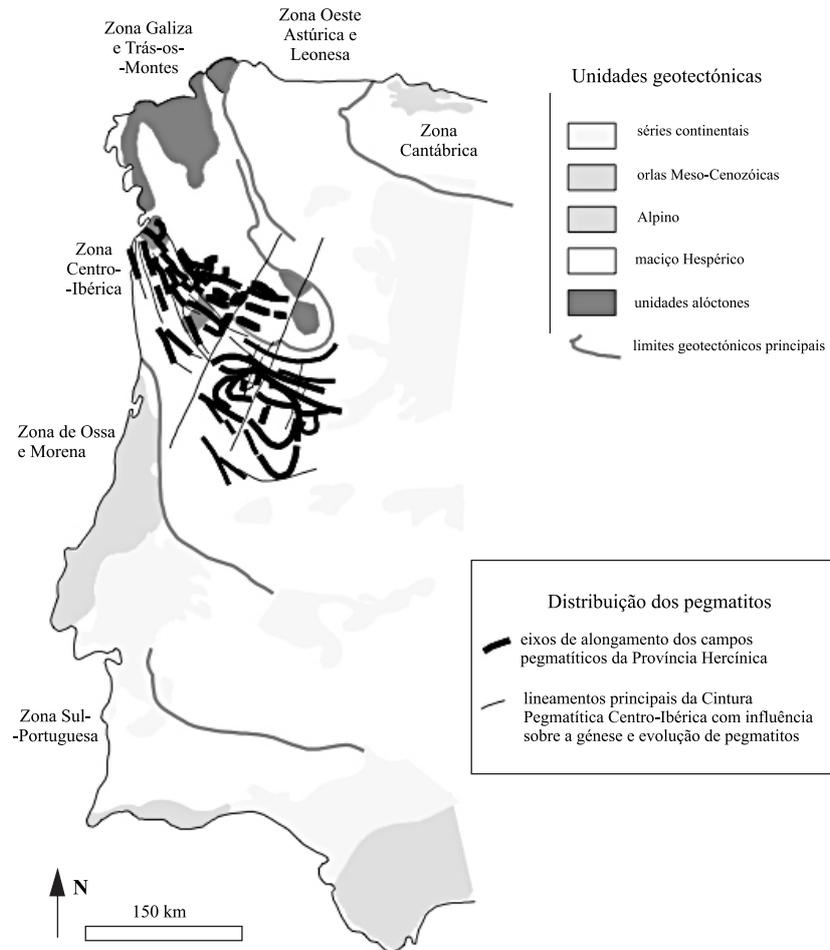
Principais jazigos de quartzo, feldspato e minerais de Li cerâmicos (N de Portugal) encarados também como fulcros de prospeção pontual de minérios de Li metálico, localizados em terrenos da Zona Centro-Ibérica e da Zona Galiza – Trás-os-Montes.

FIGURA 4



Granitos e atitudes de lineamentos tectónicos responsáveis pela estruturação da Província Pegmatítica Varisca (PPV) e Cintura Pegmatítica Centro-Ibérica (CPCI).

FIGURA 5



Trajetórias estruturais da CPCI, de acordo com Leal Gomes & Lopes Nunes (2003).

Em níveis mais profundos da crosta, ou em contexto intra-granítico não totalmente consolidado, as intrusões pegmatíticas assumem morfologias mais irregulares.

A modificação das formas e atitudes dos pegmatitos pode ser interpretada usando modelos teóricos desenvolvidos para as diferentes combinações dos fatores referenciados. Hipoteticamente, as atitudes e posanças dos filões variam sobretudo em função de variações dos campos de tensões locais e da sua relação angular com anisotropias de acolhimento.

Os modelos conceptuais de Philips (1972, 1974) e Roberts (1970), explicam a colocação de cortejos filonianos em torno de stocks plutônicos circunscritos. Estes modelos de referência foram estabelecidos para a sequência de atitudes de filões injetados em ambientes subvulcânicos ou anorogénicos (permissivos e isotrópicos).

Em contextos mais profundos de tipo orogénico, a expansão lateral e a dilatação apical dos plutonitos

parentais ajuda a explicar as geometrias dos pegmatitos – tendencialmente subhorizontais - que atravessam os contactos entre granitoides e formações encaixantes.

Nesta lógica, em posições exo-graníticas distais, os pegmatitos assumem a configuração de “sills” com direções subparalelas ao contacto entre os granitos e as litologias encaixantes e inclinações próximas da horizontal. Em localizações proximais, os corpos pegmatíticos passam a inclinar no sentido do núcleo dos plutões graníticos podendo mesmo verticalizar-se (“sills” proximais, enxames peri-graníticos do tipo “cone-sheet” e filões radiais).

Nos setores proximais, a morfoscopia e morfometria dos pegmatitos é muito influenciada pela gênese e implantação dos granitos. Em posições distais é mais influenciada pelo campo de tensões regionais. A estrutura e metamorfismo das rochas hospedeiras, de tipo metapsamopelítico, condicionam mais as intrusões de menor volume

(corpos pegmatíticos de cariz filoniano) (Leal Gomes, 1994 e Leal Gomes & Lopes Nunes, 2003) influenciando-lhes a forma, dimensão e estrutura interna.

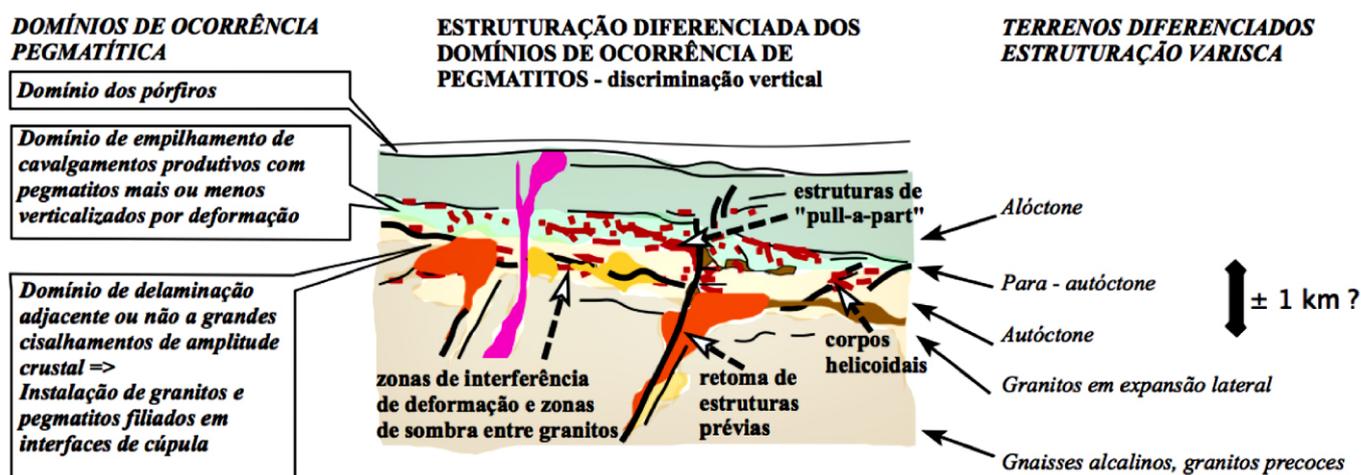
No caso da CPCI (fig. 5 atrás), em hospeiro metamórfico, os diferenciados residuais graníticos foram acolhidos principalmente em estruturas associadas a cisalhamento tangencial (D2) e cisalhamento transcorrente (D2 - D3 - D'3). Este alojamento dos diferenciados deverá ter-se verificado, essencialmente, no intervalo de idades de referência, 330-290 Ma, o qual Azevedo &

Valle Aguado (2006) consideram ser de grande atividade de implantação dos granitos potencialmente parentais.

Nos terrenos metamórficos de médio grau, os mesmos campos de tensões D2 a D3 são determinantes da morfoscopia e morfometria dos aplito-pegmatitos.

Numa generalização ENE – WSW, em perfil transverso às estruturas das figuras 3, 4 e 5, a figura 6 simplifica a disposição dos terrenos e estruturas de acolhimento dos aplito-pegmatitos.

FIGURA 6



Generalização transversal dos domínios de ocorrência pegmatítica na CPCI e, em consequência, dos domínios de localização dos eventuais jazigos de Li pegmatíticos (Leal Gomes, 2018).

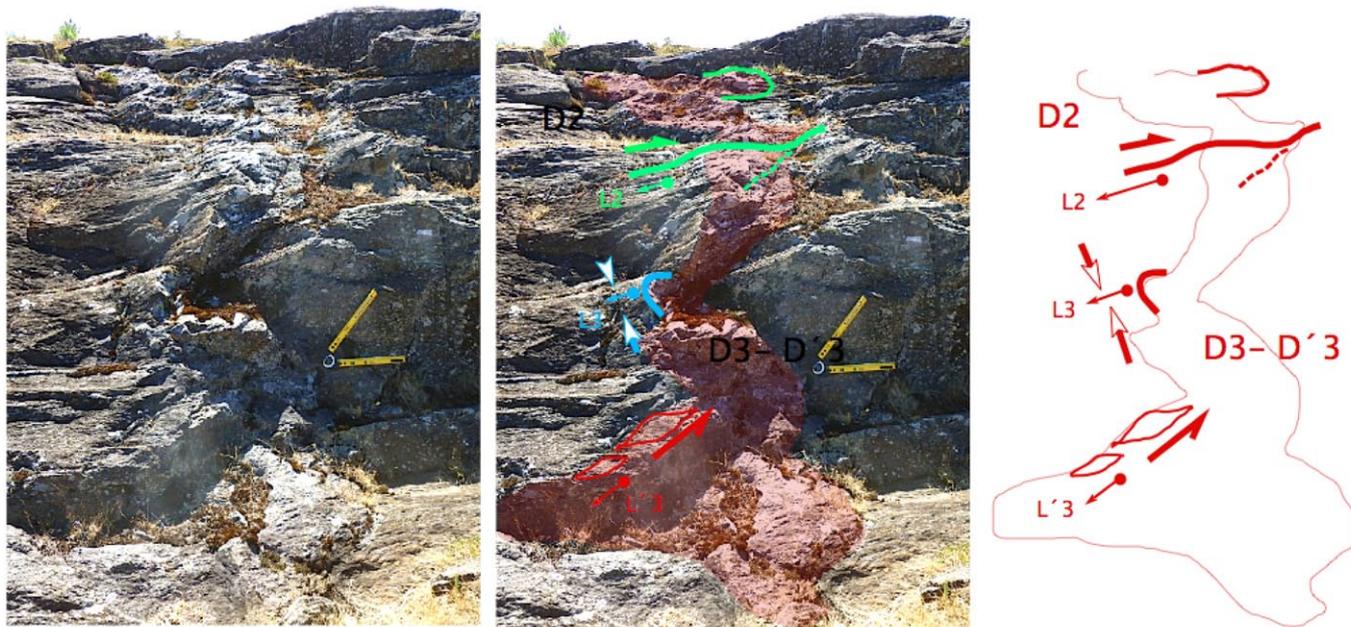
Como também se sugere na fig. 6, a tectónica tangencial, o “pushing-a-side” magmático e a delaminação em contexto peri-granítico apical, em D2 e interfase D2-D3, e o estado de entumescimento - amplificação do “balloning” em contexto intragranítico, em D3-D'3, conjugam-se para que, em geral, os enxames aplito-pegmatíticos que compõem a CPCI possam ter, previsivelmente, uma extensão lateral muito mais proeminente que o desenvolvimento vertical (Leal Gomes, 2018).

À escala do afloramento vários indícios estruturais sugerem a importância de estruturas Variscas precoces relacionadas com o transporte tectónico cavalgante,

no acolhimento de diferenciados pegmatíticos potencialmente portadores de mineralização litínica, particularmente, as estruturas decorrentes da 2ª fase.

A deformação D3, frequentemente, limita-se a retocar descontinuidades prévias por vezes já invadidas por aplito-pegmatitos. Veja-se o exemplo analisado na figura 7.

FIGURA 7



Descontinuidade com evidências de transporte tangencial de baixo ângulo invadida por aplito-pegmatito, por sua vez cisalhado em D2, gerando-se o estiramento L2 (e também “boudins” sigmoidais rodados de eixo subhorizontal). O encurtamento D3 gera dobras de plano axial subvertical e uma lineação de interseção L3 a que se segue em continuidade o deslocamento transcorrente D’3 marcado por estrias e minerais alongados em L’3 (e também “boudins” sigmoidais rodados de eixo subvertical). Estas observações foram efetuadas a N do maciço granítico da Serra de Argema numa zona de sombra face ao achatamento D3.

Na figura 8 ilustra-se uma descontinuidade tectónica localizada a oriente de Viana do Castelo e associada ao desmembramento tangencial de formações do Silúrico e do Devónico.

A descontinuidade colheu um estreito leito de aplito-pegmatito portador de amblygonite-montebrosite.

Na figura 9 ilustra-se uma dobra em bainha deitada (próxima da estrutura expressa na figura 8) a qual indicia transporte tectónico para NE marcado num leito de quartzofilito. Ambas as estruturas (figuras 8 e 9) são atribuídas à fase D2. A porção somital da bainha de quartzofilito, ilustrada na figura 9, também colheu um diferenciado pegmatítico portador de amblygonite-montebrosite.

FIGURA 8



Lado = 2m

Descontinuidade de baixo ângulo nos Verdes – Viana do Castelo, com contacto tectónico entre litologias do SILÚRICO INFERIOR (filitos e metavulcanitos) e do DEVÓNICO (grauvaques) e um estreito aplito-pegmatito a cicatrizar o contacto tectónico.

FIGURA 9



Lado = 2m

Pegmatito alojado em dilatação de charneira de uma dobra em bainha de D2 marcada por quartzofilito e sujeita a posterior deformação tangencial cisalhante em regime dúctil-frágil - talude de Estrada perto do Outeiro, Viana do Castelo.

Na figura 10 um painel de rocha encaixante, mostrando morfologia sigmóide, está alojado entre um leito de leucogranito a aplito (a teto) e um pegmatito catacástico mineralizado em Li (a muro). Evidencia um deslocamento dúctil diferenciado entre as duas frações de rocha, com propriedades reológicas distintas, no seio de uma estrutura de deslocamento tangencial sub-horizontal atribuível a D2.

FIGURA 10



Painel metassedimentar sigmoidal deformado em D2 entre frações distintas de rochas pegmatóides - talude de Estrada perto de Nogueira, Viana do Castelo.

Da análise estrutural anterior decorre que estas estruturas de D2 acolheram de forma eficiente diferenciados aplito-pegmatíticos de tipologia variada. Em muitos casos a deformação D3 limita-se a reformular geometrias em regime dúctil-frágil subsequente.

A figura 11 mostra as relações de instalação dos aplito-pegmatitos em descontinuidades de D2, algumas das quais ainda estão preservadas (a amarelo) e o arqueamento em D3 dos aplito-pegmatitos e superfícies S2, seguido de subsequente cisalhamento associado a uma transcorrência em D'3 (trajetórias a branco).

FIGURA 11



Talude da autoestrada 28 entre Viana do Castelo e Caminha com estruturas de D2 (traços amarelos) que alojam aplito-pegmatitos e efeitos da deformação D3 - D'3 (traços brancos) que modificam a morfologia dos corpos filonianos tornando-os arqueados, boudinados e cisalhados.

### Jazigos minerais de Li

Como consequência da condicionante orogénica Varisca à instalação e evolução dos campos aplito-pegmatíticos que compõem a CPCI, a cartografia temática dos filões de aplito-pegmatitos da região da Serra de Arga, patente em Leal Gomes (1994) e posteriormente confirmada em Leal Gomes (2008), constitui um paradigma representativo da organização das redes filonianas alojadas principalmente em Terrenos Silúricos de feição parautóctone a alóctone. Assim, de acordo com Leal Gomes (2010a) os corpos filonianos aplito-pegmatíticos encontram-se a delinear as trajetórias lineamentares cartográficas correspondentes a um "shear zone networking" determinado pela interferência entre o deslocamento tangencial precoce de D2 e o deslocamento transcorrente tardio de D3.

Verifica-se a uma escala cartográfica (fig. 12) o mesmo conjunto de relações estruturais que haviam sido identificadas e foram ilustradas atrás à escala do afloramento.

Como consequência principal do ajuste das trajetórias filonianas à rede de cisalhamentos, em Leal Gomes (2010a) foi realçada a importância da evolução dilatacional de alguns tipos de pontos nodais da rede de cisalhamentos para o alojamento de massas volumosas de

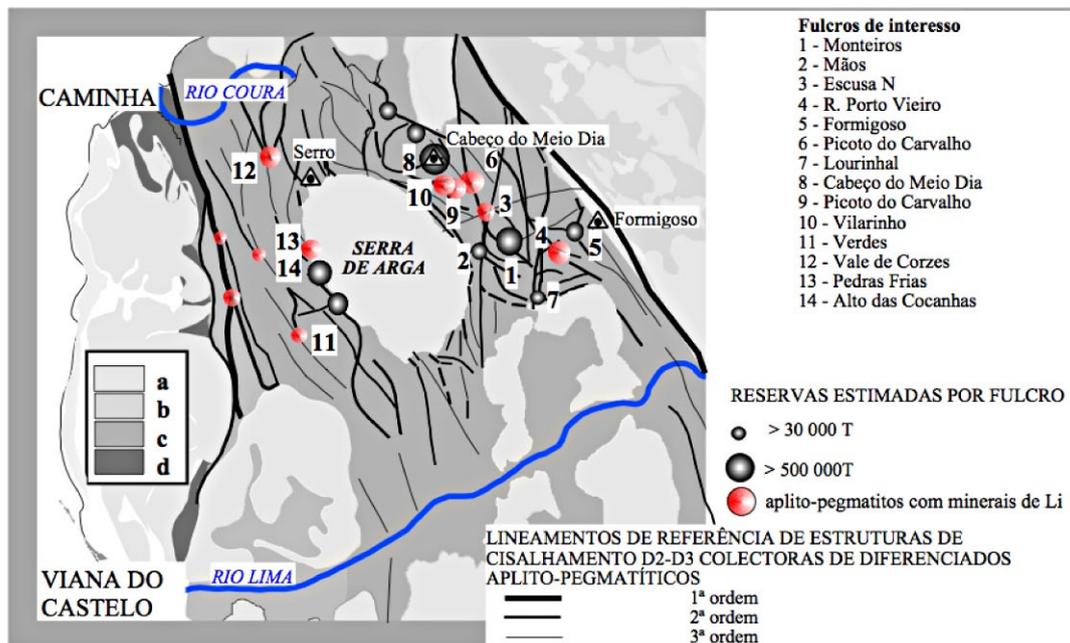
material aplito-pegmatítico. Este facto é agora essencial quando se pondera a determinação de tonelagens de massa litológica potencialmente portadora de minerais de Li cardinais.

Assim as mesmas junções filonianas antes apontadas como favoráveis ao incremento das tonelagens de aplito-pegmatito cerâmico são também favoráveis ao acolhimento preferencial dos recursos de minérios de

Li pelo facto de estes poderem ser minerais cardinais dos mesmos aplito-pegmatitos.

Aproveitando a sistemática de pontos nodais apresentada em Leal Gomes (2010a), na figura 12 foram realçadas as situações que envolvem mineralizações de Li com importância prospetiva. Trata-se dos nós de tipos 1, 4, 5 e 6 (fig. 13) que, além de volumosos, nos três últimos casos, também comportam mineralização de Li.

FIGURA 12



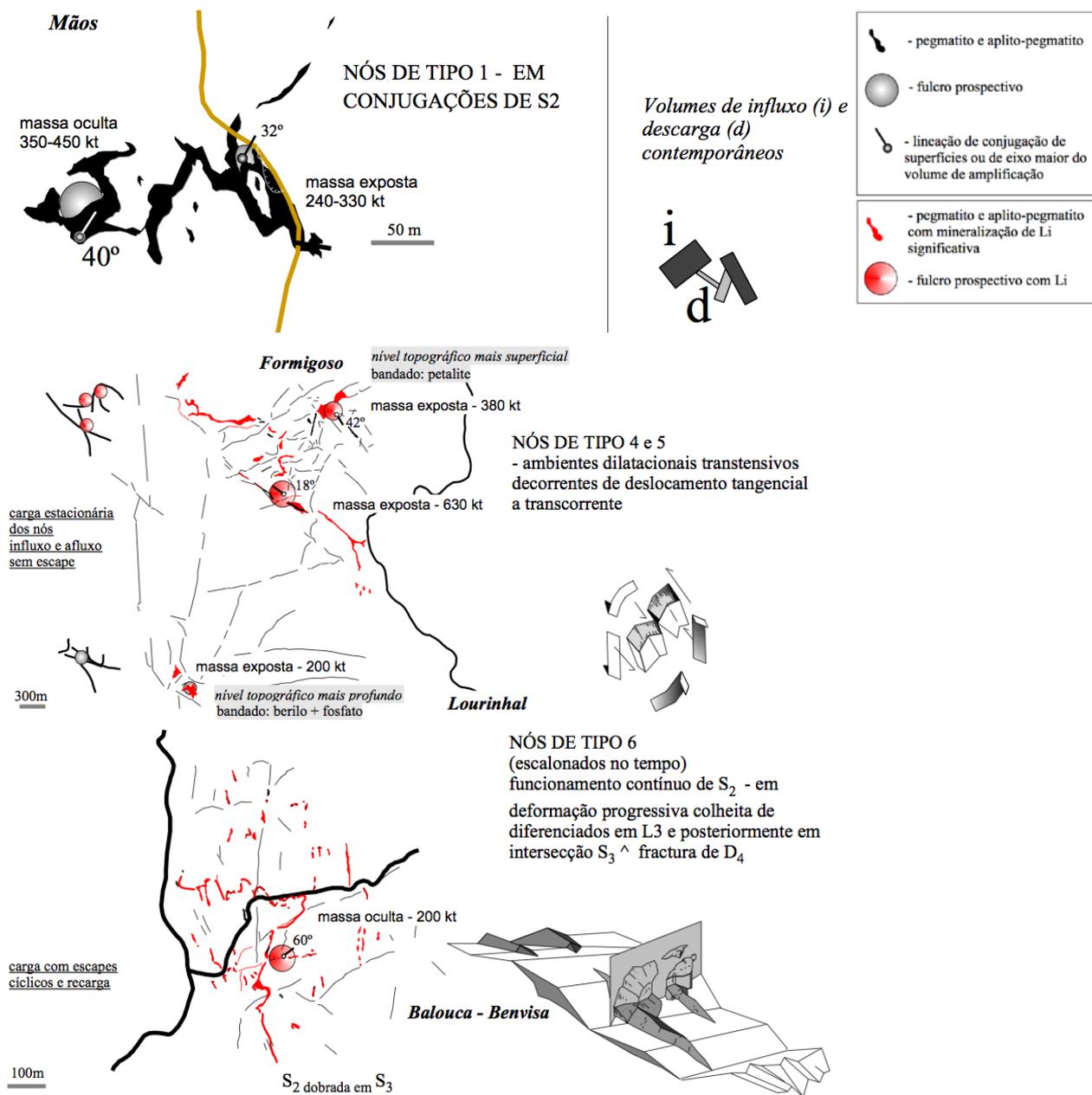
“Shear zone network” com pontos nodais onde os pegmatitos alojados em discontinuidades são volumosos e em muitos casos apresentam mineralização de Li expressa no elenco de minerais cardinais.

Nestes pontos nodais, assume especial importância para o alcance de uma volumetria significativa de material pegmatítico a conjugação, dilatação e evolução deformacional da junção de ruturas que veiculam a implantação dos pegmatitos:

- dilatação simples apical de um nó;
- dilatação regressiva – compressão / distensão de um nó;
- dilatação transpressiva ou transtensiva de um nó;
- dilatação helicoidal;
- achatamento na proximidade do nó de conjugação de um par de “sills” ou diques cruzados.

Nos nós de conjugação dilatados podem gerar-se volumes internos de maior amplitude em que uma fraccionação estrutural e paragenética pode ocorrer “in situ” acolhendo uma maior expressão dos minerais cardinais que são minérios de Li. As estruturas “comb layering” com petalite magmática têm aqui a sua expressão mais típica.

FIGURA 13



Pontos nodais da rede de cisalhamentos da região da Serra de Arga onde os volumes pegmatíticos são maiores e bem assim os teores de Li.

Na figura 14, retomam-se os paradigmas estruturais e paragenéticos de Leal Gomes (2018), que procuram sistematizar a diversidade de jazidas de aplito-pegmatitos enriquecidos em Li com algum interesse prospectivo.

Esta sistemática atende à rocha encaixante, estrutura de acolhimento, deformação imposta e sobreposta e estrutura e paragênese internas e expressa-se em blocos diagrama de referência que indiciam a dimensão e portanto, não só a morfometria como a mosfoscopia de cada tipo pegmatítico mineralizado.

Esta diversidade de modelos absorve a variabilidade morfológica e dimensional que foi observada nos aplito-pegmatitos da CPCI mais ricos em minerais de Li.

Trata-se de 7 tipos LCT, com 4 subtipos no primeiro caso, pois em contexto exo-granítico metassedimentar, as estruturas prévias da rocha hospedeira, as condições variáveis de metamorfismo no momento da intrusão e o comportamento reológico mais plástico dos metamorfitos contíguos dão azo a uma maior complexidade e variabilidade intrínseca de características.

Na figura 15 ilustra-se em perspectiva (bloco 3d) o jazigo do Formigoso, em Ponte de Lima, um dos mais volumosos portadores de petalite e produtos da sua evolução. Representa um exemplo típico da situação LCT1b onde à dilatação de um ponto nodal (convergência de cisalhamentos tangencias) se veio a adicionar o achatamento D3. Este encurtou o ângulo de conjugação das descontinuidades que acolheram o pegmatito, diminuindo assim o volume de encaixante estéril entre corpos conjugados.

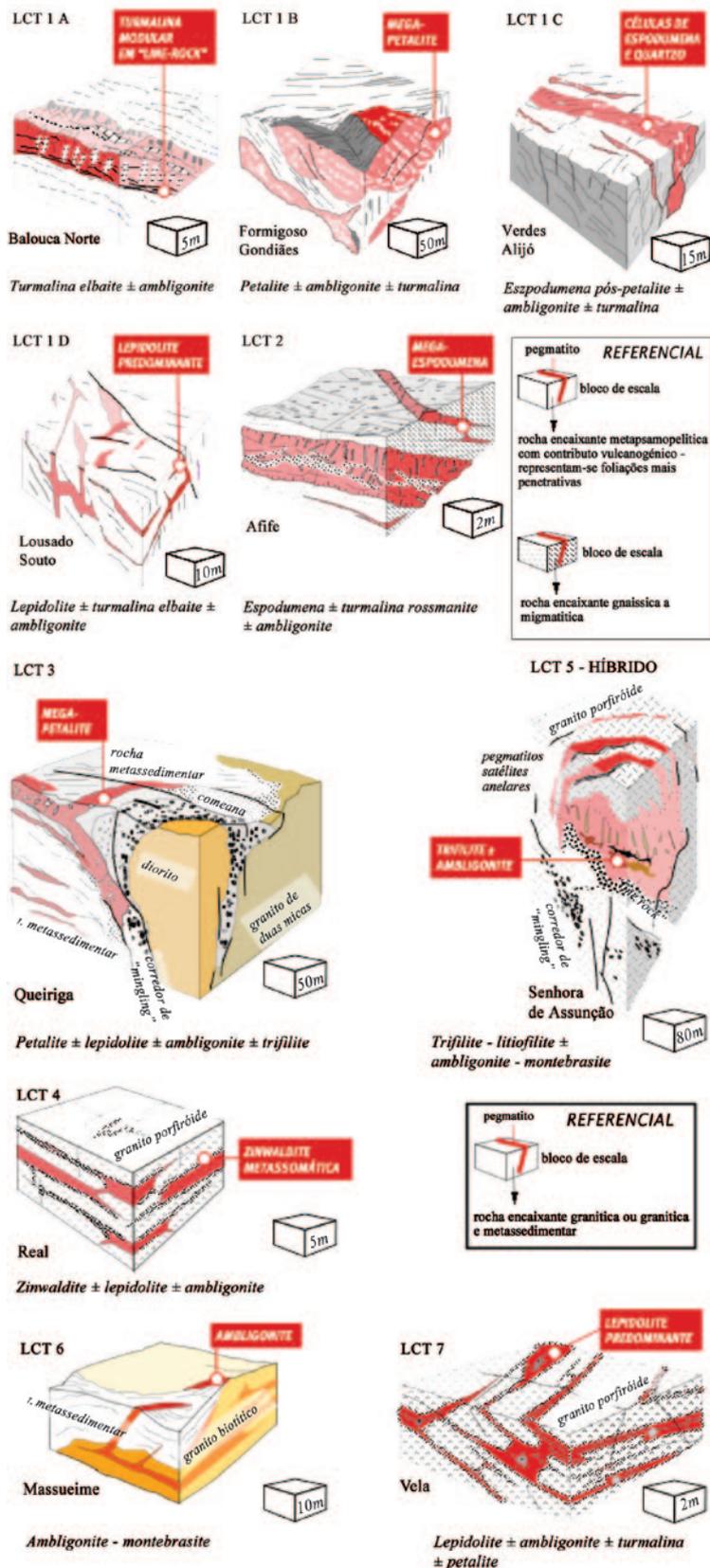
No âmbito da prospeção de Li a observação dos paradigmas e modelos da figura 14 e o exemplo de bloco diagrama patente na figura 15, levantam algumas questões de interesse fundamental para a compreensão da continuidade dos jazigos e para o cálculo de reservas:

- o andamento e continuidade dos depósitos minerais mais significativos (petalite em pegmatitos implantados em rochas metassedimentares) requer uma análise estrutural detalhada da envolvência dos fulcros de prospeção;
- existem zonas de amplificação dos depósitos onde a maior expressão de minérios de Li se distingue da que se observa em situações de apófise e por isso a potencial heterogeneidade dos depósitos é sempre de considerar em contexto de prospeção;

- o achatamento D3 sobreposto pode reduzir o volume de encaixante fechando os ângulos entre corpos cruzados;
- a proliferação de ruturas de episódios deformaçionais distintos pode veicular alterações em “subsolidus” com forte influência sobre a lixiviação de álcalis tanto em condições hipogénicas como supergénicas reduzindo os teores de Li;
- a expansão lateral e continuidade dos corpos alongados exo-graníticos é tanto ou mais condicionante do cálculo de reservas que a expansão e continuidade vertical.

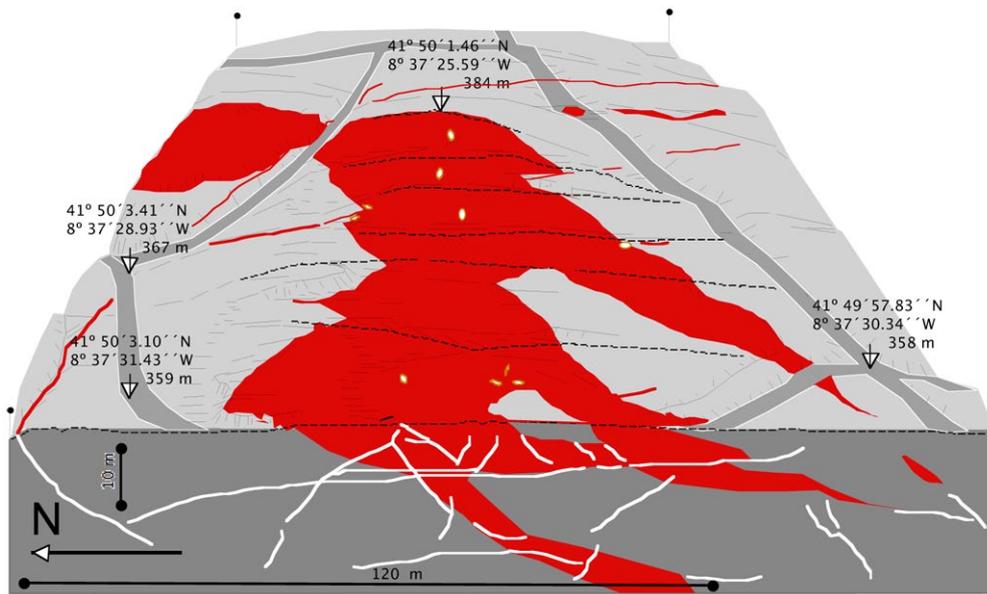
A tipologia até aqui considerada não inclui pegmatitos irregulares intragraníticos, que são cogenéticos e diferenciados “in situ” dos granitos encaixantes, pois a sua potencialidade litínifera está muito penalizada pela ocorrência quase predominante do Li sob a forma de fosfatos também com Fe e Mn os quais não são encarados como minérios convencionais de Li.

FIGURA 14



Modelos paradigmáticos, morfoscópicos e morfométricos, de aplito-pegmatitos portadores de mineralização lítínica, considerada de interesse prospetivo (Leal Gomes, 2018).

FIGURA 15



Jazigo do Formigoso (Ponte de Lima) - amplificação e colheita de diferenciados pegmatíticos em junção de descontinuidades de D2 (a vermelho). Notas: a amplificação do ponto nodal (favorece o aparecimento de estrutura "comb layering" interna com fenocristais de petalite); nas apófises periféricas persistem fenocristais sujeitos a transporte fluidal. A branco e negro - ruguras; a tons cinzentos - rocha encaixante metapelítica.

### Paragéneses LCT e minérios

Nos espaços químico-mineralógicos de Leal Gomes (1994) e Leal Gomes e Leterrier (1995), balizados por variáveis multicatiónicas, a petalite é um determinante essencial da diferenciação peri-granítica e residual dos conjuntos de fácies geneticamente relacionadas (incluindo aplito-pegmatitos). Os conteúdos de Li percursos, específicos dos magmas graníticos residuais (2 micas, tipo S) e o metamorfismo regional no domínio de transição andaluzite - silimanite, com blastese cordierítica em anomalias térmicas, é compatível com a estabilização do aluminossilicato anidro de Li no campo da petalite (fig. 2, atrás).

De acordo com Leal Gomes (2005) a assinatura NYF é típica de pegmatóides hiperaluminosos precoces. Repete-se, muito posteriormente, em pegmatitos amazoníticos, relacionados com granitos de tipo I de tendência subalcalina.

Cronologicamente, a especialização relevante LCT situa-se entre os dois surtos NYF referidos e tem uma amplitude muito mais vasta quanto à área de ocorrência (fig.1, atrás), ao período de intrusão, à diversidade mineralógica e à forma, dimensão e estrutura interna dos pegmatitos individuais, o que reflete o facto de

acompanhar a implantação da grande massa de granitos de duas micas, meta-aluminosos a peraluminosos, de tipo S, síncronos das fases Variscas de deformação, D2 e D3 (Leal Gomes, 2005).

Como se disse, é a respeito desta geração pegmatítica LCT, essencialmente intrusiva em terrenos metamórficos Silúricos, que se pode falar da mineralização mais interessante em Li no território de Portugal.

No contexto da Cintura Pegmatítica Centro-Ibérica, no N de Portugal, os minérios viáveis que predominam são petalíticos ou produtos de evolução da petalite em "subsolvus" a "subsolidus".

A evolução em "subsolvus" principal e com influência crítica nas barreiras mineralógicas que determinam o teor foi descrita em Leal Gomes & Lopes Nunes (1990) e Leal Gomes (1994) (fig. 16). As texturas simplectíticas de espodumena intercrescida com quartzo, são consideradas como produtos de evolução em "subsolvus" da petalite.

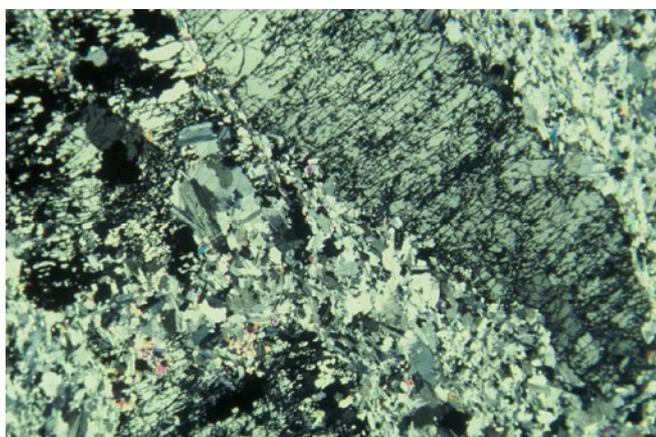
Em alguns aplito-pegmatitos LCT, uma textura peculiar resulta desta transformação. Trata-se da ocorrência de células oclares espoduménicas, as quais também estariam relacionadas com o colapso da petalite, delineando no diagrama de London (1984) uma tendência de retrogressão dos aluminossilicatos de Li

que coincide com a evolução termodinâmica, também regressiva, do metamorfismo regional (fig. 2, atrás).

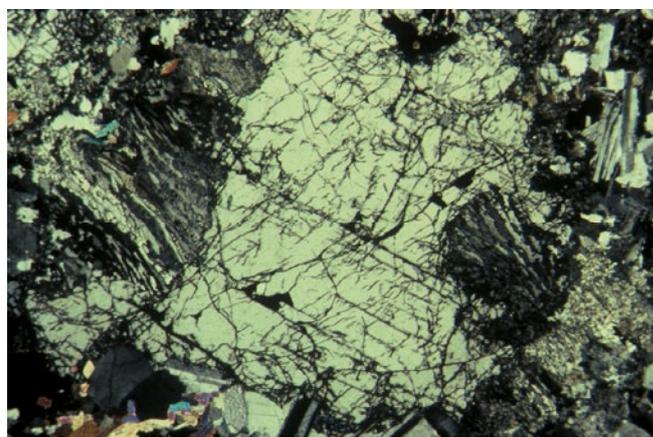
Também deduções de Moura *et al.* (2009, 2010), tendo como base estudos petrológicos, mostram que o intercrescimento ESPODUMENA + 2 QUARTZO é persistente em agregados miméticos, pseudomórficos após petalite (fig. 17), células oclares, que depois evoluem texturalmente, sujeitas à deformação, metamorfismo e metassomatismo (equilíbrio em “subsolidus”) (figuras 17 e 18).

Na figura 17, para uma “crystal size distribution” (CSD) (fig. 17A) específica do tipo e paradigma LCT 3 – Queiriga, é muito nítida a sucessão de estádios de transição paragenética, ainda observados em condições isoquímicas e particularmente o estado de mais incipiente transformação da petalite em espodumena que é inicial neste processo (fig. 17B) e que é referenciado, microscopicamente, pela presença de intercrescimentos simplectíticos de quartzo e espodumena dentro dos contornos de protocristais de petalite (Figs 16B e 17B).

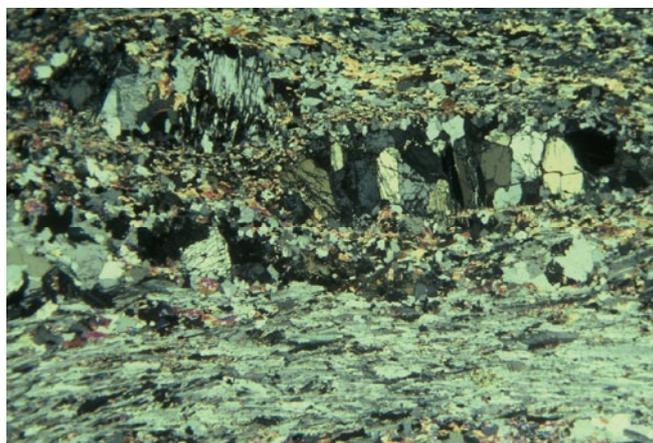
FIGURA 16



**A** - Lado maior da foto = 3 cm.



**B** - Lado maior da foto = 3 cm.



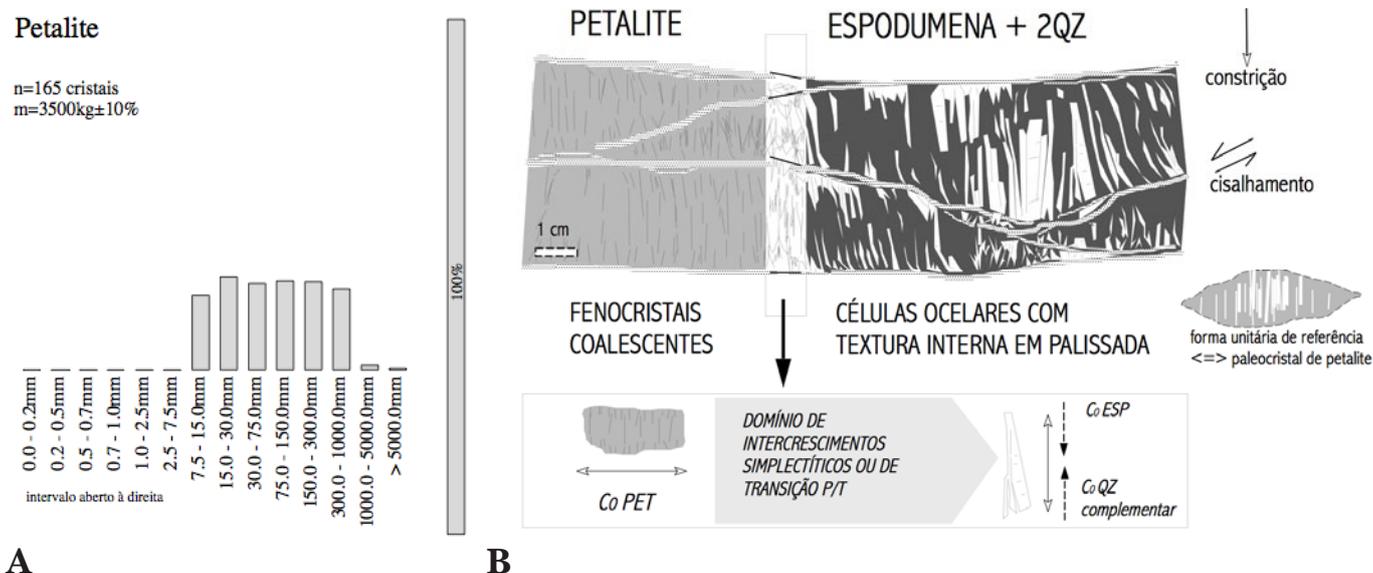
**C** - Lado maior da foto = 3 cm.

Intercrescimentos de petalite, espodumena e quartzo em aplito-pegmatitos da Serra de Arga no Minho (Leal Gomes, 1994). Imagens de microscopia ótica de luz transmitida em nicóis cruzados. **A** - Secção prismática de petalite e aglomerados independentes de quartzo e espodumena, pós-petalíticos, numa matriz aplítica albítica; **B** - Textura simplectítica de espodumena e quartzo (na proporção modal 1:2) em intercrescimento no bordo dos cristais de petalite; **C** - Células oclares espoduménicas com proporção modal média de 33% espodumena / 66% quartzo – proporção equivalente à dissociação isoquímica da petalite.

Por sua vez e invariavelmente, estes intercrescimentos mostram orientações cristalográficas de C da espodumena

de transição em posição ortogonal a C da protopetalite (fig. 17B).

FIGURA 17



**A** Dimensões de cristais (CSD) da petalite da Queiriga (LCT3) (**A**) e generalização conceptual sobre a evolução do petrofabric da petalite para espodumena e quartzo circunscritos às fronteiras da petalite precursora (**B**).

Combinando estudos de petrofabric em vários pegmatitos petalíticos e/ou protopetalíticos – Formigoso, Bouça do Carvalhal (Serra de Arga), Queiriga (V. N. de Paiva), Seixoso (Amarante) e Beça (Montalegre) - verificou-se que, generalizadamente, a sucessão de estádios de conversão isoquímica da petalite em espodumena e subsequente evolução em sistema aberto seguem os estados de referência que constam da figura 18 (Moura *et al.*, 2010, Leal Gomes, 2015 e Leal Gomes, 2018). Na figura 18 as paragêneses correspondentes aos estados 1 (petalite preservada), 2 (espodumena e quartzo em paliçada, sem petalite) e 5 (máxima alteração dos aluminossilicatos de Li anidros) são prevaletentes naqueles pegmatitos a que foi atribuído maior interesse cerâmico (para produtos alitizados) e interesse metálico, lítínico.

Assim as tendências de fraccionação primária e as evoluções isoquímicas ou metassomáticas a hidrotermais são responsáveis pela diversificação mineralógica das paragêneses petalíticas, que em Dias & Gomes (2005) foram reduzidas a onze tipos principais, os quais, pelo menos em perspetiva cerâmica, ocupam domínios

economicamente significativos nas respetivas jazidas.

### Petrografia dos materiais petalíticos oriundos de jazigos exo-graníticos

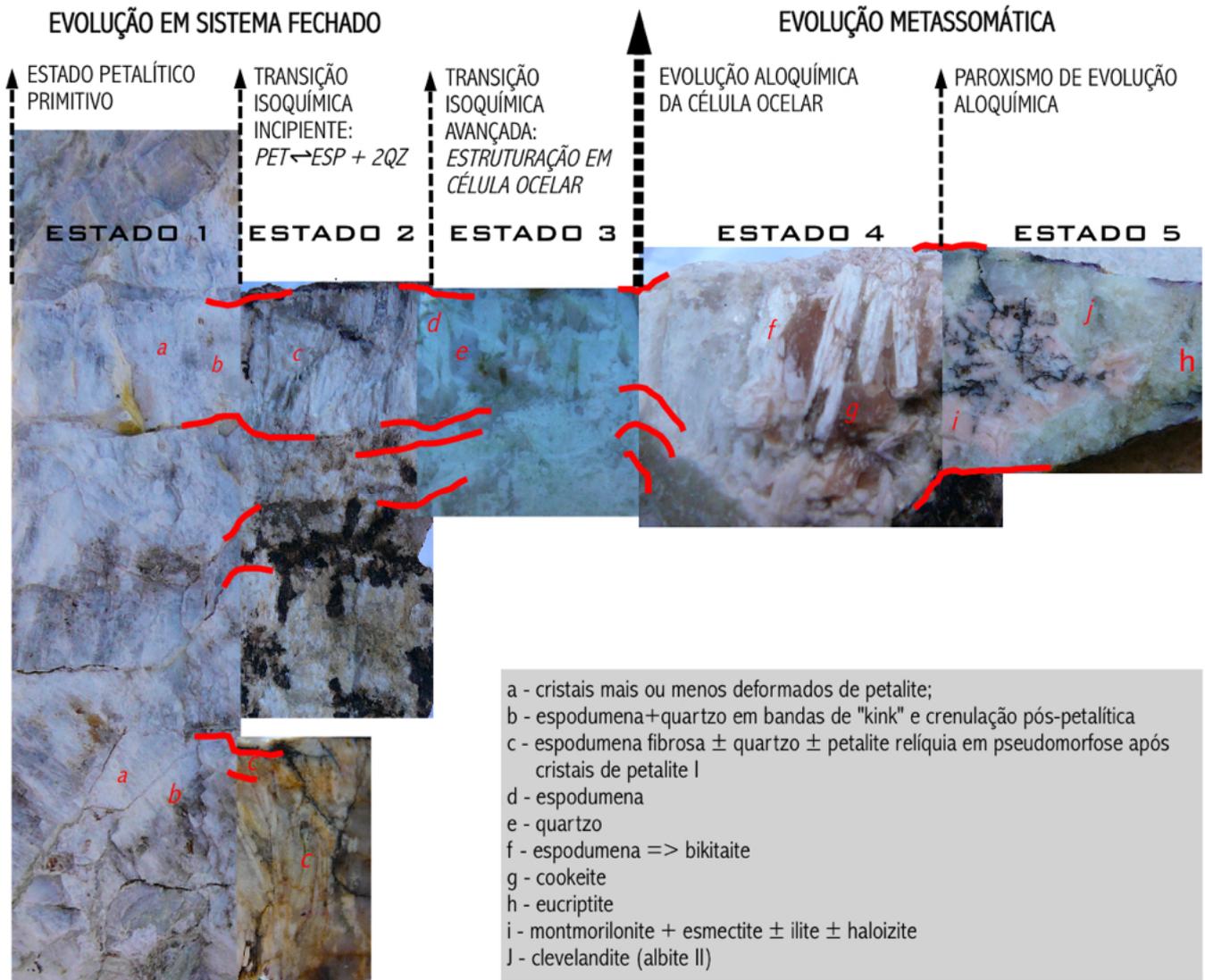
Em Dias & Leal Gomes (2005) encontra-se uma sistemática das paragêneses enriquecidas em petalite que representam produtos de evolução em “subsolvus” e em “subsolidus” de domínios aplito-pegmatíticos enriquecidos em conteúdos magmáticos de petalite.

Na tabela 1 encontram-se as composições modais desses domínios. Essas composições têm consequências sobre os teores de Li observados em pegmatitos com determinante petalítico os quais são predominantes no contexto da CPCI (Leal Gomes, 2015).

Os constituintes mineralógicos principais desses domínios são:

petalite (pet); produto de evolução isoquímica em “subsolvus” para espodumena e quartzo (esp+2qz); bickitaite (bic); zinwaldite (zin); esmectite (esm); caulinite (ca); ambligonite-montebrazite (amb-mon); cookeite (coo); lepidolite – inclui polilitionite e trilitionite (lep); gibbsite (gib); moscovite (mos); nontronite, montmorilonite (non-mont); hectorite (hec).

FIGURA 18



“Fabrics” de transição com prevalência de intercrescimentos em paliçada de espodumena + quartzo na proporção modal de 1 : 2 formulados a partir da evolução de células oclares coalescentes e/ou imbricadas por deformação.

As fácies que foram discriminadas em Dias & Leal Gomes (2005) foram as seguintes:

**1 - αPET “comb”** – aplito-pegmatito com petalite em pente - petalite de fracionamento sujeita a difusão termogravítica com nucleação singenética de feldspato potássico; deformação tardi D3 Varisca produz cisalhamento dúctil a frágil que não afeta significativamente a paragênese inicial.

**2 - αPETcat** – aplito-pegmatito com petalite cataclástica - petalite cataclástica devida a cisalhamento, mostra transformação isoquímica para ESP+2QZ.

**3 - πPETGRADE** – pegmatito com petalite - petalite com aptidão industrial pouco contaminada por produtos de evolução reacional; apresenta transformação isoquímica para ESP+2QZ em macrodomínios que atingem 35,6% da moda os quais em aproveitamento cerâmico não modificam o comportamento industrial da fase suporte (Dias & Leal Gomes, 2005).

**4 - αPET-MO** – aplito-pegmatito com petalite e moscovite - petalite contaminada por moscovite em bandas de nucleação acoplada afetadas por compressão; evolução reacional incipiente sujeita a deformação produz moscovite, albite e quartzo.

**5 -  $\alpha$ PETG** – aplito com petalite fenocristalina - apresenta-se localmente greisenizado em faixas de cisalhamento dúctil expressas pela presença de quartzo + cookeite  $\pm$  zinwaldite.

**6 -  $\pi$ PETP** – pegmatito cookeítico pseudomórfico pós- $\pi$ PET $_{grade}$ ; o controlo da alteração hidrotermal por cisalhamento tardi-D3 Varisco é manifestado nos alinhamentos cookeíticos controlados por ruturas distensivas.

**7 -  $\alpha$ PET  $\rightarrow$  ESP+2QZ** – petalite completamente transformada para ESP+2QZ e afetada por cisalhamento, dilatação e preenchimento cookeítico, lepidolítico e/ou zinwaldítico; corresponde à culminação evolutiva de um processo cujo estado inicial está expresso no tipo  $\alpha$ PET cat.

**8 -  $\pi$ PET P - (CK+LEP)** – cookeíte e lepidolite pseudomórficas após petalite; a deformação que acompanha a evolução pseudomórfica está realçada na cataclase do feldspato potássico coexistente.

**9 -  $\pi$ CEL** – células oclares com bickitaíte relíquia em pseudomorfose de filossilicatos após espodumena; está mascarada uma evolução prévia, espodumena-bickitaíte.

**10 - ALT $\alpha$ 1** – produtos de evolução  $\alpha$ PET com cookeíte  $\pm$  gibsite  $\pm$  esmectite.

**11 - ALT $\alpha$ 2** – produtos de evolução  $\alpha$ PET para haloizite + gibsite + quartzo colomórfico.

O aspeto macroscópico de algumas dessas paragénese ou fácies, especialmente aquelas que proporcionam mais altos teores de Li em análise química, encontra-se ilustrado na figura 19.

FIGURA 19



Lado = 1m



Lado = 10 cm



**A**

Lado = 1m



**B**

Lado = 40 cm

Minérios petalíticos correspondentes aos tipos  $\alpha$ PET “comb” em estados incipientes de alteração supergênica, que afeta menos o feldspato potássico coexistente (**A**) e  $\alpha$ PETcat (**B**).

TABELA 1

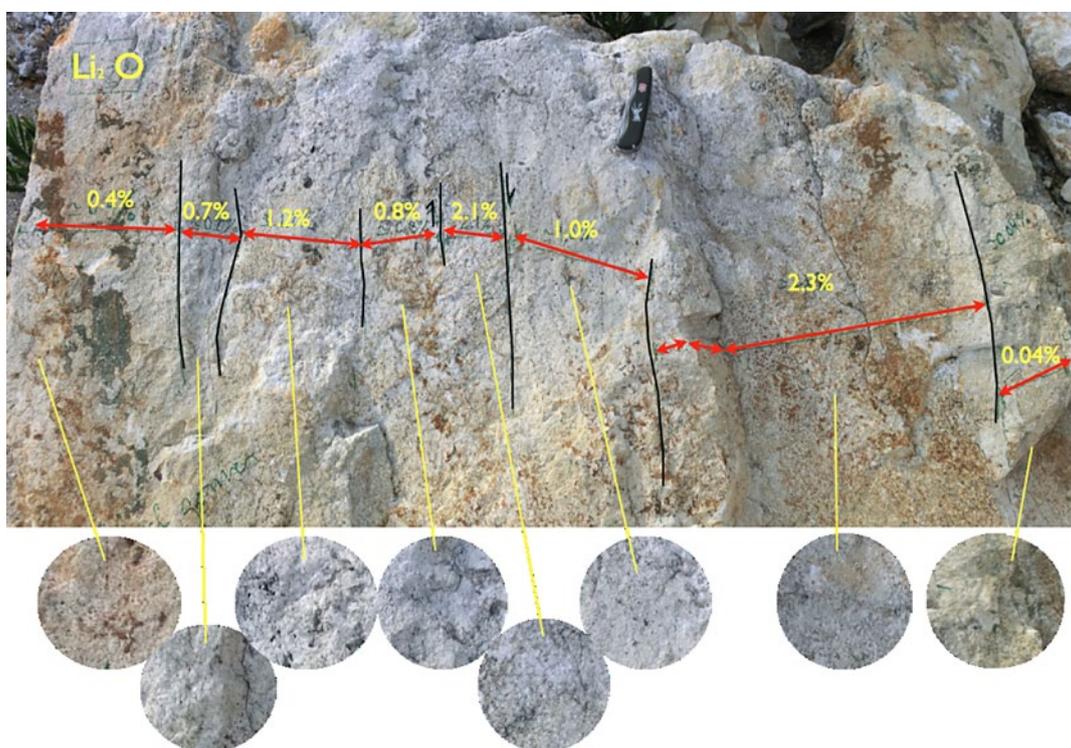
| Fácies            | pet  | esp + 2Qz | esp | bic | zin | esm | ca  | hal  | amb-mon | hec | nont ± mont | coo  | lep | gib | mos  |
|-------------------|------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|------|---------|-----|-------------|------|-----|-----|------|
| αPET “comb”       | 4.9  | 35.4      | -   | -   | 5.0 | 5.9 | 3.8 | -    | -       | -   | -           | -    | -   | -   | -    |
| αPETcat           | 24   | 30.0      | -   | -   | -   | -   | -   | -    | 3.2     | 7.3 | 0.7         | -    | -   | 1.9 | -    |
| πPETGRADE         | 61.7 | 35.6      | -   | -   | -   | -   | -   | -    | 0.1     | -   | -           | -    | -   | -   | -    |
| αPET-MO           | 7.8  | -         | 0.1 | -   | 2.2 | -   | -   | -    | 1.1     | -   | 0.9         | 0.5  | -   | -   | 12.9 |
| αPETG             | 8.8  | 8.2       | -   | -   | 7.3 | -   | -   | -    | -       | -   | 2.4         | -    | -   | -   | 9.1  |
| πPETP             | 2.9  | -         | 1.0 | -   | -   | 1.4 | -   | -    | -       | -   | 4.0         | 44.7 | 2.8 | -   | -    |
| αPET→ESP+2QZ      | 91.4 | -         | -   | -   | 5.0 | -   | -   | -    | -       | -   | -           | -    | -   | -   | 0.2  |
| πPET P – (CK+LEP) | 25.7 | 3.0       | -   | -   | 0.6 | -   | -   | 1.5  | 0.7     | -   | 0.6         | 0.7  | 1.4 | -   | 7.0  |
| πCEL              | 0.1  | 0.2       | -   | 0.3 | -   | -   | -   | -    | 1.0     | -   | -           | -    | 1.0 | -   | 22.7 |
| ALTα1             | -    | 0.3       | -   | -   | -   | 2.8 | -   | -    | 2.0     | -   | -           | 11.4 | -   | 1.7 | 3.4  |
| ALTα2             | -    | 0.3       | -   | -   | 1.7 | -   | -   | 22.8 | 1.5     | -   | -           | -    | -   | 0.9 | 3.4  |

Resultados da petrografia dos materiais aplito-pegmatíticos petalíticos – composições modais de amostras de fácies portadoras de petalite e dos seus produtos de evolução. Nota: Não foram incluídos os dados relativos a componentes quartzo – feldspáticas com cristalização independente dos minerais de Li.

Na tabela 2 apresentam-se análises químicas de fase separada de petalite e espodumena, extraídas de alguns dos domínios aplito-pegmatíticos mais ricos em Li nos 11 tipos propostos em Dias & Leal Gomes (2015). As composições encontradas aproximam-se muito dos

conteúdos estequiométricos pelo que se admite que nos teores de Li em rocha total – veja-se o exemplo da figura 20 - participam, em parte significativa, fases não compósitas e isentas de alteração justificando, teoricamente, a concentração de minérios.

FIGURA 20



Diversidade de conteúdos de Li<sub>2</sub>O em bandas contíguas do aplito-pegmatito do Porto Vieiro em Ponte de Lima, determinados pela variação de conteúdo de petalite, neste caso, bastante preservada da alteração.

TABELA 2

|    | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | TiO <sub>2</sub> | MnO  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | F    | Li <sub>2</sub> O | %R  | cor   |
|----|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------------------|------------------|------------------|------|-------------------------------|------|-------------------|-----|-------|
| 1  | 82.00            | 12.06                          | 0.01                           | 0.00 | 0.00 | 0.01              | 0.00             | 0.00             | 0.00 | 0.03                          | 0.01 | 4.18              | 0.9 | 92.5  |
| 2  | 78.20            | 16.60                          | 0.00                           | 0.00 | 0.00 | 0.00              | 0.00             | 0.00             | 0.00 | 0.00                          | 0.00 | 3.62              | 0.8 | 90.12 |
| 3  | 82.00            | 12.00                          | 0.00                           | 0.00 | 0.00 | 0.00              | 0.00             | 0.00             | 0.00 | 0.00                          | 0.00 | 4.20              | 1.0 | 91.11 |
| 4  | 77.35            | 16.27                          | 0.02                           | 0.05 | 0.05 | 0.00              | 0.00             | 0.00             | 0.00 | 0.00                          | 0.06 | -                 | -   | -     |
| 5  | 73.76            | 17.43                          | 0.08                           | 0.02 | 0.03 | 0.35              | 0.26             | 0.01             | 0.01 | 0.24                          | 0.06 | 4.00              | 0.7 | 93.5  |
| 6  | 77.01            | 16.70                          | 0.01                           | 0.02 | 0.04 | 0.00              | 0.00             | 0.00             | 0.00 | 0.02                          | 0.06 | -                 | 1.8 | 92.3  |
| 7  | 74.41            | 15.82                          | 0.12                           | 0.16 | 0.05 | 2.98              | 0.01             | 0.01             | 0.01 | 0.14                          | 0.06 | 3.39              | 8.5 | 80.0  |
| 8  | 75.67            | 15.29                          | 1.30                           | 0.00 | 0.77 | 1.00              | 0.00             | 0.00             | 0.00 | 0.00                          | 0.00 | 3.61              | 1.1 | 87.76 |
| 9  | 75.88            | 17.60                          | 0.00                           | 0.00 | 0.00 | 0.00              | 0.00             | 0.00             | 0.00 | 0.00                          | 0.00 | 4.62              | 0.9 | 89.61 |
| 10 | 58.63            | 25.09                          | 0.00                           | 0.00 | 0.00 | 0.00              | 0.00             | 0.00             | 0.00 | 0.00                          | 0.00 | 7.71              | 2.1 | 80.07 |

Composição química e indicadores de comportamento industrial para frações purificadas de silicatos de lítio separados de  $\alpha\pi$ PET. 1, 2, 3, 4- petalite pura em  $\pi$ PETgrade; 5- petalite separada de  $\alpha\pi$ PET cat; 6, 7- petalite separada de  $\alpha\pi$ PET+MO; 8- petalite separada de  $\alpha\pi$ PET “comb”; 9-bickitaíte separada de  $\pi$ CEL; 10-espodumena separada de  $\alpha\pi$ PET→ESP+2QZ. Notas: Há percentagens significativas de perda ao rubro e de H<sub>2</sub>O não referidas nem consideradas. Parâmetros de previsão de comportamento cerâmico: %R – percentagem de retração, cor – grau de brancura (Dias & Leal Gomes, 2005).

No caso das fácies e minérios sistematizados em Dias & Leal Gomes (2005) notou-se também que tanto a evolução isoquímica como a alteração metassomática das fácies petalíticas primárias diversificam os produtos potenciais, gerando inicialmente (em “subsolvus”) materiais ricos em espodumena (fig. 21A). Posteriormente (em “subsolidus”)

originam eucryptite, bickitaíte (fig. 21B) e filossilicatos cujos comportamentos mineralúrgicos, cerâmicos e metalúrgicos são previsivelmente diferenciados.

Este facto pode ter também um efeito sistémico sobre a diversidade de teores de Li, contribuindo quase sempre para a sua diluição.

FIGURA 21



A - Lado = 15 cm



B - Lado = 5 cm

Minérios protopetalíticos. A - tipo  $\pi$ CEL com espodumena em célula oclar na proporção pós-petalítica isoquímica, 1 espodumena / 2 quartzo, perceptível macroscopicamente. B -  $\pi$ CEL com bickitaíte aloquímica após espodumena.

Na figura 22 ilustram-se minérios espoduménicos protopetalíticos sem remeniscências ou relíquias da petalite original. Em ambos os casos o conteúdo de Li<sub>2</sub>O

obtido em análise de rocha total não ultrassou o limiar petalítico como seria de esperar pelo facto da petalite ser a fase original que determinou estes intercrescimentos.

FIGURA 22



lado = 15 cm

Espodumena oclar/"comb" em cataclasito a milonito do Picoto do Carvalho (Vila Nova de Cerveira).  $\text{Li}_2\text{O}$  em rocha total - cataclasito oclar espoduménico = 2.5%.



lado = 5 cm

Espodumena em paliçada (em equilíbrio com quartzo), pseudomórfica após-petalite – Alijó (Boticas).  $\text{Li}_2\text{O}$  em amostra total de pseudomorfose separada = 3.2%.

Minérios espoduménicos pós-petalíticos após transformação e total reequilíbrio em "subsolvus" – sem petalite relíquia.

### Geoquímica do Li e sua origem na CPCI

Em Moura *et al.* (2009, 2010) e Leal Gomes (1994, 2015, 2018) são apresentadas composições químicas de rocha total de aplito-pegmatitos e litótipos granitos relacionados, ocorrentes em enxames filonianos intrusivos em rochas metassedimentares a metavulcânicas Silúricas. Em Leal Gomes 1994 verifica-se que a especialização dos granitos parentais das mineralizações litíferas pode atingir 300 a 600 ppm de Li sem que ocorra mineralização específica (variabilidade acomodada pelas micas).

Em contrapartida em filões aplíticos, geneticamente relacionados com aqueles granitos, a mineralização pode acontecer a partir de teores de 250 ppm de Li (expressa como amblygonite-montebrosite).

Para intervalos composicionais de 0.5 a 2.5% de  $\text{Li}_2\text{O}$ , os aplito-pegmatitos exo-graníticos expressam petalite, espodumena, lepidolite, eucryptite, bikitaite, elbaite-liddicoatite, além da amblygonite - montebrosite.

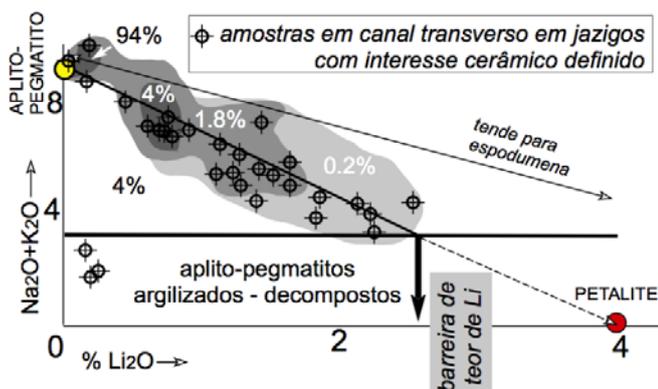
Estes resultados foram projetados num diagrama de covariação entre óxidos de metais alcalinos significativos (fig. 23) (Leal Gomes, 2015). Tal tratamento diagramático é coerente com a normalização ilustrada na figura 1. Os aplitos não mineralizados em Li apresentam somatórios de álcalis situados entre 9% e 14% de  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ .

No mesmo diagrama (fig. 23) percebe-se que subjacente à distribuição de projeções está uma correlação determinada pela covariação de conteúdos de feldspatos alcalinos e silicatos anidros de Li (Moura *et al.* 2009), que tende para a projeção da petalite pura e estequiométrica a 4% de  $\text{Li}_2\text{O}$ . Uma trajetória de tendência hipotética no sentido da composição da espodumena não justifica nem se coaduna com a variabilidade projetada. A linha de correlação estabelecida para as núvens de composições situa-se entre aplito-pegmatitos estéreis e petalite.

Consolida-se portanto a ideia de que é este o determinante mineralógico primário e principal dos conteúdos de Li presentes em pegmatitos Variscos intrusivos em terrenos Silúricos.

Como se defende em Leal Gomes (2015), atendendo ao equilíbrio paragenético com os feldspatos e à lixiviação de álcalis no decurso da argilização, o valor máximo de 2.5% de  $\text{Li}_2\text{O}$  em rocha total pode ser considerado uma barreira geoquímica imposta pelo determinante petalítico primário e, portanto, o valor máximo que é de esperar nestes aplito-pegmatitos exo-graníticos. Outrossim, valores de  $\text{Li}_2\text{O} > 0.5\%$  indiciam uma possível ocorrência da petalite numa jazida pegmatítica.

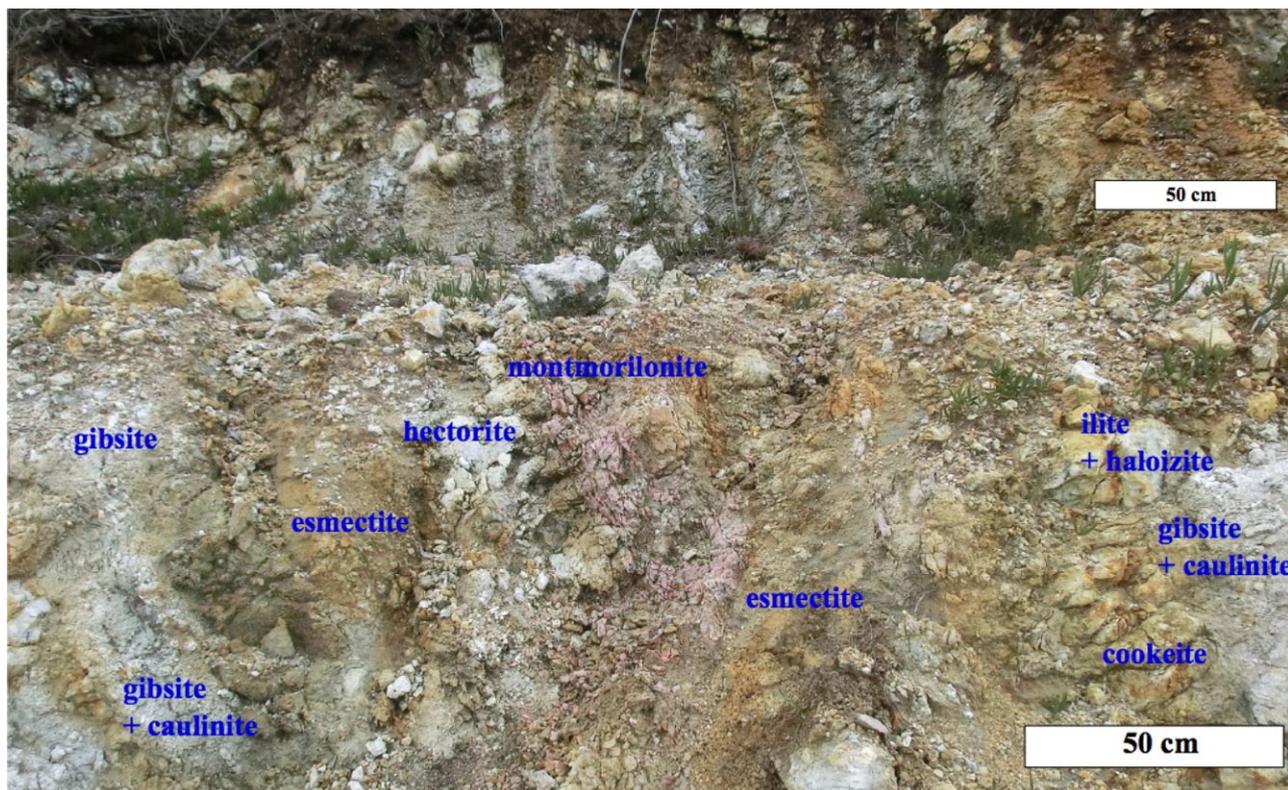
FIGURA 23



Expressão alcalina em aplito-pegmatitos alojados em terrenos metassedimentares Silúricos do N de Portugal. Correlação de conteúdos de óxidos (% peso) expressos em feldspatos ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) e em aluminossilicatos de Li ( $\text{Li}_2\text{O}$ ) sujeitos ao determinante precursor petalítico.

Os aplito-pegmatitos muito aluminosos têm baixos valores de álcalis. O caráter mais extraordinariamente aluminoso pode estar relacionado com a prevalência de gibsite em produtos de alteração deutérica a supergénica não só influenciada pela lixiviação de álcalis, incluindo Li, mas também influenciada pela lixiviação da sílica. É o que acontece em corpos muito argilizados onde a difractometria de Rx (rocha total) revelou proporções muito heterogêneas de produtos de meteorização, após alteração deutérica, em pseudomorfofos segundo petalite (fig. 24).

FIGURA 24



Exemplo de produtos de alteração da petalite após o estado supergénico mais desenvolvido – depósito do Formigoso (Ponte de Lima) – minerais de alteração identificados por difractometria de Rx.

Alguns domínios paragenéticos individualizáveis, onde os minerais secundários tinham sido identificados por DRX, foram analisados para %  $\text{Li}_2\text{O}$  em rocha total proporcionando os valores seguintes:

- petalite + espodumena + quartzo = 3.78%;
- quartzo + caulinite + cookeite = 0.62%;
- quartzo + B-cookeite + clinocloro + moscovite = 0.41%;

- lepidolite + moscovite + masutomilite = 3.33%;
- cookeite + quartzo + albite = 0.20%;
- quartzo + moscovite + lepidolite + caulinite – montmorilonite = 0.71%;
- caulinite + cookeite + quartzo = 0.60%;
- gibsite + quartzo = 0.46%;
- hectorite = 1.73%.

Deste estudo sobressai que na meteorização, apesar da lixiviação de álcalis, e consequentemente do Li, mesmo os agregados de gibsite fixam algum Li residual.

Na figura 25 está patente a frequência absoluta de conteúdos de óxido de lítio encontrados num universo de 177 análises de rocha pegmatítica total com mineralização litínica. As amostras foram colhidas em roço, em vários programas de pesquisa com incidência industrial cerâmica.

Os teores mais interessantes dizem respeito a corpos com espodumena primária que são muito raros e representam casos particulares de ocorrência de espodumena, não resultantes da transformação da petalite e intrusivos em contexto intragnaissico muito circunscrito.

É na população em que prevalecem percentagens situadas de 0.5 a 1.2% que se equaciona a possibilidade de existência de volumes e massas potenciais com dois determinantes mineralógicos principais:

- petalite, incluindo espodumena e/ou lepidolite (masutomilite) – em encaixante metassedimentar;
- lepidolite (polilitionite, trilionite e taeneolite) ± petalite – em encaixante granítico.

### Casos particulares de mineralizações de Li

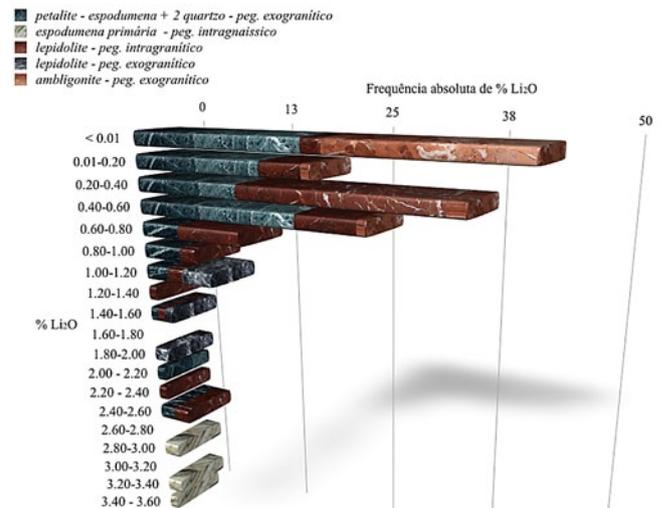
Como “outlyers” da constatação anterior, a respeito da figura 25, há a referir:

- a ocorrência de espodumena primária em aplito-pegmatitos do Campo Pegmatítico do Litoral Norte (CPLN) descrita em Faria e Leal Gomes (2017);
- a ocorrência de trifilite-litiofilite em pegmatitos intragraníticos em campos pegmatíticos de Ponte da Barca – Terras do Bouro ou Sátão – Aguiar da Beira descritas em Leal Gomes & Azevedo (2003) e Leal Gomes *et al.*, (2009);
- a ocorrência diferenciada de zinwaldite e lepidolite nos mesmos perfis verticais dos campos pegmatíticos de Guarda e Gouveia e com relações paragenéticas distintas no contexto da implantação pegmatítica.

### Campo Pegmatítico do Litoral Norte – espodumena magmática primária

Na praia e zona intertidal do Norte de Portugal (Viana da Castelo - Caminha), aflora uma densa rede de corpos filonianos aplito-pegmatíticos, alojados em rochas regionais metamórficas (quartzitos e micaxistos a gnaisses e migmatitos).

FIGURA 25



Frequência absoluta de % Li<sub>2</sub>O em análises de amostras de rocha total extraídas em canais transversos a corpos pegmatíticos tabulares e lenticulares. Total de 177 análises de colheitas dispersas na CPCI.

A espodumena mostra os seguintes tipos essenciais de modos de ocorrência, intercrescimentos e “fabrics” no interior dos aplito-pegmatitos:

- “comb structure” – crescimento centrípeto em pente nucleado nos contactos;
- disseminação de fenocristais em fluxo magmático, como imbricações e fluidalidades planares e lineares espoduménicas em matriz granular fina por vezes tipicamente aplítica;
- ocorrência em mega a gigacristais cisalhados – espodumena estirada (encurtamento ortogonal ou extensão) (Doblas, 1998), espodumena rodada (por cisalhamento em baixa viscosidade ou em regime dúctil após cristalização da mesostase envolvente);
- espodumena com contornos c/s (adquiridos por cisalhamento em regime dúctil-frágil).

Verificou-se que a cristalização fracionada da espodumena pode ocorrer “in situ” ou em fluxo; a sua deformação pode ser imposta ou sobreposta. Daqui decorre

a possibilidade de diferenciar os corpos filonianos com espodumena em termos estruturais e paragenéticos:

- tipo I – corpos tabulares estreitos com espodumena em pente precoce (fig. 26);
- tipo II – corpos tabulares de possança média com espodumena, turmalina, granada, e apatite – observam-se megaespodumenas em pente e em fluxo;
- tipo III – corpos tabulares a lenticulares de possança “significativa”, mas variável, com espodumena muito deformada (cataclástica) e estruturas c/s definidas;
- tipo IV – corpos lenticulares com unidades espoduménicas em dilatações tardias – “pull-apart”.

FIGURA 26



“Sill” pegmatítico com estrutura em “comb” de espodumena, nucleada em zona de bordadura do pegmatito e com crescimento no sentido do núcleo (CPLN).

FIGURA 27



Lado = 5cm



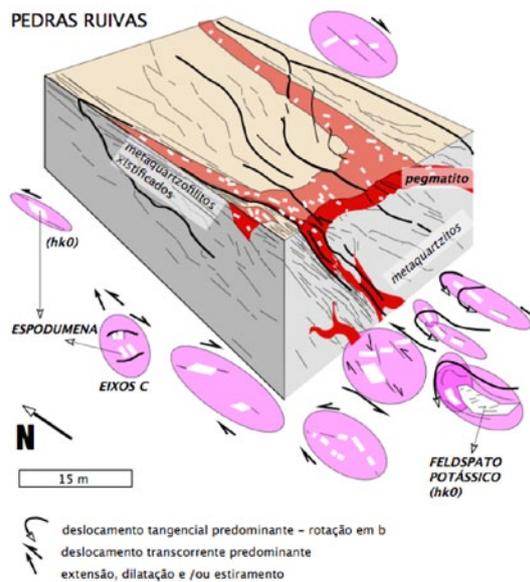
Lado = 4 cm

“Sill” aplítico, com rossmanite nucleada sobre espodumena; os eixos C de rossmanite mostram rastros deltoides por rotação dependente de fluxo a baixa viscosidade.

FIGURA 28



Lado = 6m



“Sill” pegmatítico espoduménico, alojado em falhas inversas de baixo ângulo, com estruturas c/s e terminações em peixe de algumas espodumenas (Faria & Leal Gomes, 2017) – análise geométrica.

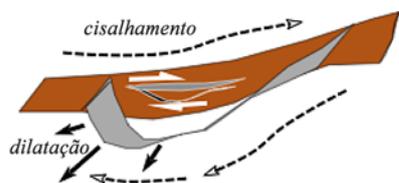
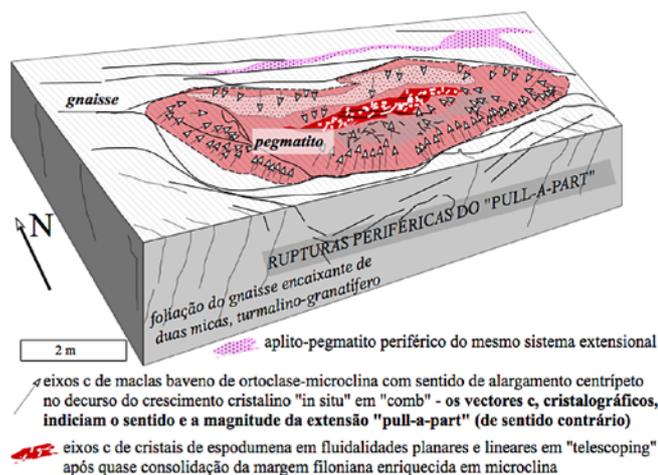
A integração dos resultados de análise geométrica detalhada permitiu pôr em evidência domínios de “fabric” mesoescalar diferenciado que dependem muito do comportamento reológico também diferenciado das rochas hospedeiras dos pegmatitos (fig. 30).

Distinguem-se claramente as ocorrências situadas em encaixante metaquartzítico (caso de Pedras Ruivas) daquelas que se situam em encaixante gneissico (caso de Afife).

FIGURA 29



Análise geométrica 3D



**Interpretação Cinemática**

deslocamento intermédio entre tangencial e transcorrente gerando volume dilatacional em contexto transpressivo com 2 episódios extensivos que acolhem pegmatito:

- 1º periférico c/ feldspato potássico,
- 2º nuclear c/ espodumena.

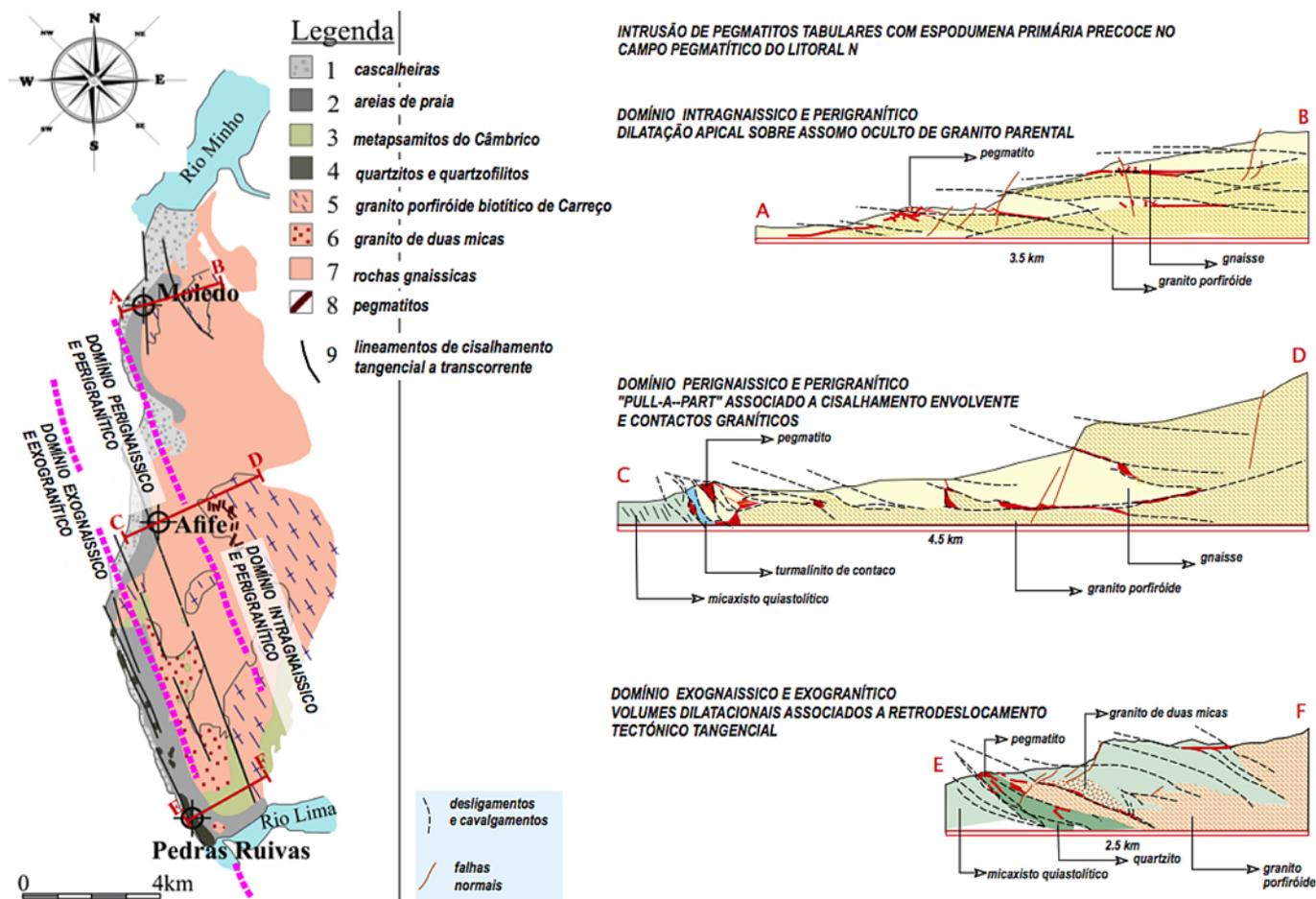
Pegmatito lenticular acolhido em volume dilatacional “pull-a-part” gerado por cisalhamento. Mostra estrutura interna em pente de bordadura e fluxo aplítico nuclear com espodumena em fenocristais arrastados por fluxo.

Nos gnaisses o alojamento dos aplito-pegmatitos do CPLN foi permissivo marcado por estruturas internas de cristalização “in situ” e fracinação centrípeta, dependendo essencialmente da dilatação segundo um eixo N-S. Nos restantes casos a cristalização ocorre sob efeito de encurtamento e cisalhamento ou seja perante deformação imposta ou sujeita a deformação sobreposta. Em todos os domínios do CPLN a mineralização é expressa como espodumena primária, sendo este o único caso em que se prevê a possibilidade dos teores de Li ascenderem a valores superiores ao máximo de determinação petalítica que é comum em todas as restantes situações da CPCI, em território de Portugal (fig. 23, atrás).

As dimensões pequenas dos pegmatitos e a sua expressão em áreas com estatutos diversificados de proteção ambiental tendem a suscitar reduzido interesse prospetivo.

O caso particular do CPLN levanta outra questão, relativa à distribuição regional das diferentes famílias pegmatíticas, da classe de elementos raros, no contexto Orogénico Varisco. De facto, o determinante espoduménico dos teores parece estar circunscrito a Terrenos Autóctones Ocidentais (Zona Centro Ibérica em sentido estrito), enquanto que o determinante petalítico se espalha por campos filonianos alojados nos restantes terrenos mais ou menos transportados para Oriente e Norte onde a espodumena é essencialmente um sucedâneo regressivo da petalite.

FIGURA 30



| Litologias no esboço cartográfico segundo Pereira <i>et al.</i> (1989)            | Correspondência nos perfis interpretativos ampliados |  |                                |
|---|--|--|--------------------------------|
|   | Perfil AB  | Perfil CD  | Perfil EF                      |
| 1. Atual e holocénico - depósitos de dunas e de praias - areia ou cascalho.       |  |  |                                |
| 2. Quaternário antigo - depósitos fluviais e marinhos.                            |  |  |                                |
| 3. Câmbrio - alternância de filitos carbonosos e siltíticos.                      |  | Micaxisto quiastolítico.<br>Turmalinito de contacto. | Micaxisto quiastolítico.       |
| 4. Ordovício inferior - quartzitos, xistos e conglomerados de matriz quartzítica. |  |  | Quartzito.                     |
| 5. Granito sin - F3, de grão fino e de duas micas, porfiróide.                    | Granito de duas micas porfiróide.                    | Granito porfiróide de Carreço.                       | Granito porfiróide de Carreço. |
| 6. Granitos sin - F3 de grão grosseiro e de duas micas.                           |  |  | Granitos de duas micas.        |
| 7. Granitos sin - F3, de duas micas de grão fino a médio.                         | Gnaisse.   | Gnaisse.   |                                |
| 8. Pegmatitos.  | Pegmatito.   | Pegmatito.   | Pegmatito.                     |

Compartimentação estrutural do Campo Pegmatítico do Litoral Norte segundo Faria & Leal Gomes (2017).

### Campos pegmatíticos intragraníticos de diferenciação “in situ” – trifilite-litiofilite pegmatítica primária

Os minerais de Li predominantes em pegmatitos de diferenciação “in situ” são fosfatos (Fig. 31).

Estes pegmatitos mostram estruturas de transição gradacional entre o granito hospedeiro (quase sempre de grão médio a grosseiro, essencialmente biotítico e porfiróide) e as zonas marginais muitas vezes enriquecidas em micas

muito alongadas no seio de agregados quartzo-feldspáticos com intercrescimento gráfico. Os fosfatos primários (fig. 31 A e B) ocorrem invariavelmente como frentes mineralógicas de transição entre as zonas intermédias e os núcleos de quartzo. Estas frentes são posteriormente sujeitas a alteração deutérica (fig. 31 C) a supergênica (fig. 31 D) dando lugar a sequências de produtos de evolução que são típicas de cada fosfato primário inicial (Leal Gomes & Azevedo, 2003 e Leal Gomes, 2010 b).

FIGURA 31



**A** – lado = 10cm – secção longitudinal em cristal automórfico individualizado.



**B** – lado = 12cm – secção em zona intersticial de trifilite-litiofilite com amblygonite-montebrazite, lazulite-scorzalite, augelite e columbite-tantalite.



**C** – triplite e trifilite com alteração hidrotermal para F-apatite, eosforite, mitridatite e variscite.



**D** – trifilite – litiofilite pseudomorfisada em Fe-sicklerite por meteorização no seio do quartzo.

Diferentes associações de fosfatos com determinante litiofilitico-trifilitico primário que ocorre nas transições entre zona intermédia e núcleo de quartzo em pegmatitos intra-graníticos zonados. **A, B** – Senhora de Assunção, Sátão; **C, D** – Pedra da Moura, Ponte da Barca.

A série trífilito-litiofilite, por vezes com triplite-zwieselite associada (fig. 31 C), é a principal portadora de Li e também de Fe, Mg e Mn nos pegmatitos intragraníticos (Leal Gomes & Azevedo, 2003 e Leal Gomes *et al.*, 2009). Esta associação fosfatada, pode incluir ambligonite-montebrazite em contexto ainda primário, mas intersticial (fig. 31 B). Ela indicia a convergência de duas fracções geoquímicas na periferia dos núcleos quartzosos. Uma corresponde à concentração de fosfato e ferromagnesianos. A outra, conjugada, corresponde à concentração de fosfato e metais alcalinos, especialmente, o lítio.

Em qualquer caso expressam o excesso fosfatado imediatamente anterior à deposição final da sílica. Sugerem uma miscigenação ao nível dos potenciais químicos iniciais, anteriores à fracção geoquímica centípeta, a qual pode ter-se propagado desde a mistura dos magmas graníticos percursos (Costa *et al.*, 2014) dado que os elementos expressos na periferia dos núcleos são na sua maioria incompatíveis e higromagmáfilos, concentrando-se nas fases finais da diferenciação “in situ”. Em Leal Gomes & Lopes Nunes (2003), estes pegmatitos são classificados como de tipo híbrido (assinaturas NYF e LCT combinadas) sendo-lhes atribuída uma localização intraplutónica em corredores que materializam colunas de magmas sujeitos a mistura em zonas de alimentação múltipla e enraizamento comum de vários corpos plutónicos.

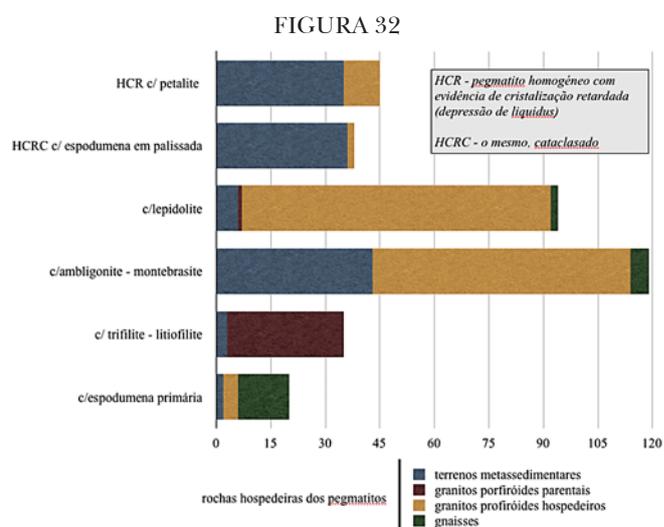
Estes corredores têm expressão cartográfica manifestando-se pela proliferação de encraves globulares remanescentes que testemunham a mistura incompleta de magmas de feições distintas. Por isso, têm sido designados como corredores de “mingling” (Leal Gomes, 2005, Leal Gomes, 2010 a).

### **Campos pegmatíticos intragraníticos intrusivos com zinwaldite metassomática precoce e periférica e lepidolite (trilitionite, polilitionite) pegmatítica interna**

Nos campos pegmatíticos situados nas imediações de Guarda e Gouveia ocorrem numerosos aplito-pegmatitos de tipo “sill”, intrusivos em granitos porfirídeos biotíticos de grão médio a grosseiro.

Os pegmatitos são em geral pouco possantes mas o seu número e especialmente, a densidade da rede filoniana e a persistência da mineralização LCT lepidolítica e ambligonítica, são bastante consistentes quando comparadas com as de outros tipos pegmatíticos (fig. 32).

Os corpos individuais são internamente bandados e embora hospedados no granito porfiríode, a sua intrusão gerou um desequilíbrio reacional, marcado pela ocorrência de zinwaldite de alteração deutérica, no exo-contacto. Deduz-se portanto que o granito hospedeiro, pelo menos a fácies vizinha, não é parental destes aplito-pegmatitos. Por outro lado, o facto de se ter desencadeado uma zinwalditização exo-pegmatítica generalizada, indica que parte da carga magmática de Li se escapou precocemente dos diferenciados pegmatíticos vindo a fixar-se no metassomatismo do granito encaixante. Embora de forma geral se refira este fenómeno como zinwalditização, microscopicamente percebe-se que ele é bastante complexo, composto de substituição zinwaldítica das micas e sobretudo da biotite, zinwalditização fina da plagioclase e microclínização e hematitização do feldspato potássico e ainda fluoritização e apatitização desencadeadas por preenchimento de volumes de corrosão associados à lixiviação da sílica.



Número (n) de corpos pegmatíticos e aplito - pegmatíticos portadores de mineralizações de Li, individualizados em diferentes tipos de rochas hospedeiras - síntese com base na cartografia e em programas de pesquisa dedicados a minerais industriais cerâmicos.

Um argumento sustenta que o escape do Li para o metassomatismo do encaixante foi precoce, podendo mesmo ter antecedido a chegada dos diferenciados pegmatíticos: trata-se do facto de as espessuras das faixas de zinwalditização serem idênticas quaisquer que sejam as possanças e mesmo os conteúdos internos de minerais de Li dos “sills” em redor dos quais se situam.

Além disso este argumento é coerente com a distribuição da lepidolite e da zinwaldite em vários exemplos de séries de “sills” litiníferos horizontais. Um desses exemplos é ilustrado nas figuras 33 e 34 e diz respeito à mina de feldspato de Sangas em Gouveia.

De forma sistemática, num dos taludes estudados nesta jazida observam-se as seguintes distribuições de minerais, aliás representativas da generalidade dos enxames pegmatíticos de Guarda e Gouveia:

- “sills” pouco possantes ( $\pm 30$  cm) ocorrem às cotas mais altas e no topo do talude da figura 33 – apresentam substituição zinwaldítica no exo-contacto e lepidolite no interior dos corpos pegmatíticos;
- “sills” muito possantes ( $\pm 2$  m) ocorrem às cotas mais baixas e na base do talude da figura 33 - apre-

sentam zinwaldite no contacto mas não apresentam lepidolite no interior dos corpos pegmatíticos.

- as faixas com zinwaldite no granito do exo-contacto são de espessura muito semelhante ou mesmo idêntica tanto nos “sills” de topo como nos “sills” de base e independentemente das possanças dos “sills”.

Amostras em roço foram extraídas nestes pegmatitos de forma a incluírem ou excluírem as faixas de zinwalditização contíguas às caixas filonianas. Os resultados da análise química para o Li nestas amostras deram os resultados sistematizados na figura 34.

Os referidos resultados são coerentes com uma antecedência da invasão dos fluidos zinwalditizantes, anterior à instalação dos compósitos magmático – pegmatíticos, LCT, lepidolíticos.

FIGURA 33

domínio superior dos “sills” com lepidolite, ambligonite e zinwalditização do encaixante – possança média = 30 cm

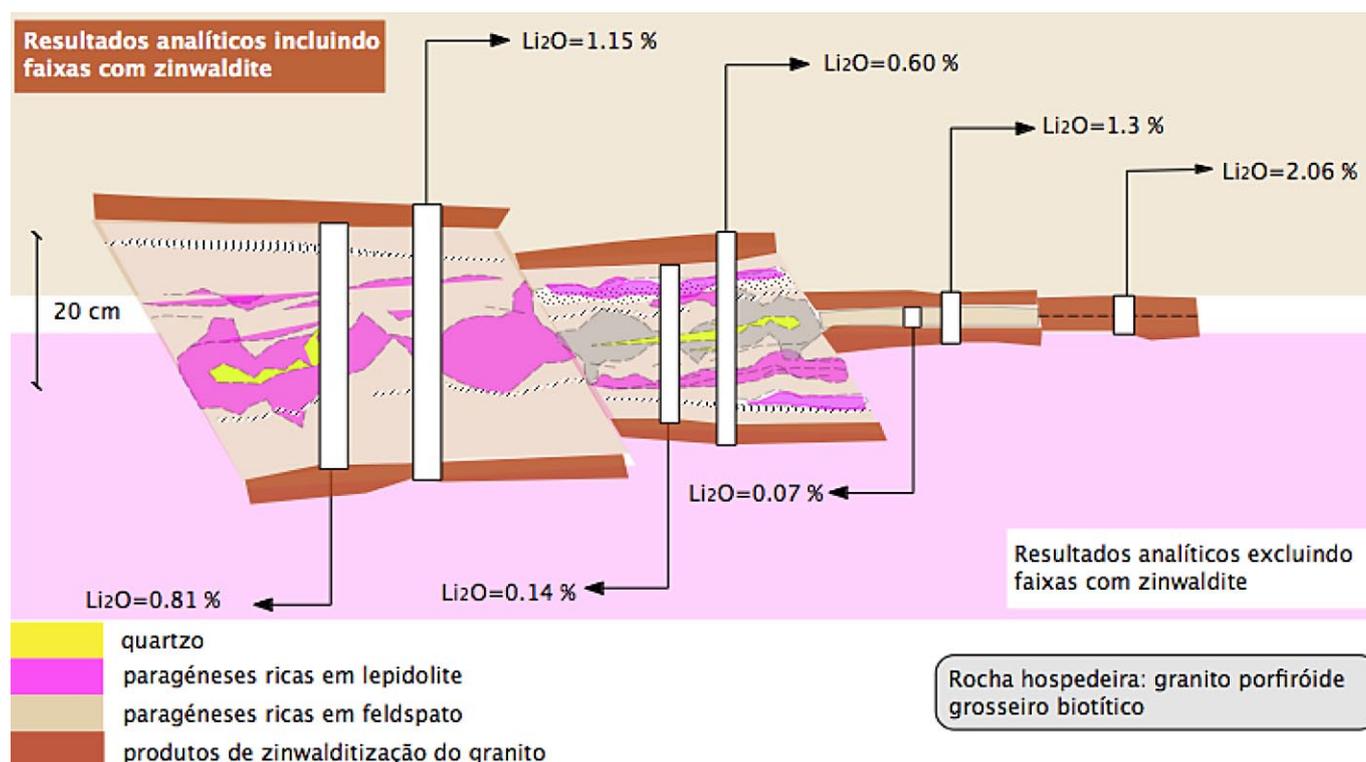
-----  
domínio inferior dos “sills” sem lepidolite, com escassa ambligonite e zinwalditização do encaixante – possança média = 200 cm



Lado = 60 m

Talude da mina de feldspatos alitizados de Sangas e Saibro, Melo, com diferenciação vertical da possança, estrutura e paragénese dos pegmatitos – enxames pegmatíticos de Gouveia.

FIGURA 34



Seleção de resultados de análises químicas de Li para roços extraídos com e sem a faixa de zinwalditização metassomática em pegmatitos similares aos que foram intersetados nos taludes de Sangas (fig. 34 atrás).

Como corolário, no caso dos pegmatitos de Guarda e Gouveia e outros similares, a totalidade do potencial litinífero que lhes é atribuído só será recuperado, no decurso de uma eventual extração, se além das caixas pegmatíticas propriamente ditas também forem recuperadas as faixas de zinwalditização que lhes são contíguas. Este procedimento será crítico no caso de domínios topográficos e estruturais em que as caixas pegmatíticas internamente não apresentem mineralização macroscopicamente identificável, pois o metassomatismo zinwaldítico no encaixante é muito mais persistente que a mineralização interna.

#### Notas sobre a origem e a mobilidade do lítio – aproximação conceptual

Ultimamente tem-se assistido a um incremento da investigação dedicada à mobilização e génese de magmas aplito-pegmatíticos e à origem da sua produtividade como fontes de metais críticos e minerais industriais.

No que respeita à relação dos magmas graníticos com os pegmatitos da CPCI, parece consolidada a ideia de que a família pegmatítica LCT esta relacionada com a evolução granítica residual das sequências de granitos de tipo S.

Pouca atenção tem sido dedicada à geração de pegmatitos intragraníticos em geral relacionados com magmas híbridos I/S, em corredores de “mixing – mingling”, alinhados com as fronteiras dos plutões graníticos e zonas de cisalhamento sobrepostas. Estes corredores correspondem a canais de injeção múltipla de magmas, com intensa mistura de frações máficas e félsicas, caracterizadas por trocas de constituintes de grande magnitude e sobretudo, transferência de elementos incompatíveis para as frações de magma mais evoluídas. Por vezes no estado paroxismal de evolução dos magmas hibridizados, em frações potencialmente pegmatóides, esta recarga de elementos higromagmáfilos e incompatíveis pode levar à superação do limiar de sobressaturação aquosa e de imiscibilidade fluida podendo mesmo chegar ao estado de “degassing” expresso em enxames de bolhas e glóbulos não coalescentes (“bubbling”).

Dias *et al.* (2013 a e b) referem-se a esta complementaridade entre mistura de magmas e imiscibilidade fluida, analisando testemunhos estruturais localizados na fronteira de alguns plutonitos e em corredores de “mingling” e “bubbling”. Do ponto de vista conceptual

os processos de mistura e imiscibilidade podem estar na origem primitiva de massas de compósitos magmáticas, potencialmente pegmatíticos, que após coalescência e fracionamento “in situ” evoluem para a estruturação de pegmatitos intragraníticos que podem atingir grandes dimensões e apresentar mineralização em Li.

A mineralização litinífera que é específica destes casos é representada pela ocorrência de fosfatos de Li da série trifilite – litiofilite, que ocorrem como frentes de fracionamento “in situ” entre as unidades internas, zona intermédia e núcleo de quartzo, referidas anteriormente e ilustradas na figura 31.

Assim sendo, no caso da complementaridade mistura/ /imiscibilidade que está na origem da mineralização em Li de pegmatitos de diferenciação “in situ”, a transferência de elementos higromagmáticos de magmas básicos para magmas ácidos, deve dar um contributo importante para o stock de Li inicial dos diferenciados pegmatíticos. Por outro lado a presença de trifilite – litiofilite é, nestas situações, uma assinatura de mistura prévia e cedência de Li das frações máficas para as frações félsicas que estão na origem daqueles.

Na figura 35, ilustra-se um bloco de granito muito heterogéneo observado junto do pegmatito Sul do Grupo de Senhora de Assunção em Sátão.

Em coerência com o incremento do potencial de geração de pegmatitos nos magmas mais félsicos por transferência de elementos incompatíveis a partir da fácies menos evoluídas, naquele bloco (fig. 35) nota-se que o compartimento em que proliferam encraves melanocratas é o mais leucocrata. Por outro lado, é também nesta fácies que se diferencia “in situ” o grupo de grandes pegmatitos de Senhora de Assunção.

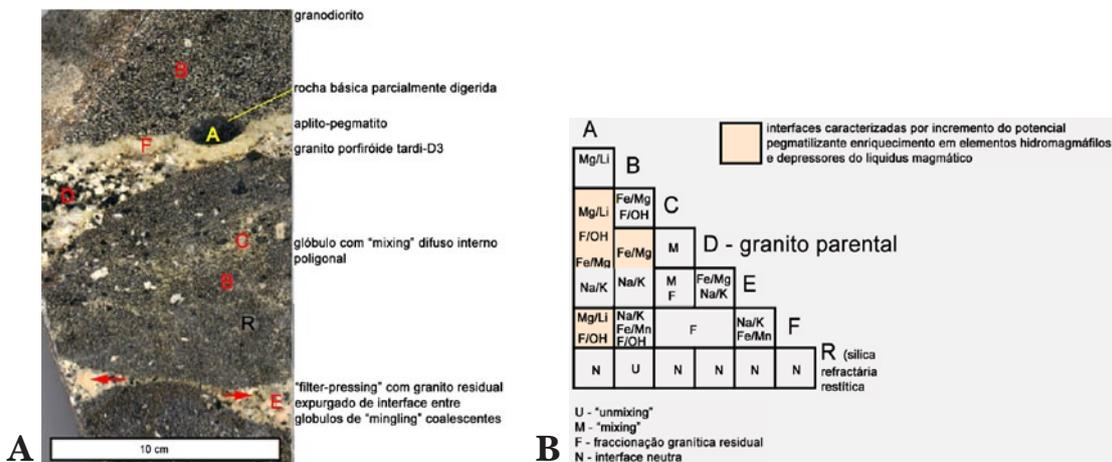
FIGURA 35



Bloco de granito extraído na fronteira entre um corredor de “mingling” e uma fácies granítica com grande expressão regional – incremento do caráter leucocrata do granito por transferência de constituintes a partir do magma básico – incremento do conteúdo de elementos incompatíveis por cedência a partir de magma básico.

Em Leal Gomes (2010a) é fortalecida a hipótese de se verificar de facto a referida transferência de constituintes, com base nos resultados de análise química semiquantitativa de algumas frações litológicas mesoescalares contíguas entre si em exemplos de “mingling” (fig. 36). Nas interfaces entre encraves e fácies granitoides intersticiais num corredor de “mingling” do campo pegmatítico intragranítico de Ponte da Barca - Terras do Bouro (fig. 36 A), confirma-se uma substituição preferencial de Mg por Li, que deverá estar sediada nas micas. A expressão máxima deste fenómeno verifica-se no contacto entre os encraves mais escuros e as fácies mais leucocratas.

FIGURA 36



Petrografia de testemunhos de “mingling” (A) e variabilidade mineraloquímica e litogeoquímica semiquantitativa na interface entre as diferentes fracções (B). Adaptado de Leal Gomes (2010 A).

Há pois evidências de uma cedência de Li no decurso da mistura magmática. Deverá ter havido nas mesmas interfaces uma cedência de constituintes voláteis.

Um acréscimo de voláteis pode facilitar a imiscibilidade fluida sobretudo em domínios magmáticos onde se verifiquem fenómenos de despressurização, quer por ascensão magmática, quer por colapso mecânico da câmara plutónica. Outra parte dos fluidos é libertada após o início da cristalização, durante a ebulição secundária (“ressurgente boiling”). As bolhas assim formadas, menos densas relativamente à matriz envolvente, podem ascender quer por fluxo quer por flutuação (“buoyant ascent”), desde que se verifiquem condições de baixa viscosidade (Candela, 1997).

As probabilidades de preservação de bolhas na coluna granítica são mais elevadas em condições de dissipação de calor mais rápida, simultaneamente favoráveis à ocorrência de fácies hospedeiras com grão fino. Têm sido identificadas evidências destes fenómenos em alguns maciços graníticos que também possuem nas proximidades pegmatitos intragraníticos e corredores de “mingling”.

Um dos exemplos mais típicos é o do maciço Ferreira de Aves (Viseu), num setor situado a sul dos pegmatitos de Senhora de Assunção.

O maciço granítico de Ferreira de Aves tem sido considerado tardi- a pós-tectónico relativamente à 3ª fase de deformação Varisca. Dados de geocronologia mais recentes apontam contudo, idades compreendidas entre  $321,8 \pm 2,0$  Ma e  $317,0 \pm 1,1$  Ma, compatíveis com uma instalação sin-tectónica (Costa *et al.*, 2014).

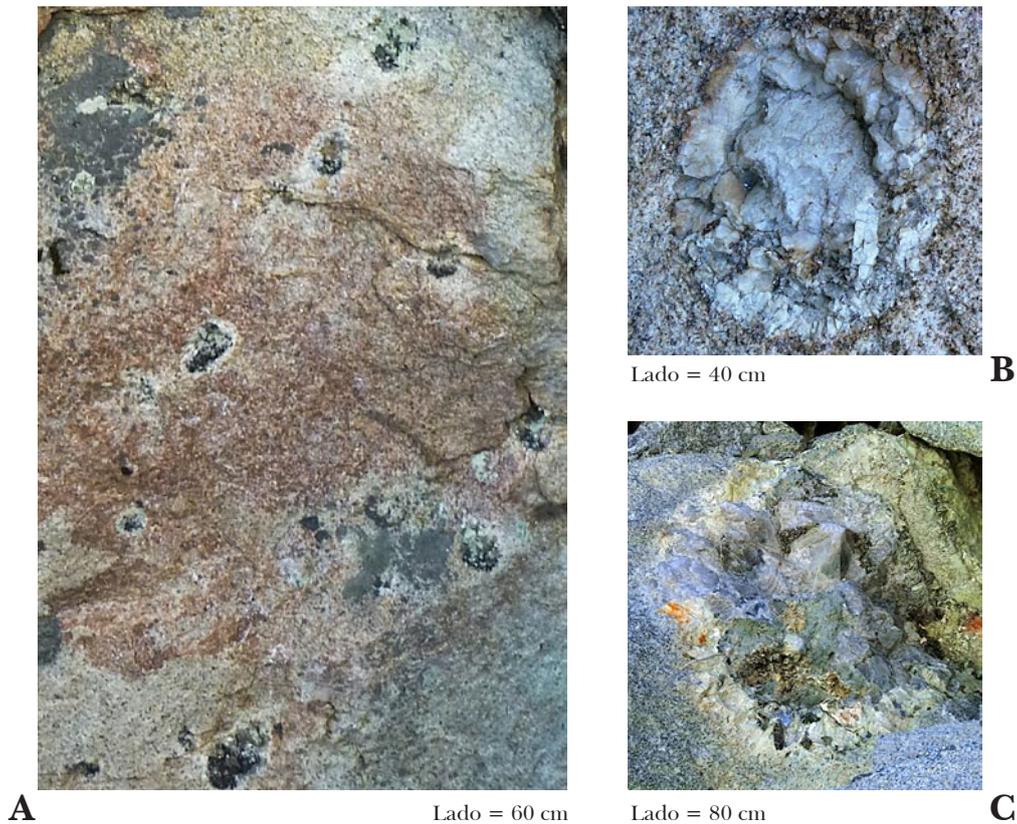
Na folha 14D da carta geológica de Portugal à escala 1:50 000 (Teixeira *et al.*, 1972) o granito é descrito como biotítico porfiroide de grão médio, apresentando no seu interior afloramentos circunscritos de leucogranitos de duas micas com grão fino. Identificaram-se aí fácies graníticas com enxames de miárolos de forma elipsoidal a esferoidal.

Embora as condições de sobressaturação fluida em magmas graníticos sejam razoavelmente conhecidas, a preservação macroscópica de bolhas é um efeito raro. Em geral, os contributos fundamentais sobre a composição dos fluidos aprisionados provêm do estudo de inclusões compósitas, de magma e fluido, que correspondem à evolução de emulsões retidas em fases cristalinas da associação primária granítica (Thomas *et al.*, 2009).

No maciço de Ferreira de Aves, existiram condições para a preservação e litificação de enxames de bolhas, concorrendo para isso uma conjugação provável e favorável entre temperatura, pressão, composição e viscosidade do magma granítico, conteúdo de voláteis, taxa de cristalização e dimensão e densidade das bolhas de fases fluidas imiscibilizadas (Peretyazhko, 2010). Do ponto de vista morfológico, prevalecem as formas alongadas, às quais se podem ajustar elipsóides de tipos trimétrico, prolato e oblato.

A aquisição de morfologias elipsoidais pode compreender-se melhor invocando uma deformação de tipo visco-elástico em condições de fluxo magmático. Assim, atribui-se à direção de maior alongamento o valor de uma lineação de fluxo ou estiramento magmático (fig. 37 A). As formas esferoidais (muitas vezes também com maior dimensão) são bastante mais raras denunciando condições estacionárias no decurso da génese miarolítica (fig. 37 B). Frequentemente, as formas esferoidais com maiores dimensões apresentam fosfatos da série trifilite-litiofilite numa assinatura mineralógica coerente com o carácter híbrido dos magmas percussores como se discutiu atrás a respeito dos fenómenos de mistura (fig. 37 C).

FIGURA 37



Dispositivos estruturais de “bubbling” intragranítico – enxames de bolsas miarolíticas de pegmatitos zonados. **A** – lineação fuidal decorrente de ascensão em gradiente gravítico (bolhas elipsoidais alinhadas com polaridade composicional interna – quartzo predomina a teto); **B** – bolha estacionária, esferoidal mas com polaridade composicional interna; **C** – bolha estacionária, esferoidal com fosfatos da série trifilite-litiofilite.

Nestes sistemas intragraníticos pode pois considerar-se que, pelo menos em parte, a origem do Li estará na transferência a partir de magmas mais básicos.

Provém também da expressão de fosfatos de Li o indício mais antigo de expressão mineralógica do Li em contexto da CPCI. Neste caso trata-se de ambligonite-montebbrasite, termos que balizam a série de fosfatos de Li mais ubíqua em diferentes suportes litológicos portadores de Li. Todos os tipos de pegmatitos LCT e híbridos comportam ambligonite-montebbrasite mas também algumas rochas não pegmatíticas contêm estes fosfatos.

Reside aqui o maior interesse da ocorrência desta série como indicadora da fonte mais primitiva de Li.

Leal Gomes *et al.* (2008) e Lobarinhas *et al.* (2014) identificam como Metaconglomerados de Barrocas (Câmbrico indiferenciado) algumas rochas siliciclásticas, rudíticas, muito deformadas e xistificadas que se situam na faixa litoral de Terrenos Autóctones situados a SSE de Caminha. No NW de Portugal este domínio estrutural,

efetivamente, coincide em sentido estrito com a Zona Centro-Ibérica (ZCI).

Curiosamente, estes metaconglomerados apresentam uma expressão textural muito diversificada de fosfatos da série ambligonite - montebbrasite que suscitam a hipótese de existência na CPCI e na ZCI de rochas regionais de cariz sedimentar típico, portadoras de mineralização de Li, que representa portanto uma pré-concentração protolítica não tipicamente magmática.

Aqui os fosfatos de Li tanto podem ser intersticiais, localizados na matriz que envolve os clastos muito achatados, como podem situar-se em veios de quartzo de segregação em diferentes posições texturais internas (fig. 38). As diferentes texturas com ambligonite-montebbrasite podem ser encaradas como uma sequência de remobilizações e reposicionamentos paragenéticos à luz da evolução cinemática dos “fabrics” de alojamento que foi possível discriminar:

- A – pequenas oclusões de junções triplas entre clastos finos de quartzo achatados, em que a am-

bligonite (mineral branco) se associa a turmalina schorl de aparência ainda detrítica (só observável ao microscópio) (Lobarinhas *et al.*, 2014);

- B=>C=>D=>E=>F – estados evolutivos após A, desencadeados por aumento da magnitude de segregação da fase fosfatada e pela sua colheita em espaços intersticiais ou dilatacionais, sucessivamente retrabalhados, em condições de remobilização hidrotermal e deformação progressiva.

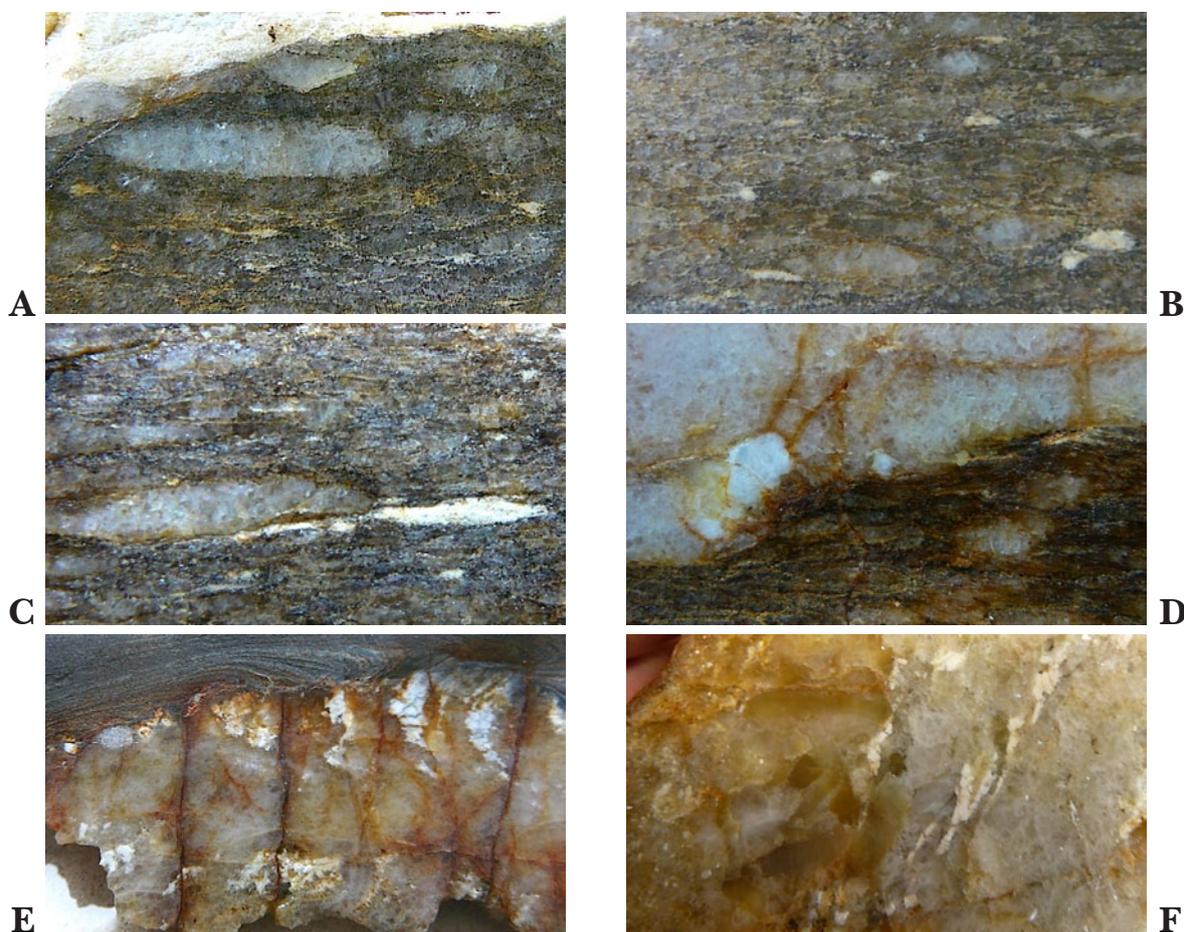
A sucessão paragenética da figura 38 sugere que uma outra fonte do Li podem ser alguns metassedimentos relacionados com os níveis rudíticos ou psamíticos, neste caso possivelmente Câmbrios, que seriam originalmente

enriquecidos em Li e B. Não é pois de excluir uma fonte primordial sedimentar, hipoteticamente, evaporítica.

#### Elementos sobre a distribuição de recursos e reservas

De todos os reposicionamentos paragenéticos de Li atrás discriminados, a única situação de eventual aproveitamento económico que se justifica pesquisar no contexto da CPCI diz respeito aos sistemas graníticos residuais que se expressam como pórfiros, metassomatitos, aplitos e pegmatitos sobretudo os que ocorrem em terrenos deslocados em D2 Varisca, onde as maiores cubicagens de reservas deverão corresponder a volumes dilatacionais em pontos nodais das redes de estruturas de transporte tangencial a transcorrente.

FIGURA 38



Expressão de ambligonite – montebrasite em diferentes suportes litológicos relacionados com o stock litífero expresso em metaconglomerados xistificados de Barrocas. **A** – expressão incipiente de ambligonite-montebrasite em junções triplas de clastos grosseiros achatados do metaconglomerado xistificado (na mesma matriz ocorre turmalina detrítica remobilizada e minerais de argila); **B** – blastos de ambligonite – montebrasite formados a partir de junções ocluídas em metaconglomerado xistificado; **C** – veios de ambligonite-montebrasite formados por incremento de segregação a partir da situação paragenética anterior (na matriz do metaconglomerado xistificado observa-se turmalina recrystalizada); **D** – veio de segregação quartzoso com ambligonite fenocrystalina na salbanda (o encaixante é o metaconglomerado xistificado); **E** – veio de segregação quartzoso sujeito a cisalhamento com ambligonite em veios dilatacionais de ambligonite-montebrasite, “en échelon”, na bordadura (o encaixante continua a ser o metaconglomerado xistificado); **F** – ambligonite-montebrasite em associação de quartzo + mica cataclástica resultante da evolução deformacional e por recrystalização da situação E. Lados maiores das fotos = 7 cm.

Persiste, portanto, a ideia de que a remobilização metalífera mais produtiva no que respeita ao incremento dos quantitativos de recursos potenciais de Li da CPCI depende de estruturas das 2ª e 3ª fases Variscas de deformação e sistemas graníticos residuais fracionados de granitos de duas micas (fig. 39) (Leal Gomes, 2018). Os Terrenos que hospedam os campos filonianos mineralizados são Para-autóctones a Alóctones muitas vezes com uma idade de referência, Silúrica – na Serra de Arga a Vieiros e Seixoso (SA) e em Trás-os Montes Ocidental (TMO). As rochas encaixantes também podem ser granitos, não cogenéticos dos “sills” mineralizados, nos maciços de Viseu-Guarda e Castelo Branco (VGC). Ainda têm alguma expressão alguns corpos filonianos alojados em terrenos essencialmente ante-Ordovícicos do corredor, Douro a Sabugal, Almendra (DSA). Percebe-se que os terrenos de maior interesse potencial são os terrenos Silúricos onde se situam os aplito-pegmatitos com petalite e espodumena após petalite

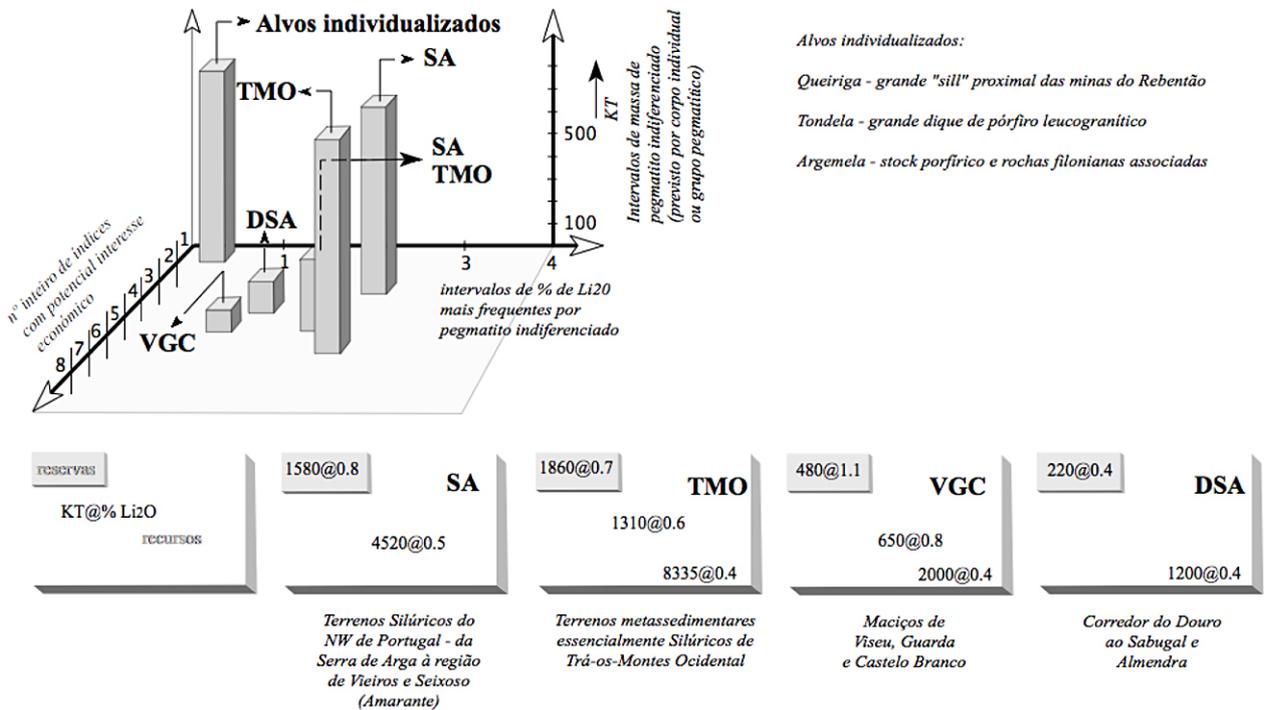
os quais, simultaneamente, têm maiores dimensões e maiores conteúdos potenciais de Li.

A figura 39 discrimina alguns alvos individualizados de grande tonelagem e baixo teor, não tipicamente pegmatíticos, separando-os dos tipos pegmatíticos e aplito-pegmatíticos em sentido estrito.

Para estes últimos, a mesma figura 39, mostra uma quantificação de recursos hierarquizados e reservas prováveis de materiais pegmatíticos potencialmente litiníferos em projeções no quadro original da classificação de McKelvey. Os dados, que são relativos a 2017, resultam de prospeção pontual de alvos cerâmicos e da sua reinterpretação ajustada a análises recentes de Li<sub>2</sub>O em rocha total.

Na tabela 3 encontra-se uma primeira avaliação da massa, provavelmente disponível, em jazidas para as quais já existe uma aceitável cálculo das relações teor/tonelagem.

FIGURA 39



Número de índices, tipos de depósitos, recursos e reservas, de depósitos individuais da CPCI e de depósitos aplito-pegmatíticos alojados em diferentes tipos de terrenos. Acrónimos explicados no texto.

Para os resultados da tabela 3, ainda não se verificam, concretamente, as condições de explorabilidade atuais. A saber:

- relações teor/tonelagem com viabilidade económica (classificáveis como reservas em sentido estrito) – situadas acima do limite mínimo estratégico de 1000KT @ 0.8 - 1.0% Li<sub>2</sub> O;
- profundidades acessíveis, adequadas do ponto de vista tecnológico e económico, à incidência da lavra sobre as relações teor/tonelagem consideradas de viabilidade económica assegurada;
- volume de encaixante reduzido nas traçagens e planos de lavra previstos para os jazigos que se prevêem económicos;
- baixa penalização de produtos potenciais por argilização e lixiviação de Li;
- homogeneidade de distribuição de minérios com granularidade grosseira nos compartimentos desmontados.

TABELA 3

|                      | Até à profundidade (em m) de: | Disponibilidade provável de Li <sub>2</sub> O   |               |               |               | Massa de concentrado previsível (KT) | Conteúdo mineralógico (% Li <sub>2</sub> O no concentrado possível) |
|----------------------|-------------------------------|---|---------------|---------------|---------------|--------------------------------------|---|
|                      |                               | classes de massas de aplito-pegmatito e de conteúdos de Li <sub>2</sub> O correspondentes |               |               |               |                                      |   |
| Beça Grupo Norte     | 85                            | 2.5 MT @ 0.1%   | 1.0 MT @ 0.4% | 450 KT @ 0.9% | 130 KT @ 1.8% | 58                                   | PET (3.5)<br>PET ± ESP (4.1)  |
| Alijó Extensão Sul   | 45                            | 850 KT @ 0.1%   | 500 KT @ 0.9% | 160 KT @ 2.5% |               | 50                                   | ESP (6.0)   |
| Formigoso Massa Sul  | 45                            | 750 KT @ 0.3%   | 200 KT @ 0.9% | 50 KT @ 2.1%  |               | 20 (PET)<br>5 (ESP)                  | PET (3.1)<br>ESP (6.1)  |
| Cabanas Socavões     | 35                            | 500 KT @ 1.4%   | 200 KT @ 0.9% | 100 KT @ 2.2% |               | 20                                   | PET (3.6)   |
| Tondela              | 80                            | 4 MT @ 0.3%   |               |               |               |                                      | micas ± amb ± rocha porfírica (0.3-3.1)                             |
| Vela                 | 40                            | 250 KT @ 1.2%   |               |               |               |                                      | micas ± amb (2.8-3.1)   |
| Queiriga Domínio Sul | 150                           | 4 MT @ 0.5%   | 500 KT @ 2.0% | 250 KT @ 2.8% |               | 180                                  | PET (3.5)   |

Exemplos de recursos incluindo reservas indicadas para alguns depósitos já intervencionados para outras substâncias (adotando uma perspectiva conservadora e naturalista). A jazida de Cabanas, ainda não mencionada, situa-se no campo aplito-pegmatítico da Serra de Arga no Alto Minho.

## CONCLUSÕES

A sinopse de propriedades que consta da tabela 4 reflete as características naturais mais prováveis dos depósitos litiníferos que podem vir a ser considerados económicos com realce para as relações teor/tonelagem em volumes dilatados em posições nodais de redes de cisalhamento ou no caso de aplito-pegmatitos de pequena dimensão em vários corpos filonianos, próximos entre si, que são suscetíveis de serem intersetados nas mesmas cortas.

No caso dos aplito-pegmatitos referidos na tabela 4, atrás, as características dos minérios, a dimensão e o teor correspondem aos tipos e subtipos LCT já estabelecidos, os quais na figura 40 se encontram distribuídos numa transversal à CPCI e também no diagrama de

McKelvey-certeza geológica de ocorrência/viabilidade económica de aproveitamento – através do posicionamento de algumas áreas em que caracteristicamente ocorrem. Na figura 41A os mesmos tipos LCT são localizados no território de Portugal sugerindo-se os níveis de exposição topográficos e estruturais para cada caso.

Em conjugação com a figura 40 percebe-se que a expansão em profundidade dos indicadores de massas pegmatitos e de mineralizações de Li não devem ter grande expressão nem importância.

Na CPCI, em coerência com um maior desenvolvimento das estruturas de transporte tangencial a expansão mais significativa dos depósitos é, certamente, lateral.

Os trabalhos dedicados às ocorrências de espodumena do Litoral Norte (Faria & Leal Gomes, 2017) levam a equacionar a possibilidade das mineralizações de Li em pegmatitos da CPCI, poderem ser bastante mais antigas do que tem sido considerado (Leal Gomes, 1994).

Entre as fontes de Li primordiais podem estar stocks metalíferos retidos em sequências estratigráficas que incluem unidades siliciclásticas rudíticas e psamíticas que têm sido consideradas Câmbrias.

TABELA 4

| Jazigos                          | Granulometria dos minerais                            | % Li <sub>2</sub> O possíveis | Tonelagem potencial | Minérios  | Distribuição dos minérios nos depósitos                                     | Alteração/diluição   | Penalizações  |
|----------------------------------|---|-------------------------------|---------------------|---|---|--|---|
| pórfiros                         | fina a muito fina, homogénea                          | 0.3 – 0.5                     | > 5MT               | ambligonite – montebrasite e micas de Li (pode ser aproveitada a massa mineral no seu conjunto)         | disseminação dispersa, localmente, homogénea                                | incipiente, não significativa  | óxidos de Fe e presença de micas de Fe sem Li   |
| aplito-pegmatitos lepidolíticos  | muito heterogénea, bandada                            | 1.0 – 1.2                     | < 200 KT            | ambligonite-montebrasite “lepidolite” ± petalite - zinwaldite (no encaixante)                           | muito heterogénea mesmo em corpos de pequenas dimensões                     | incipiente a mediana   | zinwaldite no encaixante, ambligonite – montebrasite alterada   |
| aplito-pegmatitos petalíticos    | heterogénea, (por vezes a petalite é muito grosseira) | 0.4 – 1.5                     | < 1.1 MT            | petalite, montmorilonite e espodumena equivalente a petalite ou pseudomórfica com quartzo após petalite | heterogénea bandada, “comb layered”   | média a profunda, hidrotermal a supergénica após transformações em “subsolvus” | cataclase, argilização, deposição de óxidos de manganês, presença de sarcópsido e siderito e gibsitização (pode atingir 50% da massa pegmatítica) |
| aplito-pegmatitos c/ espodumena  | heterogénea a homogénea grosseira                     | 0.8 – 1.8                     | < 50 KT             | espodumena  | heterogénea bandada a zonada  | incipiente a mediana   | argilização, cookeitização  |
| aplito-pegmatitos c/ ambligonite | homogénea, tendencialmente grosseira                  | 0.1 – 2.2                     | < 50 KT             | ambligonite ± taeneolite  | heterogénea zonada com unidades de substituição enriquecidas em micas de Li | incipiente a mediana   | alteração da ambligonite  |

Tipo, teor, tonelagem e minérios das jazidas de Li situadas no contexto da Província Pegmatítica Varisca, considerando os resultados referíveis a um corpo isolado, ou grupo de vários corpos suficientemente próximos para justificarem a exploração numa corta mineira comum.

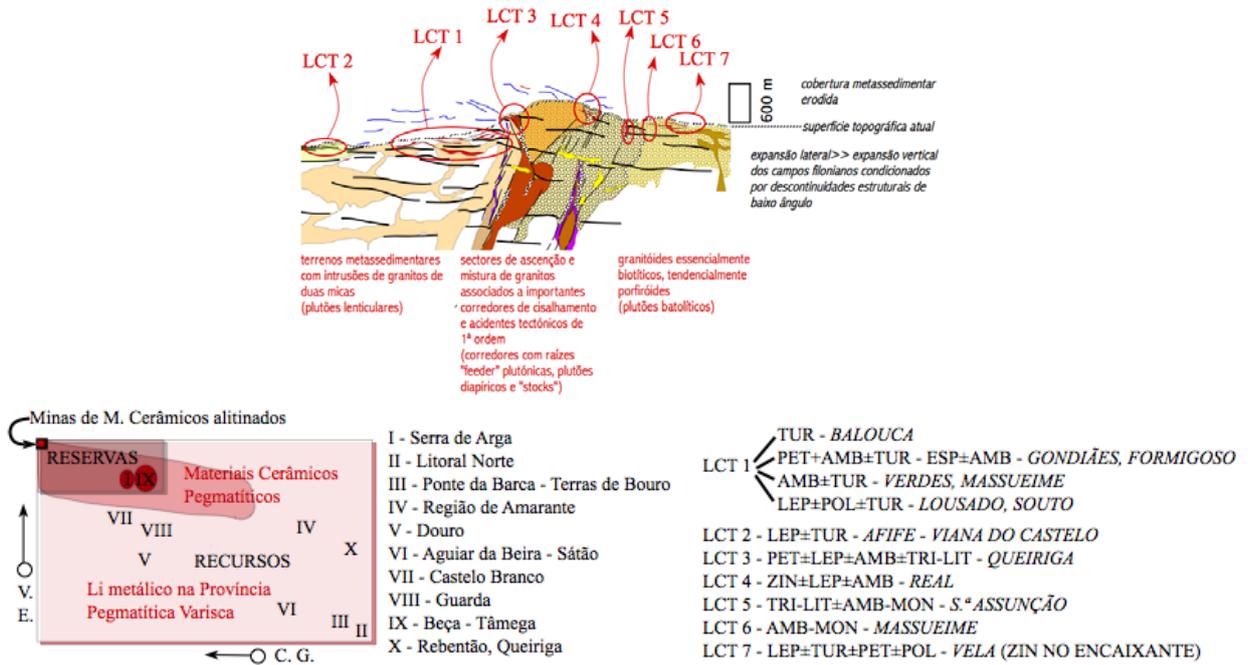
Na figura 41B são delimitadas as áreas mais interessantes para a pesquisa de cada um dos tipos de depósitos e a expansão geográfica da possibilidade de aplicação dos modelos conceptuais que descrevem a sua génese.

Do ponto de vista da viabilidade económica das operações extrativas, a delimitação destas áreas depende do alcance de uma incidência em profundidade por parte de eventuais trabalhos de pesquisa que, por sua vez,

dependerá das profundidades até onde a lavra é razoável face a condicionantes económicas e tecnológicas.

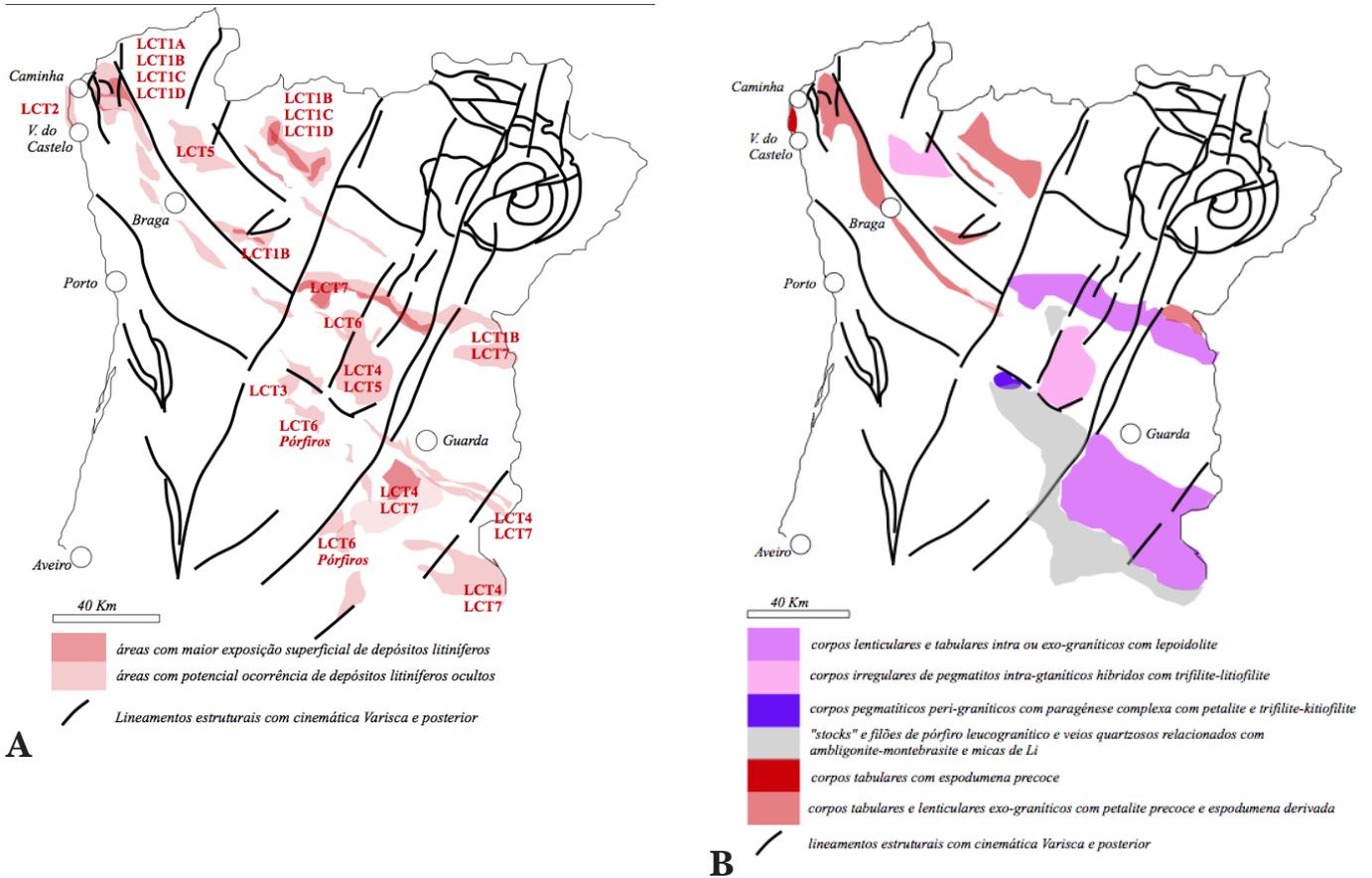
Do ponto de vista da certeza geológica da ocorrência, a delimitação das áreas depende, conceptualmente, de uma prevalência da expansão lateral dos enxames aplito-pegmatíticos em detrimento de uma extensão em profundidade.

FIGURA 40



Distribuições dos apalto – pegmatitos LCT numa transversal da CPCI e no diagrama de McKelvey, com indicação das paragéneses observadas em cada caso.

FIGURA 41



Distribuição em Portugal dos tipos diferenciados de pegmatitos LCT descritos (A) e dos terrenos em que se expandem (A e B).

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, M.R., VALLE-AGUADO, B. (2006) - *Origem e instalação de granitóides variscos na Zona Centro-Ibérica*. In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J.C. (Eds), *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria*. Universidade de Évora, Évora, 107-121.
- BRISBIN, W. (1986) - *Mechanics of pegmatite intrusion*. *American Mineralogist*, vol. 71: 644-651.
- CANDELA, P. A. (1997) - A review of shallow, ore-related granites: textures, volatiles, and ore metals. *Journal of Petrology*, 38(12), 1619-1633.
- CERNY, P. & ERCIT, T. (2005) - *The Classification of granitic pegmatites revisited*. *Canadian Mineralogist*, vol. 43: 2005-2026.
- CERNY, P. (1982) - *Anatomy and classification of granitic pegmatites*. MACshort Course Handbook 8: 1-39.
- COSTA, M.M., NEIVA, A.M.R., AZEVEDO, M.R., CORFU, F. (2014) - Distinct sources for syntectonic Variscan granitoids: Insights from the Aguiar da Beira region, Central Portugal. *Lithos*, 196-197, 83-89.
- DIAS, P.; ARAÚJO, P.; PEREIRA, M.; PEREIRA, B.; AZEVEDO, J.; OLIVEIRA, J.; CARVALHO, J.; LEAL GOMES, C. (2013a) - *Structural and paragenetic analysis of swarms of bubble like pegmatites in a miarolitic granite from Assunção South – Viseu – Central Portugal*. Proceedings of the 6th International Symposium on Granitic Pegmatites (PEG 2013), United States, pp. 39-40.
- DIAS, P.; ARAÚJO, P.; PEREIRA, M.; PEREIRA, B.; LEAL GOMES, C. (2014) - *Evidências de fenómenos de “bubbling” no maciço granítico de Ferreira de Aves (Viseu): análise estrutural e paragenética*. *Comunicações Geológicas* 101, Especial I, 255-260.
- DIAS, P. (2012) - *Análise estrutural e paragenética de produtos litológicos e mineralizações de segregação metamórfica: estudo de veios hiperaluminosos e protólitos poligénicos silúricos da região da Serra de Arga (Minho)*. Tese de doutoramento, Universidade do Minho, 466 p.
- DIAS, P.; LEAL GOMES, C. (2005) - *Tipologia dos materiais cerâmicos petalíticos provenientes de aplito-pegmatitos graníticos da Cintura Centro-Ibérica*. Atas do IV Seminário Recursos Geológicos, Ambiente e Ordenamento do Território Vila Real. pp. A – 12 – 16.
- DIAS, P.; PEREIRA, B.; AZEVEDO, J.; OLIVEIRA, J.; LEAL GOMES, C.; CARVALHO, J. (2013b) - *Pegmatite Productive Terrains in the Variscan Granite Hosts From Northern and Central Portugal*. Proceedings of the 23rd International Mining Congress and exhibition of Turkey (IMCET 2013), Antalya, Turkey, pp. 2121-2129.
- DIAS, R. & RIBEIRO, A. (1995) - *The Ibero-Armorican Arc: a collision effect against an irregular continent?* *Tectonophysics*, vol. 246: 113-128.
- DOBLAS, M. (1998) - *Slacks side kinematic indicators*. *Tectonophysics*, vol. 295: 187-197.
- FARIA, C.; AIRES, J.; DIAS, F.; PEREIRA, P.; CUNHA, M.; PINTO, A.; LEAL GOMES, C. (2016) - *Dilatação e implantação permissiva de pegmatitos no litoral Norte de Portugal. I – análise geométrica do local chave, Moledo*. VI Congresso Jovens Investigadores em Geociências, LEG 2016 Estremoz, 19-20 novembro 2016 Livro de Atas.
- FARIA, C.; LEAL GOMES, C. (2017) - *Análise estrutural de pegmatitos graníticos do Litoral Norte de Portugal – dispositivos estruturais internos e “fabrics” mineralógicos*. *Geonovas* N° 30: 87 a 106.
- FARIA, C.; PINTO, A.; CUNHA, M.; DIAS, F.; PEREIRA, P.; AIRES, J.; LEAL GOMES, C. (2016) - *“Fabric” de Espodumenas em Pegmatitos Graníticos do Litoral Norte de Portugal*. VI Congresso Jovens Investigadores em Geociências, LEG Estremoz, Livro de Atas, 19-20.
- LEAL GOMES, C. (2016) - *Mineralizações e Recursos de Tântalo no Norte de Portugal – análise paragenética*. *Geonovas*, 29, pp. 03-42.
- LEAL GOMES, C. & AZEVEDO, A. (2003) - *Caracterização difractiva e evolução paragenética de fosfatos em pegmatitos do grupo Senhora de Assunção, Viseu*. IV Congresso Ibérico de Geoquímica: XIII Semana de Geoquímica: resumos/comissão organizadora A. M. R. Neiva [et al.]. Coimbra: Universidade de Coimbra. Departamento de Ciências da Terra. 56-58.
- LEAL GOMES, C. (Coord.) - (2008) - *Proposta de revisão da Folha 1-C (Caminha) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000*. Minutas de Revisão no Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) e arquivo - repositório Univ. Minho.
- LEAL GOMES, C. (1995) - *Discriminação do espectro de recursos base associados à evolução granítica residual no campo filoniano de Arga - Minho - N de Portugal*. *Estudos, Notas e Trabalhos, I.G.M.*, 37, pp. 59-86.
- LEAL GOMES, C. (2005) - *Contributo para a sistemática dos pegmatitos graníticos referentes à Cintura Varisca Centro - Ibérica - Características a considerar e quadro tipológico*. *Geonovas*, 19, pp. 35-45.
- LEAL GOMES, C. (1994) - *Estudo Estrutural e Paragenético de um Sistema Pegmatóide granítico - O campo Aplito - Pegmatítico de Arga*. Tese de Doutoramento Univ. Minho, Braga, 695.
- LEAL GOMES, C. (1997) - *Evolução em subsolidus de paragéneses pegmatíticas- Sistema granítico residual da serra de Arga (Minho – N de Portugal)*. X Semana de Geoquímica - IV Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, Braga, Portugal, 195-198.
- LEAL GOMES, C. (2010a) - *Distribuição espacial dos recursos de materiais cerâmicos pegmatíticos no Noroeste de Portugal – Matriz orogénica e metalogénese relacionada*. In *Ciências Geológicas – Ensino e investigação e sua História*. Coteló Neiva, J. M., Ribeiro, R., Victor, M. Noronha, F., Ramalho, M. (Eds.), II, 25-35.
- LEAL GOMES, C. (2010b) - *Assinatura fosfática de linhagens pegmatíticas Variscas – NW de Portugal*. VIII Congresso Nacional de Geologia, Braga, Portugal, 1-4.
- LEAL GOMES, C. (2015) - *O determinante petalítico dos teores máximos de lítio em pegmatitos Variscos do NW de Portugal – aproximação paragenética e geoquímica*. *Comunicações Geológicas* (2015) 102, Especial I, 53-56.
- LEAL GOMES, C. (2018) - *Panorâmica sobre condições naturais de ocorrência de minérios de lítio no Norte de Portugal – Perspetivas de valorização de recursos de Lítio metálico*. in: *Recursos geológicos de Trás-os-Montes – Passado, presente e perspetivas futuras*. Eds: Balsa, C., Teixeira, J., Instituto Politécnico de Bragança, 57-95.
- LEAL GOMES, C.; AZEVEDO, A.; LOPES NUNES, J.; DIAS, P. A. (2009) - *Phosphate fractionation in pegmatites of Pedra da Moura II claim – Ponte da Barca – Portugal*. *Estudos Geológicos (Special Issue of contributions to the 4th International Symposium on Granitic Pegmatites)*, vol. 19 (2), pp. 172-176.
- LEAL GOMES, C.; LETERRIER, J. (1995) - *Evolução Geoquímica em Sistemas Pegmatóides Graníticos - Tendências Primárias do Sistema de Arga*

- *Minho - N de Portugal*. Memórias n<sup>o</sup>4, Publ. Museu Lab. Min. Geol., Univ. Porto, p. 735-740.

LEAL GOMES, C.; LOPES NUNES, J. (1990) - *As paragénese correspondentes à mineralização litinífera do campo aplito-pegmatítico de Arga-Minho (Norte de Portugal)*. Memórias e Notícias, publ. Mus. Lab. Mineral. Geol., Univ. Coimbra, 109, pp. 131-166.

LEAL GOMES, C.; LOPES NUNES, J. E. (2003) - *Análise paragenética e classificação dos pegmatitos graníticos da Cintura Hercínica Centro-Ibérica. A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos, Coimbra - Imprensa da Universidade*, Vol. II, 85-109.

LOBARINHAS, D.; DIAS, P.; LEAL GOMES, C. (2014) - *Contribuição para uma discriminação mineralógica e clástica de formações metassedimentares da região de Caminha, Norte de Portugal*. Comunicações Geológicas 101, Especial I, 131-135 p.

LONDON, D. (1984) - *Experimental phase equilibria in the system Li Al SiO<sub>4</sub> - SiO<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O: a petrogenetic grid for the lithium - rich pegmatites*. Amer. Mineral., 69, pp.995-1004.

MOURA, S.; FERNANDES, J.; LEAL GOMES, C.; DIAS, P.; LOPES NUNES, J. (2009) - *A fase petalite nos recursos base de materiais cerâmicos pegmatíticos do Norte de Portugal - materialografia e potencialidades da Província Varisca*. KÉRAMICA, Rev. Ind. Cer. Portuguesa, n<sup>o</sup> 299, ANO XXV, pp. 6-20.

MOURA, S.; LEAL GOMES, C.; LOPES NUNES, J. (2010) - *As assinaturas LCT e NYF em aplito-pegmatitos Variscos de metais raros do do NW de Portugal*; e-Terra, V 20 - n<sup>o</sup> 8. VIII Congresso Nacional de Geologia, Braga, Portugal, 5-8.

PEREIRA, E. (Coordenador) (1989) - *Folha 1 – Minho – Carta Geológica de Portugal à escala 1:200.000*. Serv.Geol. Portugal.

PEREIRA, M.; LEAL GOMES, C. (2014) - *Paragénese contrastantes no campo pegmatítico de Arga (NW de Portugal), diversidade e equilíbrio*. Comunicações Geológicas (2014) 101, Especial I, 181-185.

PERETYAZHKO, I.S. (2010) - *Genesis of mineralized cavities (miaroles) in granitic pegmatites and granites*. Petrology, 18, 183-208.

PHILLIPS, W.J. (1972) - *Hdraulic fracturing and mineralization*. Q.J.G.S., London, 128, 33-359.

PHILLIPS, W. J. (1974) - *The dynamic emplacement of cone-sheets*. Tectonophysics, 24, 69-84.

ROBERTS, J. L. (1970) - *The intrusion of magma into brittle rocks*. In Newal and Rast, mechanism of igneous intrusion. Gallery Press, Liverpool, 287-338.

TEIXEIRA (coord), (1972) - *Folha 14-D (Aguiar da Beira) da Carta Geológica de Portugal na escala 1:50 000*. Serv. Geol. Portugal.

THOMAS, R., DAVIDSON, P., RHEDE, D., LEH, M. (2009) - *The miarolitic pegmatites from the Königshain: a contribution to understanding the genesis of pegmatites*. Contributions to Mineralogy and Petrology, 157(4), 505-523.