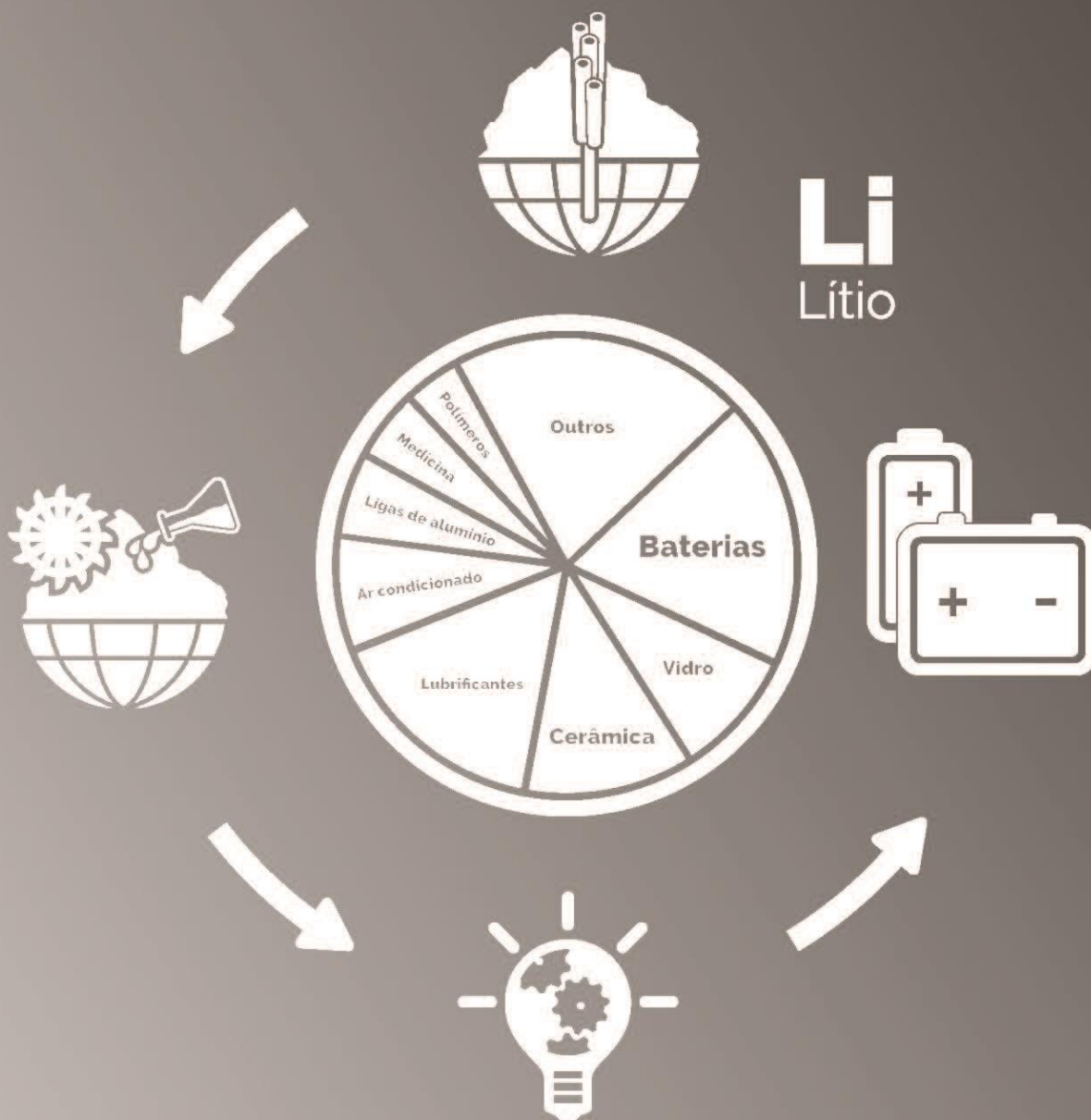


RELATÓRIO DO GRUPO DE TRABALHO "LÍTIO"

Criado por despacho n.º 15040/2016 de S.E. o Secretário de Estado da Energia publicado no DR, 2.ª série, de 13 de dezembro de 2016.



RELATÓRIO DO GRUPO DE TRABALHO “LÍTIO”

Criado por

Despacho n.º 15040/2016 de S.E. o Secretário de Estado da Energia
publicado no DR, 2.ª série, de 13 de dezembro de 2016

27 de março 2017

RESUMO EXECUTIVO

Respondendo ao dinamismo que se tem verificado no nosso país de pedidos de atribuição de direitos de prospeção e pesquisa e de exploração de depósitos minerais de lítio, alavancados pela procura global deste metal com vista à respetiva utilização nas baterias para a indústria automóvel, foi criado o Grupo de Trabalho «Lítio» pelo Despacho n.º 15040/2016 de S.E. o Secretário de Estado da Energia, publicado no DR, 2.ª série, de 13 de dezembro de 2016).

O presente Resumo Executivo condensa de forma sucinta o resultado do GT, respondendo à missão superiormente definida pelos seguintes termos de referência:

- Identificar e caracterizar as ocorrências dos depósitos de minerais de lítio e as atividades económicas de revelação e de aproveitamento a ele associadas.
- Estabelecer uma hierarquia de prioridades e tendências de utilização industrial desse recurso, procurando a maximização do benefício económico;
- Definir um programa de valorização dos minerais de lítio existentes em Portugal, suportado pelo levantamento do “estado da arte” do conhecimento existente no país sobre a viabilidade técnica do processamento e metalurgia para a valorização dos minérios nacionais com vista à produção de compostos de Li;
- Propor medidas que fundamentem a criação de unidade de processamento e beneficiação específica para estes minerais.

O **Mercado do Lítio** e dos seus compostos abrange aplicação num amplo e diversificado espectro de indústrias, incluindo a cerâmica e o vidro, os lubrificantes industriais, aplicações médicas, baterias, siderurgia de alumínio, entre muito outros, contribuindo para a produção de uma ampla gama de bens transacionáveis. A unidade de medida mais comum, quando se refere ao mercado de lítio, é o "Carbonato de Lítio Equivalente" ou "LCE" ("Lithium Carbonate Equivalent").

O carbonato de lítio (Li_2CO_3) é o produto mais comum nas transações do mercado deste metal de lítio, tendo atingido em 2015 aproximadamente 90kt de LCE, que corresponde a cerca de 50% do volume do mercado global. O segundo produto de lítio mais comercializado é o hidróxido de lítio (LiOH), com uma cota de 20%, seguido dos concentrados de minerais de lítio normalmente usados na indústria cerâmica e do vidro, com volumes de vendas que representam os 14%. Os restantes produtos representam mais ou menos 13% do mercado (Deutsche Bank, 2016).

Um **Quadro Legal e Regulamentar** que seja justo, transparente, claro e previsível é um fator determinante para as decisões de investimento e respetivo contributo para o desenvolvimento

económico, situação com importância acrescida no caso das atividades de revelação e aproveitamento de recursos geológicos.

Neste contexto, Portugal é um exemplo de estabilidade no enquadramento jurídico da indústria extrativa. Na verdade, a legislação mineira de 1930 (Decreto nº 18713, de 01.08.1930) esteve em vigor 60 anos e a que se lhe seguiu, em 1990 (Decreto-Lei nº 90/90, de 16.03), vigorou 25 anos até à atual Lei nº 54/2015, de 22.6 (LBRG), que se encontra em fase de regulamentação. Para além do facto de Portugal ser um país com legislações mineiras estáveis e duradouras, acresce a consagração constitucional (art.º 84.º da Constituição da República Portuguesa) e legal (art.º 5.º da Lei nº 54/2015, de 22.6) da dominialidade pública dos depósitos minerais, havendo assim no nosso país um interesse público subjacente a esta integração dos depósitos minerais no domínio público do Estado.

No âmbito da regulamentação em curso está previsto que deverá ser assegurada uma exploração sustentável dos recursos geológicos, económica, social, ambiental e territorial, atentos os valores da transparência e da segurança na atração do investimento, do interesse público dos recursos geológicos integrados no domínio público do Estado e da sua natureza escassa, insubstituível e não deslocalizável, enquadrada no **princípio da coexistência** com outros usos do solo e no **princípio da paridade** dos valores destes recursos naturais com os valores ambientais e territoriais.

Sobre o **Enquadramento Geológico e Potencial Mineiro**, o GT trabalhou um grande acervo de documentação arquivada e publicada sobre as ocorrências de minerais de lítio.

O lítio é o elemento metálico mais leve que se conhece e ocorre na natureza fazendo parte de diversas espécies minerais, sendo as mais comuns a espodumena, a lepidolite, a petalite, a amblygonite-montebrazite e a trifilite-litiofilite. Estes minerais estão geralmente associados a estruturas filonianas aplitopegmatíticas ou hidrotermais que se formam nos estágios finais de consolidação de magmas graníticos.

Desde a década de 1990 que as instituições do tipo Serviço Geológico Nacional ou que o incluíram foram dando prioridade crescente às atividades de inventariação e de investigação mineral e caracterização tecnológica das ocorrências de minerais de lítio e de forma mais intensiva nos últimos 15 anos, procurando antecipar o aproveitamento estratégico desse tipo de minérios:

- Numa primeira fase, até ao ano 2000 e aproveitando a oportunidade de divulgar resultados de projetos internos de prospeção e pesquisa que decorreram nas regiões da Guarda – Seixo Amarelo/Gonçalo e de Barroso Alvão, foi publicada uma importante coletânea desses trabalhos num tomo especial da revista Estudo, Notas e Trabalhos, publicação tradicional e histórica do Serviço de Fomento Mineiro. Estes projetos e a publicação dos resultados alcançados contribuíram, assim, de uma forma determinante para o conhecimento do nosso território e dos seus recursos minerais litiníferos. Já nessa altura, embora ainda muito marcada pela utilização dos minérios de lítio apenas para o mercado interno da cerâmica, foram dados os primeiros passos para demonstrar a importância de uma etapa tecnológica para beneficiação dos minérios de lítio conducente à produção de concentrados, como estratégia nacional para o aproveitamento integral desse importante recurso; esta estratégia foi na altura enquadrada dentro do chamado “paradigma tecnológico”, em contraponto ao “paradigma do

abastecimento” que até então norteava a definição de objetivos dos projetos públicos, no sentido de que os recursos primários devem ser explorados potenciando de forma maximizada todas as suas mais valias; mesmo para a indústria cerâmica reclamava-se a importância dessa etapa tecnológica como forma de oferecer ao mercado misturas quartzo-feldspáticas com teor de lítio de controlado, para valorização do poder fundente dessas misturas na diminuição dos consumos energéticos no processo de cozedura;

- Posteriormente, já em pleno advento do reconhecimento da importância dos compostos de lítio em aplicações tecnológicas mais avançadas, em 2011 o LNEG, a DGEG e a ADI, no âmbito do programa Ibero-Americano de desenvolvimento CYTED (IBEROEKA), promovem a realização de um importante encontro em volta do tema “Valorização dos Pegmatitos Litiníferos”, ao qual acorreram todos os grupos nacionais que investigam sobre os temas do lítio e contou com a presença de especialistas estrangeiros, brasileiros, espanhóis e argentinos;
- Ambas as publicações ficaram a marcar a evolução do conhecimento geológico, mineiro e tecnológico do potencial litinífero em Portugal e, por certo, terão contribuído de forma indelével para o crescimento do investimento em prospeção e pesquisa desse recurso, captando interesses internacionais, como se está a assistir no momento em que este relatório é apresentado publicamente.

Em termos metalogenéticos, a região norte e centro de Portugal enquadra-se na Província tungsteno-estaniífera do NW da Península Ibérica, mundialmente conhecida, caracterizada pela ocorrência de estruturas aplitopegmatíticas e hidrotermais que localmente se apresentam enriquecidas em minerais daqueles metais, bem como em minerais de lítio. Estas ocorrências estão geneticamente associadas a intrusões graníticas sin-tarditectónicas relativamente à terceira fase de deformação varisca, com idades compreendidas entre os 320 e os 290 milhões de anos.

São descritas 9 regiões com ocorrência de mineralizações de lítio em Portugal. Distribuem-se desde Caminha, no Alto Minho, até Idanha-a-Nova, na Beira Baixa e por esta ordem são apresentadas no presente relatório, pelo que essa ordenação não reflete qualquer hierarquia de importância entre elas:

- Serra de Arga
- Barroso – Alvão
- Seixoso – Vieiros
- Almendra
- Barca de Alva – Escalhão
- Massueime
- Guarda (incluindo Seixo Amarelo – Gonçalo, Gouveia, Sabugal, Bendada e Mangualde)
- Argemela
- Segura

As estruturas mineralizadas estão encaixadas em rochas graníticas, como é o caso dos campos filonianos na região da Guarda, ou em rochas metassedimentares de idade Neoproterozoico a Silúrico

para os restantes casos, embora em alguns se verifiquem ambas as situações (Serra de Arga, Argemela e Massueime). De um modo geral correspondem a:

- Estruturas aplitopegmatíticas tabulares, dispostas de modo sub-horizontal (soleiras) ou subvertical (diques);
- Em algumas situações particulares, as estruturas mineralizadas correspondem a filões quartzosos de natureza hidrotermal, caso de Argemela, ou de transição entre pegmatítica e hidrotermal, caso de Massueime;
- A espessura é muito variável, desde alguns centímetros a mais de uma dezena de metros, mas, em geral, rondando 1 metro;
- A extensão dos afloramentos destas estruturas é também muito variável, desde algumas dezenas de metros até mais de 1 km;
- A orientação destas estruturas é variável de região para região e mesmo dentro do mesmo campo filoniano, onde é comum uma distribuição local sobre a forma de enxames de filões; o contacto com as rochas encaixantes é geralmente brusco, com uma orla de metassomatismo de contacto muito reduzida, centimétrica a decimétrica.

Em termos metalogenéticos, as estruturas mineralizadas correspondem maioritariamente a pegmatitos com elementos da família LCT (Li, Cs, Ta), subtipos espodumena, petalite e lepidolite:

- As paragénese são variáveis de região para região e mesmo ao nível de cada um dos campos filonianos considerados:
 - de um modo muito genérico, os minerais principais correspondem a quartzo, ortóclase, albite, moscovite, biotite e minerais de lítio (espodumena, petalite, ambligonite e lepidolite);
 - também de modo muito genérico, como minerais acessórios conta-se a turmalina, berilo, granada, columbite-tantalite, cassiterite, entre outros, incluindo minerais de lítio quando não pertencentes à paragénese principal;
- Frequentemente os aplitopegmatitos apresentam-se zonados, sendo possível distinguir bandas em que a fácies aplitica ou a pegmatítica é predominante e também zonamentos ao nível da concentração dos minerais de lítio.

Quanto a recursos conhecidos nos diversos campos filonianos os dados existentes são escassos:

- Para a região de Barroso – Alvão são apresentadas 14 milhões de toneladas de minério litinífero com um teor médio de 1% Li_2O , correspondentes ao somatório de diversas estruturas aplitopegmatíticas, que podem ser integrados na categoria de Recursos Minerais Inferidos;
- Para o campo aplitopegmatítico de Seixo Amarelo – Gonçalo, na região da Guarda, foram estimadas 1,4 milhões de toneladas com teor médio de 0,42 % Li_2O classificáveis como Recursos Minerais Medidos;

- Para a região de Argemela, com um Recurso Mineral Inferido (parte superior do jazigo) de 20,1 milhões de toneladas com 0,4% Li_2O , estima-se, no entanto, a existência para todo o jazigo de mais de 200 milhões de toneladas de minério com teor de 0,4% Li_2O para as quais não existem ainda dados completos que as permitam classificar seguramente na categoria de Recurso Mineral;
- Da informação disponível na DGEG, a partir de relatórios técnicos de cinco empresas, com direitos atribuídos de prospeção e pesquisa e de exploração, é possível estimar em recursos mineralizados de lítio, um total de (milhões de toneladas) 29,74 Mt@0,81% Li_2O , sendo 16,80 Mt@0,88% Li_2O classificados como inferidos, 12,30 Mt@0,68% Li_2O como indicados e 0,64 Mt@1,50% Li_2O como medidos.

Importa salientar que os teores apontados se referem a diversos tipos de minérios cujas especificidades próprias de cada um condicionam a rentabilidade de eventuais aproveitamentos para a produção de lítio.

As **Atividades Económicas** desenvolvidas em Portugal para prospeção, pesquisa e exploração de pegmatitos graníticos tem tido como objetivo principal a produção de quartzo, feldspato e, suplementarmente, o lítio. As produções declaradas pelos concessionários de feldspatos com lítio são relativamente baixas e traduzem a exploração de apenas cinco empresas.

Os minerais de lítio ocorrentes em Portugal, nomeadamente a petalite, espodumena, lepidolite e fosfatos de lítio, têm sido utilizados como materiais cerâmicos, beneficiando o processo fundente industrial, constituindo uma mais-valia para a produção de pastas cerâmicas, uma vez que o ponto de fusão se torna mais baixo em presença do lítio, permitindo assim diminuir o consumo energético. A exploração e prospeção de recursos pegmatíticos em território nacional deverá também visar o aproveitamento de metais neles contidos, para além do lítio, designadamente, tântalo, nióbio e estanho, na perspetiva de um aproveitamento integral daqueles depósitos minerais, contribuindo ainda para a produção de resíduos próximo de zero.

Recentemente (2015-2016) verificou-se uma subida acentuada dos preços do lítio no mercado internacional tendo presente previsões de, a breve prazo, se verificar um exponencial aumento de automóveis elétricos (EVs), o que faz prever uma elevada procura de lítio a nível mundial. É, assim, expectável que a prospeção e pesquisa deste recurso mineral, bem como a sua exploração e valorização venham a merecer um acentuado incremento, nomeadamente em países com recursos minerais de lítio geologicamente reconhecidos, como é o caso de Portugal.

Confirmando esta expectativa, existe um notório interesse crescente de empresas estrangeiras pelos minerais de lítio nacionais, tendo dado entrada na DGEG, só em 2016, 30 pedidos de direitos de prospeção e pesquisa de lítio, como substância mineral principal, correspondendo no conjunto a cerca de 3,8 milhões de euros de investimento proposto para uma área total de 2.500 km^2 , o que demonstra que Portugal dispõe de razoável informação geológica e mineira de base, facto que contribui para reduzir o risco dos investimentos.

Decorrem ainda na DGEG outros processos de pedidos de direitos de prospeção e pesquisa e de concessão, bem como contratos de prospeção e pesquisa e de concessão, tendo o lítio como substância mineral acessória.

Existem titulares de direitos de prospeção e pesquisa que, cientes do potencial económico de jazidas avaliadas, vêm manifestando o propósito de explorar minérios de lítio e proceder à sua valorização (tratamento), tendo em vista a produção de concentrados, para o que irão apresentar na DGEG o necessário pedido de concessão.

A DGEG procedeu ao mapeamento das localizações das áreas correspondentes aos pedidos e contratos (de prospeção e pesquisa e de concessão), tendo como referência a informação geológica disponibilizada nos diferentes pedidos e contratos para o lítio, tendo sido possível definir 11 "campos", que configuram as zonas de potencial interesse das empresas.

Para cada "campo", foram elencadas as condicionantes de ordenamento, mencionadas como servidões administrativas, que poderão condicionar o início e/ou decurso dos projetos de prospeção e pesquisa e/ou as futuras, eventuais, explorações.

O “paradigma da valorização tecnológica”, acima descrito, tem como pressuposto a **Viabilidade Técnica da Produção de Concentrados de Minerais** como ponto fulcral de mais-valias do aproveitamento económico, temática que mereceu atenção do GT para compilar a experiência acumulada em Portugal sobre as tecnologias de processamento aplicáveis a minérios de lítio portugueses, tendo chegado às seguintes conclusões principais:

- Os minérios de lítio portugueses são tecnologicamente valorizáveis, através da aplicação simples ou combinada de processos de separação por Meios Densos, Separação Ótica e Flutuação por Espumas, existindo evidência experimental sobre a aplicação dessas tecnologias a todos os tipos de minérios litiníferos nacionais para produzir concentrados destinados a:
 - Indústria dos compostos de lítio, produzindo concentrados de minerais de lítio de alto teor;
 - Indústria cerâmica, garantindo “constância” de teor;
- A valorização de estruturas mineralizadas pouco “possantes” depende da viabilidade técnica de uma operação de pré-concentração a calibre grosseiro (10 mm) que permite rejeitar rocha encaixante em estádios precoces do diagrama de processamento;
- A experiência mostrou que, em certos casos, não foi possível obter concentrados de flutuação de teor tão próximo do valor estequiométrico dos minerais quanto o desejável, porque em algumas paragénese ocorrem oclusões micrométricas (em gamas < 10 µm) de outros minerais, como o quartzo e a albite, no interior de cristais de minerais de lítio de maiores dimensões, levando a que nos concentrados sejam recolhidas partículas ainda por libertar na totalidade;
- Os efeitos de metassomatismo na rocha encaixante conduzem, em geral, à disseminação de lítio no encosto das estruturas mineralizadas. Esta situação deve ser acautelada porque empola os resultados das análises químicas e pode conduzir a valores de recuperação do lítio menos

encorajadoras que, nesse caso, não são atribuíveis a ineficiências do processamento tecnológico

- Finalmente, deve assinalar-se que o atraso verificado na adoção de tecnologias de processamento para valorização de minérios de lítio, através da produção de concentrados de alto teor, não se deve a qualquer desconhecimento das tecnologias aplicáveis ou a quaisquer outros aspetos menos positivos dos minérios de lítios nacionais, mas sim a condicionantes de mercado que, até muito recentemente, terão inviabilizado ou tornado menos atrativos os respetivos investimentos.

O tema da **Metalurgia** ocupou um lugar central nas pesquisas efetuadas pelo GT, dada a importância desta fase de valorização do recurso mineral para produzir os compostos de lítio que atingem as maiores cotações no mercado, a partir das suas fontes minerais ou dos concentrados obtidos na beneficiação mineralúrgica.

O produto metalúrgico final mais comum é o carbonato de lítio, sendo o hidróxido de lítio uma alternativa. Por isso, a produção, os custos e os rácios técnicos e económicos são frequentemente expressos por unidade de carbonato de lítio equivalente, como já referido anteriormente.

As duas principais fontes minerais de lítio são as salmouras (essencialmente, lagos salgados) e os minerais alojados em pegmatitos, principalmente silicatos como a espodumena, a lepidolite e a petalite:

- Desde há várias décadas predomina a extração de lítio a partir de salmouras, devido ao menor custo operacional, comparativamente com a extração a partir de pegmatitos;
- Embora os custos de produção variem de acordo com a região, com os teores e com outros fatores produtivos, podem indicar-se como custos de produção os valores típicos seguintes que explicam a opção metalúrgica dos últimos anos:
 - 2000 US\$/t CLE para produção a partir de salmouras;
 - 5000 US\$/t CLE para produção a partir de pegmatitos;
- Contudo, a procura crescente de lítio no mercado tem permitido o lançamento de alguns projetos para a extração a partir de pegmatitos e de depósitos sedimentares, procurando soluções inovadoras que permitam reduzir os custos de produção.

Ao observar os processos de fabricos correspondentes aos dois tipos de fontes minerais, compreende-se que as diferenças nos custos resultam da complexidade relativa desses processos: enquanto o lítio nas salmouras já está numa forma solúvel em água, necessitando apenas de operações de concentração (evaporação, vulgarmente usando energia solar) e purificação, nos minerais dos pegmatitos há que realizar uma série de operações de mineração, concentração física, conversão térmica e reação química, até conseguir obter o lítio numa forma solúvel. Há, pois, neste caso, custos acrescidos nos consumos de reagentes químicos (vulgarmente o custo mais importante) e de energia.

Os processos clássicos de processamento metalúrgico, já testados laboratorialmente para alguns minérios de jazigos Portugueses, são:

- Processo de calcinação seguida de digestão ácida;
- Processo de ustulação com cal;
- Estes processos são vulgarmente alimentados por um concentrado com teores na gama 4.5-6% Li_2O ;
- A conversão térmica realiza-se a alta temperatura (>900°C). Nos desenvolvimentos recentes tem-se procurado diminuir a temperatura do processo de conversão e também os consumos de reagentes, quer por alteração ou melhoria dos processos reativos, quer pela introdução de operações unitárias que visam uma gestão mais eficiente dos fluxos processuais;
- São referidos em bibliografia e publicitados projetos em curso que procuram novos processos para a recuperação metalúrgica do lítio a partir de pegmatitos, nomeadamente no Canadá, na Austrália e na Finlândia.

Com a procura crescente do lítio, a reciclagem de produtos em fim-de-vida, nomeadamente das baterias de iões-Li, é fundamental de forma a implementar um sistema de economia circular para este metal. Com o desenvolvimento do veículo elétrico, esta questão tornar-se-á estratégica. A maioria dos processos de reciclagem deste tipo de baterias, atualmente vigentes, estão mais focados na recuperação de outros metais de valor presentes nas baterias (como o cobalto e o níquel), mas os processos futuros terão que encarar a recuperação do lítio como um objetivo prioritário.

“Análise SWOT”

Com base na análise dos pontos mais relevantes de todos os capítulos incluídos no relatório, elaborou-se uma **análise SWOT**, na qual se destacam os seguintes pontos:

I) Pontos Fortes:

- a) **Potencial mineral**, com vários e extensos campos filonianos apto-pegmatíticos hospedeiros de vários minerais de lítio.
- b) **Elevada atratividade** para investimentos no sector mineiro, devido ao quadro legal, suporte institucional e excelente infraestrutura, materializada em várias dezenas de pedidos para prospeção e pesquisa e exploração de recursos minerais litiníferos.
- c) **Know-how elevado** na prospeção, caracterização, exploração e processamento de recursos minerais litiníferos em instituições de investigação e universitárias e em empresas.

II) Pontos Fracos:

- a) Desigualdade no grau de conhecimento existente sobre as várias jazidas, suportado nomeadamente por dados robustos, em especial em profundidade, que se reflete numa **deficiência acentuada numa estimativa de recursos/reservas** à escala nacional e que decorre da redução do investimento público e da quase total ineligibilidade dos custos de sondagens nos programas de financiamento da atividade de I&D, nacionais e europeus.

- b) **Debilidades crescentes nos recursos humanos e financeiros** das instituições governamentais relacionadas com o sector mineiro.
- c) **Falta de incentivos às empresas do sector**, sem qualquer benefício fiscal e/ou relacionados com a redução de custos energéticos, numa atividade de risco que necessita de investimentos avultados, mas geradora de emprego e riqueza.

E ainda as seguintes oportunidades/ameaças:

III) **Oportunidades:**

- a) Desenvolvimento de um programa de “fomento mineiro”, destinado a **avaliar os recursos** minerais litiníferos do País, numa ótica de valorização total do recurso aplito-pegmatítico com produção zero de resíduos.
- b) Implantação de uma **Unidade Experimental Minero-Metalúrgica** com o objetivo de desenvolver conhecimento e testar tecnologias para toda a cadeia de valorização dos recursos minerais litiníferos.
- c) Constituição de uma **Unidade Piloto de Demonstração** de carácter declaradamente industrial, que terá como objetivo primordial demonstrar a viabilidade económica da cadeia de valor. Se os resultados económicos vierem a mostrar-se promissores, esta Unidade de Demonstração evoluirá para uma fase de investimento industrial.

IV) **Ameaças:**

- a) **Falta de programas financeiros específicos** que impeçam o desenvolvimento das “Oportunidades”.
- b) **Esterilização de importantes recursos** minerais litiníferos, devido a decisões erradas em políticas e planos de **ordenamento do território**.
- c) O dinamismo e a experiência de cooperação interempresas, se não forem fortemente encorajados, podem **comprometer a viabilidade de um projeto de produção de carbonato e/ou hidróxido de lítio à escala de todo o País**, potenciando a criação de projetos individuais não económicos.

Recomendações e Propostas

Com base na extensa recolha e compilação de dados e nas conjeturas que sobre eles foram sendo elaboradas e se encontram descritas nos respetivos capítulos do Relatório do GT, com o desenvolvimento que foi considerado adequado para ser útil aos promotores económicos interessados no potencial dos minérios de lítio em Portugal, o GT tece as **Recomendações e Propostas** a seguir explanadas.

- I) **Recomendação** para desenvolvimento de um programa de “fomento mineiro”, destinado a **avaliar** os **recursos** minerais litiníferos do País, numa ótica de valorização total do recurso aplito-pegmatítico com produção zero de resíduos.
- II) **Recomendação** para constituição de duas Unidades Tecnológicas com metas distintas:
 1. **Unidade Experimental Minero-Metalúrgica** com o objetivo de desenvolver conhecimento e testar tecnologias para toda a cadeia de valorização dos recursos:
 - a) Geologia e mineralogia dos minérios
 - b) Planeamento mineiro, incluindo seletividade da lavra
 - c) Processamento dos minérios para obtenção de concentrados de minerais de lítio
 - d) Processos metalúrgicos para obtenção de compostos de lítio

Usando a marca e a estrutura do Cluster Portugal Mineral Resources, recentemente reconhecido pelo Governo e financiamentos disponíveis para reforçar meios e competências existentes no LNEG e nas Universidades, será constituída uma Parceria fisicamente distribuída por vários locais, que contará ainda com a participação pontual das empresas operadoras. O objeto será realizar “campanhas” de estudo de amostras provenientes de diferentes jazigos.

2. **Unidade Piloto de Demonstração** de carácter declaradamente industrial, que terá como objetivo primordial demonstrar a viabilidade económica da cadeia de valor – se os resultados económicos vierem a mostrar-se promissores, esta Unidade de Demonstração evoluirá para uma fase de investimento industrial.

Esta Unidade Piloto receberá minérios ou concentrados de diferentes origens para serem valorizados face às exigências do mercado e avaliar os respetivos custos de produção, aplicando e desenvolvendo os processos que foram estudados na Unidade Experimental e, cumulativamente, desenvolvendo a capacitação de meios humanos especializados.

Esta Unidade Piloto será, necessariamente, alvo de um Consórcio entre empresas que pretendam valorizar os seus minérios até à fase metalúrgica, no sentido de que uma única empresa não terá produção suficiente para suportar uma metalurgia própria (situação, aliás, muito comum). Integrará ainda instituições governamentais e académicas que possam apoiar de forma relevante o seu trabalho, nomeadamente na aplicação do conceito de **cluster** e de **economia circular**, que englobe toda a cadeia de valor acrescentado do recurso primário e reciclagem, tendo também em consideração a possibilidade de introduzir recursos secundários nos processos

Proposta para acolhimento de candidaturas de criação de ambas as Unidades Experimental e Piloto/Demonstração a co-financiamentos disponíveis – COMPETE (ou outro no âmbito do Portugal 2020) ou, por exemplo, os recentes programas INTERFACE e/ou Laboratórios Colaborativos que privilegiam a formação de “clubes” de produtores ou fornecedores – nos seguintes enquadramentos possíveis:

- O desenvolvimento de um programa de “fomento mineiro”, destinado a **avaliar os recursos** minerais litiníferos do País, seria concretizada através de um consórcio estabelecido no âmbito do Cluster Portugal Mineral Resources, entre empresas, universidades e instituições governamentais;
- A **Unidade Experimental Minero-Metalúrgica** seria suportada por uma “sociedade do conhecimento” – LNEG e Universidades, sendo as empresas as “partes interessadas”, aproveitando o Cluster Portugal Mineral Resources (as suas “marca” e estrutura), recentemente reconhecida pelo Governo.
- A **Unidade Piloto de Demonstração** seria claramente um “clube de produtores”, de natureza predominantemente empresarial, que pretendem levar tão longe quanto possível a cadeia de valor da atividade extrativa dos minérios de lítio.

No que diz respeito à oportunidade de lançamento de uma feira tecnológica para o lítio, o Grupo de Trabalho recomenda que seja dada continuidade à definição dos modelos de **Valorização Industrial**, com vista a consolidar os diversos parâmetros económicos e, por conseguinte, criar cenários quantitativos que permitam aferir da viabilidade económica da extensão do processo tecnológico para cadeias de valor mais longas.

O Grupo de Trabalho recomenda, ainda, que este Relatório possa ser divulgado em primeira mão, mesmo antes da sua disponibilização pública, pelo conjunto de entidades nacionais que constituem as “partes interessadas”, nomeadamente, os grupos universitários que mais se têm dedicado a realizar trabalhos científicos e tecnológicos e empresas que já se encontram diretamente ligadas à valorização dos minérios de lítio em Portugal, com o objetivo de receber um primeiro indicador sobre o impacto do documento e, porventura, haver ainda oportunidade de acolher eventuais contributos relevantes.

Lisboa, 27 de março de 2017

Grupo de Trabalho

**Cristina Lourenço (DGEG)
Francelina Pinto (ANIET)**

**Machado Leite (LNEG)
Luís Martins (Assimagra)**

Mário Guedes (EDM)

Capítulo I PREÂMBULO E ÍNDICE

O potencial dos recursos geológicos nacionais, como fator de desenvolvimento económico e com uma importância estratégica crescente, determina a adoção de medidas potenciadoras da promoção do respetivo conhecimento, salvaguarda, valorização, promoção e divulgação destes bens naturais existentes no nosso país, numa ótica de sustentabilidade ambiental e de responsabilidade social.

O facto de Portugal dispor de um vasto número de ocorrências de minerais de lítio, cuja identificação tem vindo a ser realizada mais intensamente nos últimos 15 anos, antecipando as tendências de incremento da utilização desse metal, é oportunidade estratégica e um fator económico comparativo que devem ser aproveitados.

Tendo presente o dinamismo que se tem verificado no nosso país de pedidos de atribuição de direitos de prospeção e pesquisa e de exploração de depósitos minerais de lítio, alavancados pela procura global deste metal com vista à respetiva utilização nas baterias para a indústria automóvel, foi decidida a criação de um Grupo de Trabalho «Lítio» (Despacho n.º 15040/2016 de S.E. o Secretário de Estado da Energia, publicado no DR, 2.ª série, de 13 de dezembro de 2016), que teve como missão:

- Identificar e caracterizar as ocorrências do depósito mineral de lítio e as atividades económicas a ele associadas de revelação e de aproveitamento e debruçar-se com o detalhe possível nas regiões-alvo mais significativas;
- Estabelecer uma hierarquia de prioridades e identificar as prioridades e tendências de utilização industrial do recurso mineral lítio, procurando a maximização do benefício económico pelo aproveitamento dos chamados minerais de alta tecnologia de que é portador, devendo ser remetidas para planos secundários utilizações que aportem menos valias;
- Definir um programa de valorização dos minerais de lítio existentes em Portugal, estabelecendo um padrão de referência para os projetos de prospeção e pesquisa que contemple:
 - a caracterização mineralógica e paragenética da(s) ocorrência(s) na área e seu enquadramento no contexto geológico regional e local, seguindo os modelos já disponíveis na literatura e, porventura, ajustados a novos dados e observações;
 - o estabelecimento de critérios mínimos para a quantificação de recursos ajustados à viabilidade dos diferentes métodos de exploração e às potencialidades de encaminhamento dos recursos para a fileira de utilização industrial (binómio compostos de lítio vs material cerâmico);
 - estudo criterioso das soluções que possam conduzir ao estabelecimento de métodos de lavra seletivos e a processos de pré-concentração em estágios precoces do processo de fragmentação;

- Propor medidas ou estudos que fundamentem a criação de unidade de processamento e beneficiação específica para estes minerais e preparar um “estado da arte” do conhecimento experimental desenvolvido e acumulado sobre a viabilidade técnica do processamento dos vários minérios de lítio nacionais para produção de concentrados desse metal e aproveitamento de produtos secundários, quer para a indústria cerâmica, quer de minerais hoje considerados críticos, comparando-as com situações de outros países, nomeadamente Europeus e Ibero-Americanos.
- Preparar um “estado da arte do conhecimento experimental desenvolvido e acumulado em Portugal sobre a viabilidade técnica da valorização metalúrgica de minérios nacionais com vista à produção de compostos de Li

Pretende-se que o presente Relatório venha a contribuir para a definição do posicionamento que Portugal pode assumir no panorama mundial, no que se refere a toda uma nova indústria que está a despontar, associada aos fenómenos de eletrificação da sociedade e designadamente dos meios de transporte.

As propostas apresentadas no Relatório visam o incremento do valor dos minerais de lítio nacionais, através da sua beneficiação e a produção de compostos desse metal, potenciando um conjunto único de oportunidades, nomeadamente a criação de uma nova fileira industrial, que poderá posicionar-se desde a atividade extrativa até à produção de baterias, com vista ao crescimento da economia nacional.

O Relatório está organizado num conjunto de nove capítulos, a saber:

Resumo Executivo

1. Preâmbulo e Índice
2. Mercado
3. Enquadramento Legal e Regulamentar
4. Enquadramento Geológico e Potencial Mineiro
5. Atividades Económicas de Revelação e Aproveitamento
6. Produção de Concentrados de Minerais de Lítio
7. Metalurgia do Lítio
8. Análise “SWOT”

Capítulo II MERCADO

Compilado e organizado por

EDM - março 2017

Mário Guedes

Alfredo Franco



ÍNDICE

- 1. Produção de Lítio**
- 2. Produtos e Aplicações de Lítio**
 - 2.1. Depósitos de tipo Salmoura**
 - 2.2. Depósitos de tipo Pegmatito**
- 3. Produção**
- 4. Cotações e Tendências**
 - 4.1. Cotações**
 - 4.2. Tendências**
- 5. Bibliografia**

1. Produção de Lítio

A produção de lítio em 2015 foi de 184kt LCE, porém alguns atores da indústria referem-se a ela em termos de metal contido (cerca de 34kt em 2015). Embora a produção seja medida numa base de "produto final", existem múltiplos caminhos para esses produtos. Cerca de 50% da oferta de matéria-prima de lítio provém de salmouras (lítio em solução), 45% tem como origem a espodumena hospedada em formações rochosas, enquanto outras origens representam 5-10% (Deutsche Bank, 2016).

O carbonato de lítio é um produto composto básico de lítio que é amplamente aceite pelos utilizadores a jusante. O hidróxido de lítio vem aumentando a sua participação no uso corrente desde 2015, devido à crescente popularidade das químicas de baterias NMC / NCA (David Merriman, Roskill, 2015).

Os produtos de compostos de lítio podem variar em termos de pureza com base nas exigências de várias aplicações finais. O carbonato de lítio de grau industrial tem geralmente uma taxa de pureza de **98,5-99% LCE**, enquanto o carbonato de lítio para baterias tem uma taxa acima de **99,5% LCE**. (Deutsche Bank, 2016)

Os produtos compostos de pureza superior obtêm um preço *premium* que reflete custos de produção mais altos, melhores tecnologia de processo e valor de uso. Concentrações de outras impurezas (magnésio, cálcio, ferro, fósforo, etc.) também podem afetar os preços. Algumas empresas que operam operações de salmoura de alta qualidade podem produzir compostos de lítio para baterias diretamente das suas unidades de processamento de salmoura.

O lítio é comercializado numa ampla gama de produtos. O carbonato de lítio (Li_2CO_3) é o produto que domina as transações do mercado do lítio, atingindo aproximadamente em 2015 as 90kt de LCE (Lithium Carbonate Equivalent) ou 50% do volume do mercado global de lítio. O segundo produto de lítio mais comercializado é o hidróxido de lítio (LiOH), com uma cota de 20%, seguido dos concentrados de lítio (Li_2O) normalmente usados na indústria cerâmica e do vidro com volumes de vendas que representam os 14%. Os restantes produtos representam mais ou menos 13% do mercado (Deutsche Bank, 2016).

	Aplicação	Produtos
Usos tradicionais	Cerâmica & Vidro	<ul style="list-style-type: none"> • Concentrados de espodumena, petalite e lepidolite • Li_2CO_3
	Lubrificantes	<ul style="list-style-type: none"> • LiOH
	Síntese química	<ul style="list-style-type: none"> • LiCl
Energia	Equipamentos electrónicos portáteis	<ul style="list-style-type: none"> • Li_2CO_3 (<i>battery grade</i>) • LiOH (<i>battery grade</i>)
	Baterias veículos elétricos	<ul style="list-style-type: none"> • Li metálico (<i>battery grade</i>) • LiCl (<i>battery grade</i>)
	Armazenamento energia	

Quadro 1 - Aplicações dos produtos de lítio mais comuns (fonte: adaptado de Albemarle)

As indústrias tradicionais têm impulsionado a procura global de lítio nos últimos 100 anos. O novo mercado das baterias de iões de lítio em computadores, telefones celulares e outros produtos eletrónicos encontra-se em rápido crescimento, com perspectivas de assim continuar nos próximos anos. Neste novo mercado é de referenciar as baterias de iões de lítio não-VE, não-Armazenamento de Energia.

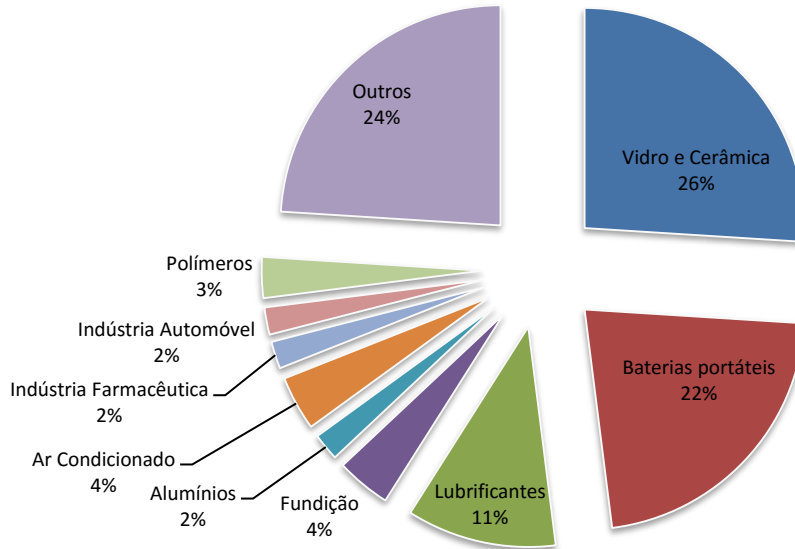


Gráfico 1 – Principais aplicações do Lítio no ano de 2012 (Braga, França, & Junior, 2014)

2. Produtos e Aplicações de Lítio

Os principais produtos de lítio são o carbonato de lítio de grau industrial, hidróxido de lítio de grau industrial e o cloreto de lítio. Para uma utilização final é necessário um processamento químico adicional para produzir produtos de lítio de valor acrescentado, como carbonato / hidróxido de lítio adequados para baterias, metais de lítio e fluoreto de lítio.

As baterias de íões de lítio são utilizadas numa série de aplicações, incluindo electrónica de consumo e dispositivos de telecomunicações. A natureza leve das baterias de lítio, juntamente com recarga e alta densidade de energia torna-as uma boa escolha para equipamentos electrónicos portáteis. Desde que foram comercializadas em 1991 pela Sony Corporation, as baterias têm sido o principal uso do lítio a nível mundial desde 2005 e o mercado de baterias de íões de lítio cresceu para um mercado de US \$ 15 mil milhões em 2015. Os principais mercados de destino para baterias em 2015 foram Veículos Elétricos (25%), telemóveis e smartphones (19%) e PCs portáteis (16%) (Deutsche Bank, 2016).

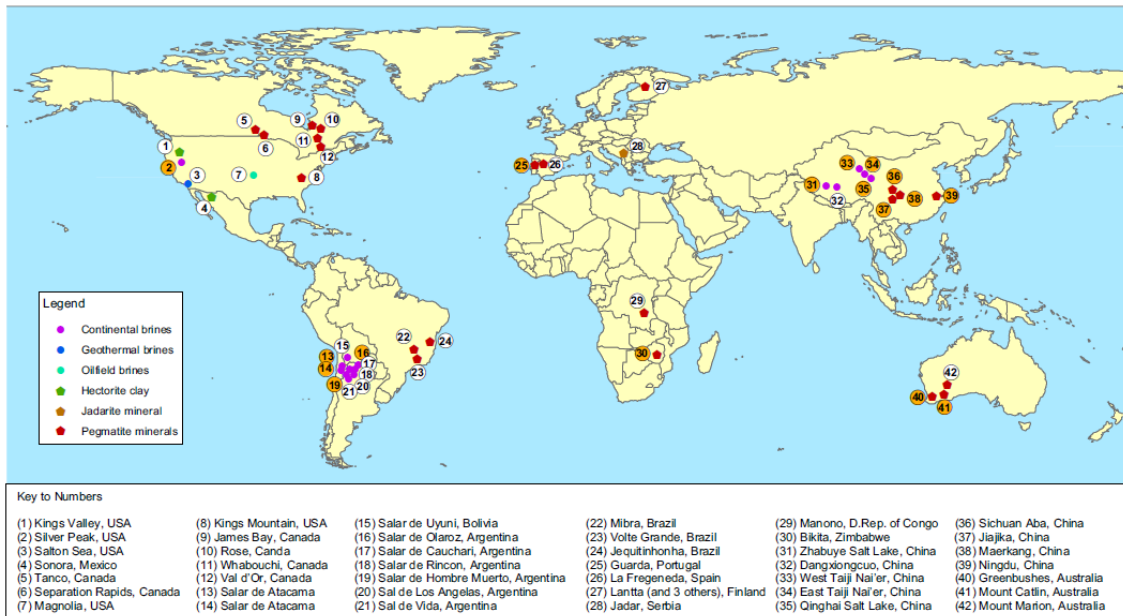


Imagem 1 – Principais depósitos de lítio (British Geological Survey, 2016)

2.1. Depósitos de tipo Salmoura

Os recursos de salmoura encontram-se principalmente em países da América do Sul - Chile, Argentina e Bolívia (numa área conhecida como "Triângulo de Lítio"). Existem também depósitos de salmoura nos Estados Unidos, Afeganistão e na China, entre outros. As operações à base de salmoura têm produzido historicamente grandes quantidades de potássio como um subproduto que tem ajudado a economia dos projetos durante períodos de preços baixos de lítio.

Os principais projetos de salmoura no mundo são o Salar de Atacama / Salar del Carmen da SQM no Chile, o Salar del Hombre Muerto da FMC na Argentina, o Salar de Atacama no Chile da Albemarle e as suas operações Silver Peak nos Estados Unidos e o Salar de Orocobre Olaroz na Argentina (British Geological Survey, 2016).

2.2. Depósitos de tipo Pegmatito

Os depósitos de espodumena são encontrados em intrusões pegmatíticas em todo o mundo. Os pegmatitos são uma rocha ígnea intrusiva composta de grandes (> 2,5cm) cristais; são minérios muito duros que requerem britagem e moagem significativos. Os minerais de lítio hospedados em pegmatitos são extraídos na Austrália, China, Brasil, Portugal e Zimbabwe. O maior projeto no mundo deste tipo é Greenbushes, propriedade de Sichuan Tianqi (51%) e Albemarle (49%) (Deutsche Bank, 2016).

O lítio também se encontra em teores económicos na petalite (extraída na mina Bikita no Zimbábue), lepidolite (várias minas na China) e hectorite (depósitos identificados nos Estados Unidos, México e Marrocos) (Met-Chem, Division of DRA Americas Inc., 2016).

Com a recente escassez de matéria-prima de lítio na China, vários depósitos de baixo teor e alto custo foram reiniciados para venderem aos processadores a jusante. É possível que a oferta de minerais litiníferos, que não espodumena, seja de 5 a 10ktpa LCE em 2016, não sendo expectável que outros minerais sejam considerados como significativos, do ponto de vista mundial.

3. Produção

Existem alguns desafios inerentes ao processamento das salmouras, nomeadamente ao nível das diferentes tecnologias utilizadas em todo o mundo que têm uma grande influência nos custos operacionais. Outros grandes desafios que as empresas enfrentam são: 1) alta relação Mg / Li, 2) tempo, e 3) falta de infraestrutura, entre outros. Por exemplo, a Bolívia ainda é incapaz de explorar economicamente os seus depósitos de salmoura por causa da alta relação Mg / Li, apesar do Salar de Uyuni ser considerado o maior depósito de lítio do mundo (Deutsche Bank, 2016).

As operações em depósitos deste tipo extraem o lítio através de uma série de poços de bombeamento. A salmoura é armazenada numa barragem durante um período de 9-12 meses, onde é adicionada cal (para precipitar impurezas). Neste local ocorre a evaporação e a salmoura é concentrada para processamento. As configurações da unidade de processamento podem variar.

As operações de exploração de lítio em salmouras e em pegmatitos têm vantagens e desvantagens. Em termos simples, as operações mineiras em jazigos pegmatíticos têm custos operacionais mais altos, mas custos de capital mais baixo e podem responder mais rapidamente às condições de mercado. Além disso, estas operações são geralmente menos afetadas por fatores externos como o clima (impactos na evaporação).

País	2010		2011		2012		2013		2014	
	Li (ton)	%	Li (ton)	%	Li (ton)	%	Li (ton)	%	Li (ton)	%
Chile	9.700	43	12.900	48	13.200	48	11.200	47	11.500	44
Austrália	5.600	25	7.800	29	8.400	30	6.800	28	8.300	32
Argentina	3.100	14	2.500	9	2.400	9	2.300	10	2.800	11
China	1.100	5	1.200	4	1.200	4	1.200	5	1.200	5
USA	1.000	4	1.000	4	1.000	4	870	4	900	3
Zimbabwe	800	4	900	3	900	3	900	4	900	3
Portugal	700	3	600	2	300	1	300	1	300	1
Brasil	400	2	200	1	200	1	200	1	200	1
Espanha	100	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Canadá	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	22.500		27.100		27.600		23.770		26.100	

Quadro 2 – Evolução da produção de lítio (British Geological Survey, 2016)

4. Cotações e Tendências

Historicamente, a maioria dos produtos de carbonato de lítio de alta qualidade (superiores a 99,5% LCE) foram produzidos através da purificação de concentrado de lítio explorado em pegmatitos, um mercado dominado pela China. O processamento a jusante de carbonato de lítio de grau industrial (98-99% LCE) para um carbonato de lítio de qualidade superior não assumiu maior importância devido principalmente ao custo de refinação adicional que excede a diferença de preço entre os dois produtos de carbonato.

4.1. Cotações

Nos últimos anos, o preço do carbonato de lítio de qualidade para baterias foi negociado com um prémio adicional de US \$ 500-800 / t em relação ao carbonato de grau industrial, valor abaixo dos custos estimados de conversão de LCE incorridos para refinar este último produto, que é de US \$ 1.000-1.200 / t. É importante notar que o prémio do preço do carbonato de lítio de qualidade para baterias aumentou consideravelmente nos últimos 6-12 meses uma vez que tem tido uma forte procura na China. Enquanto este prémio de preço permanecer, este produto será uma opção viável. A ORE confirmou que vendeu carbonato de lítio de qualidade inferior a clientes chineses a preços acima do mercado; este carbonato está provavelmente a ser refinado na China e vendido como carbonato de lítio de qualidade para baterias.

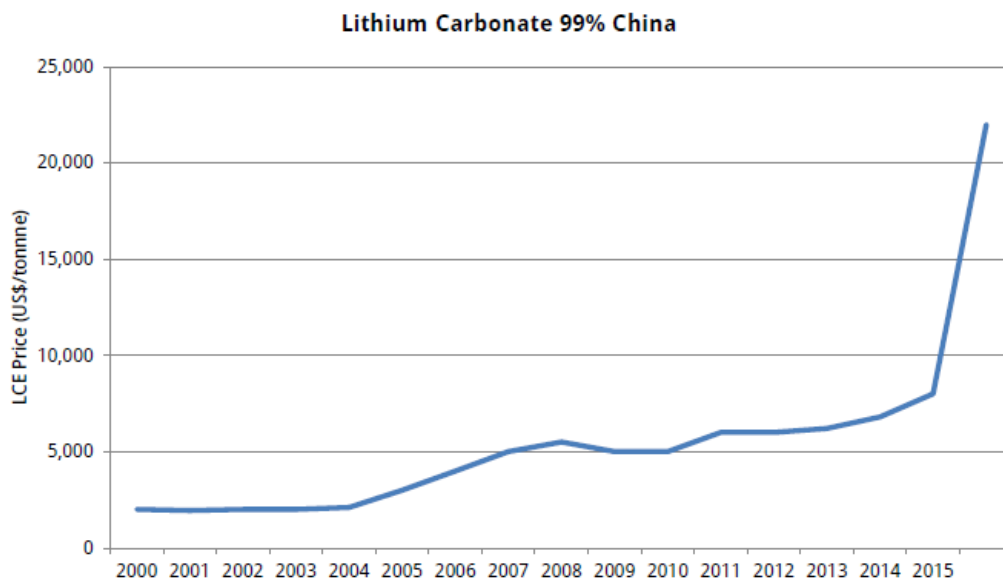


Gráfico 1 – Evolução do preço do carbonato de lítio na China (Deutsche Bank, 2016)

O preço do carbonato de lítio aumentou drasticamente devido a vários fatores, dos quais se destacam:

- A procura crescente pelos veículos elétricos tem-se vindo a confirmar;

- O abastecimento de matéria-prima baseado em carbonatos de lítio revelou-se cada vez mais importante, tendo-se confirmado a tendência de um monopólio ao nível da produção deste tipo de produto, principalmente nos depósitos de salmoura.

O mercado de abastecimento de lítio foi de 171kt LCE em 2015. Os quatro maiores produtores globais (ALB, SQM, FMC e Sichuan Tianqi) têm uma capitalização de mercado combinada de US\$ 26 mil milhões e representaram 83% da produção mundial em 2015. Além disso, o segundo maior produtor Chinês, Ganfeng, tem um teto de mercado de US\$ 3,6 mil milhões e será integrado verticalmente com a Empresa Sichuan Tianqi. Estas cinco empresas controlam 45% das reservas globais (Deutsche Bank, 2016).

4.2. Tendências

Embora os mercados tradicionais não sejam vistos como os principais impulsionadores do crescimento da procura de lítio, o Deutsche Bank, considera que esses mercados cresçam em média 3,6% ao ano nos próximos 10 anos, levando o consumo de lítio nesses mercados de 155kt em 2015 para 222kt em 2025.

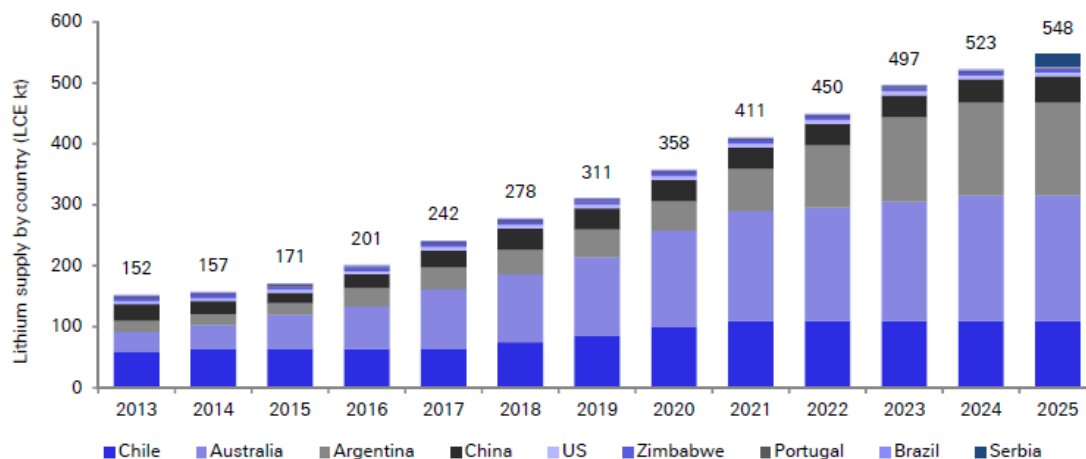


Gráfico 2 – Previsão da evolução da produção de lítio (fonte: Deutsche Bank e USGS)

É expectável que a produção global possa expandir-se de 171kt de LCE em 2015 para 215kt de LCE em 2019, com a maior parte dessa expansão proveniente da fase II de Orocobre (comissionamento) e da unidade de La Negra da ALB em 2018, juntamente com o aumento da produção da China.

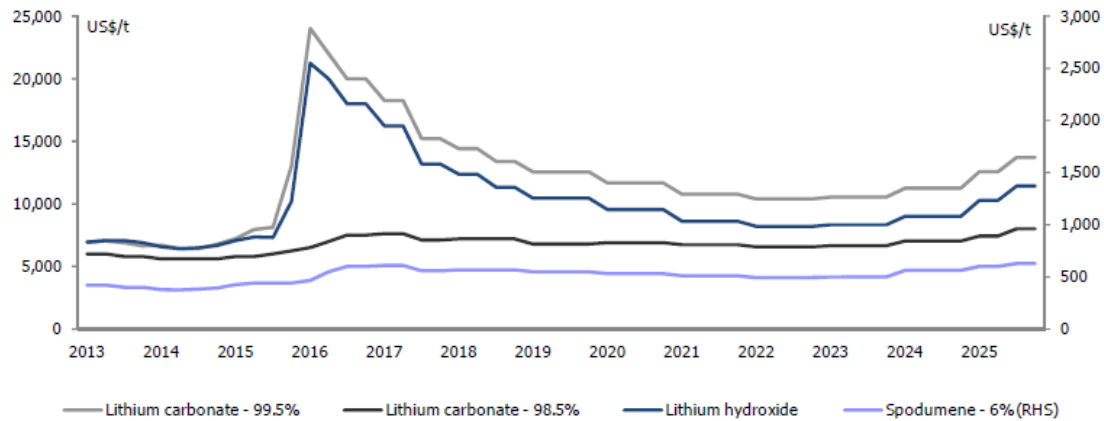


Gráfico 3 – Previsão da evolução das cotações para os diversos produtos de lítio

5. Bibliografia

Braga, P., França, S., & Junior, C. (2014). How big is the lithium market in Brazil. *XXVII International Mineral Processing Congress*. Santiago, Chile.

British Geological Survey. (2016). *Lithium*. Nottingham, Reino Unido.

Cormark Securities Inc. (2016). *Lithium Producers & Developers*. Toronto.

David Merriman, Roskill. (16 de junho de 2015). Examining the pipeline of production and the impact on supply and demand balances. *7th Lithium Supply and Markets*. Xangai.

Deutsche Bank. (2016). *Lithium 101*.

Met-Chem, Division of DRA Americas Inc. (2016). *NI 43-101 Technical Report - Feasibility Study Update on the Whabouchi Lithium Deposit and Hydromet Plant*. Montréal - Quebec.

Capítulo III

ENQUADRAMENTO LEGAL E REGULAMENTAR

Compilado e
organizado por
DGEG - março 2017
Cristina Lourenço



Um quadro legal e regulamentar que seja justo, transparente, claro e previsível é um fator determinante para as decisões de investimento e respetivo contributo para o desenvolvimento económico, situação com importância acrescida no caso das atividades de revelação e aproveitamento de recursos geológicos.

Neste contexto, Portugal é um exemplo de estabilidade no enquadramento jurídico da indústria extrativa.

Na verdade, a legislação mineira de 1930 (Decreto nº 18713, de 01.08.1930) esteve em vigor 60 anos e a que se lhe seguiu em 1990 (Decreto-Lei nº 90/90, de 16.03) vigorou 25 anos até à atual Lei nº 54/2015, de 22.6 (LBRG), que se encontra em fase de regulamentação.

Para além do facto de Portugal ser um país com legislações mineiras estáveis e duradouras, acresce a consagração constitucional (art.º 84.º da Constituição da República Portuguesa) e legal (art.º 5.º da Lei nº 54/2015, de 22.6) da dominialidade pública dos depósitos minerais, havendo assim no nosso país um interesse público subjacente a esta integração dos depósitos minerais no domínio público do Estado.

No âmbito da regulamentação em curso está previsto que deverá ser assegurada uma exploração sustentável dos recursos geológicos, económica, social, ambiental e territorial, atentos os valores da transparência e da segurança na atração do investimento, do interesse público dos recursos geológicos integrados no domínio público do Estado e da sua natureza escassa, insubstituível e não deslocalizável, enquadrada no **princípio da coexistência** com outros usos do solo e no **princípio da paridade** dos valores destes recursos naturais com os valores ambientais e territoriais.

A Lei nº 54/2015, de 22.06 (LBRG), estabelece as bases do regime jurídico da revelação e do aproveitamento dos recursos geológicos existentes no território nacional, incluindo os localizados no espaço marítimo nacional, sendo que se se entende por depósitos minerais *«quaisquer ocorrências minerais que, pela sua raridade, alto valor específico ou importância na aplicação em processos industriais das substâncias nelas contidas, se apresentam com especial interesse económico»*. O diploma regulamentar ainda em vigor (Decreto-Lei n.º 88/90, de 16.03), assim como o projeto de regulamentação em curso, desenvolve este conceito e para o caso específico que aqui nos convoca, o

lítio é um metal, cujas atividades de prospeção, pesquisa e exploração se enquadram legalmente no âmbito dos depósitos minerais.

Os direitos sobre recursos do domínio público do Estado são titulados por contrato administrativo de avaliação prévia, de prospeção e pesquisa, de exploração experimental ou de concessão de exploração:

Contratos	Objeto	Área	Prazo
Avaliação prévia	Depósitos minerais metálicos - para a realização de estudos destinados ao melhor conhecimento dos recursos	15 km ²	1 ano
Prospeção e Pesquisa	Desenvolvimento de atividades que visem a revelação de recursos e a determinação das suas características, até à revelação da existência de valor económico	500 km ²	5 anos
Exploração Experimental	Quando não existam as condições necessárias ao imediato estabelecimento da exploração		5 anos
Exploração	Para a realização de operações de aproveitamento económico dos recursos		90 anos

Os contratos que atribuam direitos de prospeção e pesquisa, exploração experimental ou de concessão de direitos de exploração de recursos geológicos estabelecem, obrigatoriamente, uma ou mais **garantias financeiras** que assegurem o cumprimento do contrato, a recuperação paisagística da área abrangida e o encerramento da exploração. As garantias financeiras podem constituir-se pela subscrição de apólices de seguro, de garantias bancárias, de cauções, de depósitos bancários, de participações no Fundo dos Recursos Geológicos ou de outros instrumentos financeiros previamente autorizados pela DGEG. À exceção das participações no Fundo dos Recursos Geológicos, todas as garantias são exclusivas, não podendo ser utilizadas para outros fins, nem ser objeto de quaisquer onerações. Podem ser estabelecidos, por portaria do membro do Governo responsável pela área da geologia, limites mínimos para os diferentes tipos de garantia.

Os direitos sobre recursos do domínio público do Estado, titulados por **contrato administrativo de avaliação prévia**, de **prospeção e pesquisa**, de **exploração experimental** ou de **concessão de exploração**, são exercidos em regime de exclusividade, não podendo, durante o prazo de vigência do respetivo contrato, ser atribuídos a terceiros direitos incompatíveis, em razão do seu objeto, do seu conteúdo ou da área geográfica abrangida.

A Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG) exerce as funções de autoridade nacional no domínio dos recursos geológicos (DL 33/2016, de 28 de junho).

Fins das políticas públicas relativas à revelação e aproveitamento de recursos geológicos

Aprofundar o conhecimento dos recursos existentes no território nacional, com o objetivo de desenvolver o seu potencial de forma sustentada e racional

Valorizar a dimensão económica, cultural, histórica e social dos recursos geológicos, de modo a promover o crescimento sustentado do setor extrativo, o desenvolvimento regional e a criação de emprego

Contribuir para a competitividade do setor extrativo, por forma a torná-lo garante de abastecimento de matérias-primas, numa perspetiva de sustentabilidade do todo nacional, consagrando os necessários equilíbrios entre as vertentes económica, social, ambiental e territorial, em face dos impactes diretos e indiretos da atividade

Princípios de gestão dos recursos geológicos	Medidas de conservação dos bens geológicos
<ul style="list-style-type: none">❖ Promoção do bem-estar económico, social e ambiental das populações;❖ Aproveitamento eficiente e racional dos recursos, no quadro de uma estratégia integrada de desenvolvimento sustentável, tendo em vista a minimização de todos os eventuais impactes negativos;❖ Articulação com as opções fundamentais das políticas públicas, especialmente em matéria ambiental e de ordenamento do território e do espaço marítimo nacional;❖ Promoção da iniciativa privada;❖ Preservação do ambiente;❖ Respeito dos direitos de participação cívica e estímulo ao seu exercício no âmbito dos procedimentos administrativos;❖ Promoção do conhecimento científico dos recursos existentes e das suas formas de aproveitamento;❖ Promoção da conveniente proteção dos recursos geológicos, com vista ao seu aproveitamento;❖ Defesa e promoção da competitividade dos concessionários ou titulares da licença. <p>Na revelação e no aproveitamento de quaisquer recursos geológicos devem ficar convenientemente salvaguardados, sempre que possível preventivamente, os interesses:</p> <ul style="list-style-type: none">• Das pessoas, potencial ou efetivamente afetadas por essas atividades;• Do racional aproveitamento de todos os recursos;• Do ambiente e da manutenção da dinâmica ecológica.	<p>Os bens geológicos devem ser objeto das medidas legislativas e administrativas de proteção adequada à sua natureza escassa, insubstituível e não deslocalizável, garantindo o seu eficiente aproveitamento.</p> <p>Compete ao Estado, através dos órgãos e serviços competentes, promover as medidas necessárias para assegurar a concretização das medidas de conservação, preservação e proteção dos bens geológicos, designadamente através das seguintes ações:</p> <ul style="list-style-type: none">❖ Inventariação e qualificação dos recursos geológicos;❖ Elaboração de cadastro das áreas objeto de atividades de revelação e aproveitamento de recursos geológicos;❖ Elaboração de cadastro das formações e estruturas geológicas e todos os restantes recursos naturais análogos que, em função da sua relevância geológica, são qualificados como de interesse público;❖ Inventariação e cadastro dos objetos e sítios de interesse geológico, mineiro, científico, didático ou paisagístico;❖ Promoção do conhecimento das cavidades naturais do subsolo;❖ Fomento do estudo, investigação, divulgação e informação dos recursos qualificados;❖ Promover a sensibilização da comunidade para a importância e relevância dos recursos geológicos;❖ Promover os recursos geológicos, fomentando a sua valorização económica a título principal ou instrumental.

A) Avaliação Prévia

Qualquer entidade dotada de comprovada idoneidade técnica, económica e financeira para o efeito pode requerer à DGEG a atribuição de direitos de avaliação prévia, em área ou áreas destinadas ao exercício de atividades de aproveitamento de **depósitos minerais metálicos**.

O requerimento é dirigido ao diretor-geral de energia e geologia e instruído com os elementos comprovativos da idoneidade técnica económica e financeira do requerente e com o enunciado claro dos objetivos a alcançar, da área pretendida, dos meios técnicos e financeiros e do orçamento previsional a utilizar, para além de outros elementos que o requerente considere relevantes para o efeito.

Os elementos instrutórios do pedido, os termos e as condições da apreciação e decisão do pedido de direitos de avaliação prévia são definidos na legislação regulamentar em curso.

Do contrato administrativo de avaliação prévia devem constar, designadamente, os seguintes elementos:

- Identificação completa da área geográfica objeto do contrato, a qual não pode exceder **15 km²**;
- Prazo máximo de validade do contrato, que não pode exceder **um ano**, sem possibilidade de prorrogação;
- Direitos e obrigações do titular dos direitos de avaliação prévia;
- Descrição dos trabalhos a realizar e respetivo orçamento;
- Definição dos regimes de propriedade e de confidencialidade dos dados resultantes da avaliação;
- Contrapartidas a atribuir ao Estado;
- Prazo para requerer a atribuição de direitos de prospeção e pesquisa, de exploração experimental ou de concessão de exploração.

A atribuição de direitos de avaliação prévia concede ao requerente a faculdade de desenvolver estudos que permitam um melhor conhecimento do potencial geológico da área pretendida, nomeadamente através da análise da informação disponível e das amostras recolhidas. A área pretendida é publicitada no sítio da DGEG na Internet, deixando, a partir de então, de constituir área disponível.

Os direitos de avaliação prévia são intransmissíveis, devendo o respetivo titular informar a DGEG, findo o prazo de vigência do contrato, se pretende libertar a área ou requerer a atribuição de direitos de prospeção e pesquisa, de exploração experimental ou de concessão de exploração.

B) Prospeção e Pesquisa

Constituem **áreas disponíveis** para atribuição de direitos de uso privativo de prospeção e pesquisa, as áreas do território nacional sobre as quais não incidam direitos exclusivos sobre recursos geológicos integrados no domínio público do Estado.

Os direitos de prospeção e pesquisa podem ser concedidos para **áreas reservadas** apenas quando não se verifique incompatibilidade com os direitos privativos já atribuídos para essas áreas ou em procedimento de atribuição.

O procedimento de atribuição de direitos de prospeção e pesquisa pode ser desencadeado por iniciativa do particular, mediante apresentação do correspondente requerimento, ou por iniciativa do Estado, através do membro do Governo responsável pela área da geologia, mediante abertura de procedimento concursal, nos termos e condições a definir através do diploma regulamentar em curso.

Quando o procedimento de atribuição de direitos de prospeção e pesquisa é desencadeado por iniciativa do particular, a apresentação de outro pedido com o mesmo objeto, no prazo legalmente fixado para o efeito, determina a abertura de **procedimento concursal** pela DGEG, gozando o primeiro requerente de direito de preferência em igualdade de condições.

Os direitos de prospeção e pesquisa só podem ser atribuídos a pessoas coletivas que ofereçam garantias de **idoneidade e de capacidade técnica e financeira** adequadas à natureza dos trabalhos que se propõem executar

- Para além dos direitos e obrigações recíprocos, do **contrato de prospeção e pesquisa** constam, designadamente:
- A área abrangida na atribuição de direitos de prospeção e pesquisa, que não pode ser superior a **500 km²** ou a 5 000 km², caso a área se localize no espaço marítimo nacional;
- O prazo, o qual não pode exceder um máximo de **cinco anos**, incluindo eventuais prorrogações;
- As condições de prorrogação do prazo, a qual depende, designadamente, da verificação do cumprimento das obrigações legais e contratuais pelo interessado, bem como a obrigatoriedade de, na data de cada prorrogação, retirar do objeto do contrato parte da área inicialmente abrangida, tornando-a disponível;
- O programa de trabalhos para o período inicial do contrato;
- O plano de investimentos;
- As contrapartidas a atribuir ao Estado;
- As garantias financeiras;
- Outras condições específicas das atividades de prospeção e pesquisa e de uma subsequente concessão de exploração dos recursos geológicos evidenciados

Programas e relatórios de trabalhos e de investimento

Os trabalhos de prospeção e pesquisa são os contratualmente estabelecidos, ficando a sua especificação sujeita a **programas de trabalhos** e devendo a sua concretização ser objeto de **relatórios de trabalhos**, ambos referentes a períodos anuais, salvo se outros forem estipulados no respetivo contrato.

Os programas e os relatórios de trabalhos são submetidos à aprovação da DGEG e são considerados tacitamente aprovados se não recair sobre eles pronúncia expressa, no prazo de 45 dias, a contar da data da sua apresentação.

A DGEG pode aprovar alterações subsequentes aos programas de trabalhos, requeridas pela contraparte.

Os programas e relatórios de trabalhos e de investimento devem ser assinados por técnicos habilitados nas respetivas áreas.

Direitos

Com a celebração do contrato, o Estado garante à contraparte, designadamente, os seguintes direitos:

- Realizar na área objeto do contrato os estudos e trabalhos inerentes à prospeção e pesquisa dos recursos sobre que incidem os direitos atribuídos;
- Utilizar temporariamente os terrenos necessários à realização dos trabalhos de prospeção e pesquisa e à implantação das respetivas instalações;
- Obter a concessão de exploração dos recursos revelados, desde que preenchidas as condições legais e contratuais aplicáveis.

A atribuição de direitos de prospeção e pesquisa é acompanhada da constituição de uma **servidão administrativa** sobre os prédios abrangidos nas respetivas áreas.

Obrigações

Constituem obrigações do titular do contrato de prospeção e pesquisa, designadamente:

- Iniciar os trabalhos no prazo de seis meses, a contar da data da celebração do contrato, salvo se outro prazo neste for convencionado;
- Executar os trabalhos de acordo com o programa aprovado;
- Indemnizar terceiros por todos os danos que lhes forem diretamente causados em virtude das atividades de prospeção e pesquisa e executar as medidas de segurança, de proteção ambiental e de recuperação paisagística prescritas, mesmo após o termo das referidas atividades.

C) Exploração Experimental

Se os recursos revelados, pela natureza da sua composição, nível de conhecimento ou modo da sua ocorrência, ainda não apresentarem as condições necessárias para que se inicie a sua imediata e efetiva exploração, podem ser concedidos, mediante requerimento do interessado, direitos de exploração experimental.

Ao procedimento de atribuição de direitos de exploração experimental aplica-se o regime previsto para o procedimento de atribuição de concessão de exploração, com as necessárias adaptações.

No contrato administrativo de exploração experimental são estabelecidos, designadamente:

- O prazo, o qual não pode exceder um máximo de **cinco anos**, incluindo eventuais prorrogações;
- As condições de exploração e outras atividades a desenvolver;
- A obrigação de efetuar estudos complementares;
- O plano de lavra;
- O plano de investimentos;
- As contrapartidas a atribuir ao Estado;
- As garantias financeiras;
- A obrigação de proceder à recuperação ambiental e paisagística.

Direitos

O titular de uma exploração experimental tem os direitos previstos na lei para os concessionários e pode ainda utilizar temporariamente os terrenos necessários à execução dos trabalhos e à implantação dos respetivos anexos, mediante retribuição aos respetivos titulares.

A atribuição de direitos de exploração experimental é acompanhada da constituição de uma **servidão administrativa** sobre os prédios abrangidos nas respetivas áreas

Obrigações

Sobre o titular de uma exploração experimental impendem as seguintes obrigações:

- O dever de executar os trabalhos de reconhecimento dos recursos com continuidade e persistência, de modo a definir no prazo fixado as suas características e a elaboração dos estudos e projetos necessários à sua exploração;
- Indemnizar terceiros por danos causados pela exploração;
- Cumprir as normas e medidas de higiene, segurança e saúde no trabalho, de proteção ambiental e de recuperação paisagística, mesmo após a extinção do contrato;
- Fazer o aproveitamento dos recursos, segundo as normas técnicas adequadas e em harmonia com o interesse público do melhor aproveitamento desses bens;
- Apresentar, com a periodicidade que lhes for fixada pela DGEG, os elementos de informação relativos ao conhecimento do recurso, devendo a periodicidade fixada ser adequadamente fundamentada;
- Não fazer lavra ambiciosa que comprometa o melhor aproveitamento económico dos recursos.

D) Exploração

Os direitos de exploração de recursos geológicos são atribuídos, **em regime de concessão**, ao titular dos direitos de avaliação prévia, de prospeção e pesquisa ou de exploração experimental que os tenha revelado.

Não existindo contratos de avaliação prévia, de prospeção e pesquisa ou de exploração experimental, podem ser concedidos direitos de exploração sobre recursos:

- Situados em áreas disponíveis;
- Situados em áreas abrangidas por direitos de avaliação prévia, de prospeção e pesquisa ou de exploração experimental, caso os recursos não estejam abrangidos pelos respetivos contratos e não se verifique incompatibilidade entre o exercício de ambas as atividades.

Aos procedimentos de atribuição das concessões de exploração, assim como aos correspondentes contratos, aplicam-se as normas relativas à atribuição de direitos de prospeção e pesquisa e respetivos contratos, com as necessárias adaptações.

A atribuição de direitos de exploração implica a compatibilidade desta atividade com o disposto nos instrumentos de gestão territorial, servidões administrativas e restrições de utilidade pública e com o regime jurídico de avaliação de impacto ambiental, quando aplicável.

Os contratos de concessão de exploração têm um prazo máximo de **90 anos**, incluindo eventuais prorrogações.

O extrato do contrato administrativo de atribuição de direitos de exploração é objeto de publicação no Diário da República.

<p style="text-align: center;">Demarcação da concessão</p> <p>A demarcação é definida em profundidade pelas verticais de todos os pontos da linha, sendo que a área demarcada pode ser reduzida ou alargada por acordo entre a DGEG e o concessionário, mediante adenda ao contrato celebrado, sempre que daí resultem benefícios para a exploração. Ao concessionário é reconhecido o direito de exigir aos proprietários dos terrenos confinantes com a área de concessão que colaborem para a implantação da demarcação.</p>	<p style="text-align: center;">Alteração de área de concessão e de exploração</p> <p>A iniciativa da redução ou do alargamento da área da concessão cabe à DGEG, ou ao concessionário mediante parecer da DGEG, que deve acompanhar a respetiva proposta, sendo que a proposta de redução ou de alargamento é objeto de decisão do membro do Governo responsável pela área da geologia e consta de adenda ao contrato. A alteração da área de exploração consta do plano de lavra ou de exploração.</p>
<p style="text-align: center;">Integração de concessões de exploração</p> <p>Mediante requerimento dos respetivos concessionários, pode ser estabelecida, para a exploração de recursos da mesma natureza, uma única demarcação para a totalidade ou parte das áreas abrangidas por concessões de exploração contíguas ou vizinhas, a qual fica a corresponder, para todos os efeitos legais, a uma só concessão, sujeita a nova demarcação e a novo contrato.</p> <p>A integração de concessões vizinhas numa única concessão pode também ser determinada, a título excecional, por resolução do Conselho de Ministros, sob proposta do membro do Governo responsável pela área da geologia, quando daí resulte um aproveitamento mais económico e racional dos respetivos recursos, com um claro benefício para a economia nacional ou regional.</p> <p>Na falta de acordo entre a totalidade ou parte dos respetivos concessionários, podem ser resgatadas as concessões que constituem obstáculo à integração, atribuindo-se a nova concessão à entidade constituída segundo as condições constantes da decisão de integração.</p> <p>Os encargos resultantes dos resgates previstos no número anterior são suportados pela entidade à qual for atribuída a nova concessão.</p>	<p style="text-align: center;">Agrupamento de concessões de exploração</p> <p>Os titulares de diferentes concessões de exploração podem requerer a formação de um agrupamento a quem sejam imputados os direitos e as obrigações decorrentes da sua condição de concessionários, com fundamento na vizinhança ou contiguidade, na pertença a um mesmo grupo económico, na similitude ou complementaridade dos recursos geológicos explorados, nas vantagens decorrentes para a comercialização ou preparação dos produtos.</p> <p>O Estado, através do membro do Governo responsável pela área da geologia, pode impor a essas entidades que o agrupamento assumam a representação de todos os concessionários no relacionamento com o concedente e com as restantes entidades públicas.</p> <p>Compete ao membro do Governo responsável pela área da geologia decidir sobre a formação do agrupamento de concessões de exploração, após parecer da DGEG.</p> <p>O deferimento do pedido de agrupamento de concessões pode implicar a alteração da titularidade dos contratos de concessão de exploração e a revisão dos demais elementos que, em virtude daquela, se demonstrem desadequados.</p>

<p style="text-align: center;">Direitos</p> <p>Aos titulares de contratos de concessão de exploração são atribuídos, designadamente, os seguintes direitos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Explorar os recursos, nos termos da lei e do respetivo contrato; • Comercializar todos os produtos resultantes da exploração; • Utilizar, observando os condicionalismos legais, as águas e outros bens do domínio público do Estado que não se acharem aproveitados com base em outro título legítimo; • Contratar com terceiros a execução de trabalhos especiais ou a prestação de assistência técnica, desde que tais acordos não envolvam uma transferência de responsabilidades inerentes à sua condição de concessionário; • Requerer a expropriação por utilidade pública e urgente dos terrenos necessários à realização dos trabalhos e à implantação dos respetivos anexos, ainda que fora da área demarcada, ficando os mesmos afetos à concessão; • Obter a constituição, a seu favor, por ato administrativo, das servidões necessárias à exploração dos recursos; • Preferir na venda ou dação em cumprimento de prédio rústico ou urbano existente na área demarcada, desde que a aquisição dessa propriedade se mostre indispensável à exploração.

<p style="text-align: center;">Obrigações</p> <p>Constituem obrigações dos concessionários, designadamente, as seguintes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Iniciar, no prazo de um ano, a contar da data da celebração do respetivo contrato de concessão, os trabalhos indispensáveis à exploração, salvo se, contratualmente, for fixado prazo diferente; • Manter a exploração em estado de laboração, salvo se a suspensão da mesma tiver sido previamente autorizada; • Indemnizar terceiros por danos causados pela exploração; • Cumprir as normas e medidas de higiene, segurança e saúde no trabalho, de proteção ambiental e de recuperação paisagística, mesmo após a extinção da concessão; • Fazer o aproveitamento dos recursos, segundo as normas técnicas adequadas e em harmonia com o interesse público do melhor aproveitamento desses bens; • Explorar, sempre que possível, os recursos do domínio público do Estado que sejam revelados na área demarcada com reconhecido valor económico, desde que se verifique compatibilidade de exploração; • Apresentar, com a periodicidade que lhes for fixada pela DGEG, os elementos de informação relativos ao conhecimento do recurso, devendo a periodicidade fixada ser adequadamente fundamentada; • Não fazer lavra ambiciosa que comprometa o melhor aproveitamento económico dos recursos.

Plano de lavra

Todas as atividades e trabalhos a executar nas áreas concessionadas ficam sujeitas à aprovação de um **plano de lavra**, que pode ser revisto e alterado ou objeto de adendas de novas matérias, e ainda ser objeto de adaptações anuais ou de alterações por imposição de medidas devidamente fundamentadas por parte da DGEG.

Anexos de exploração

(as instalações para serviços integrantes ou complementares da exploração, pertencentes aos concessionários, situem-se ou não dentro da área demarcada da concessão)

Os planos de exploração e os planos de lavra delimitam as áreas dos anexos de exploração.

Independentemente da sua localização, os anexos de exploração no âmbito do regime jurídico dos depósitos minerais são aprovados e fiscalizados pela DGEG, sem prejuízo das competências atribuídas a outras entidades.

Diferentes concessionários podem ser titulares de um mesmo anexo de exploração, mediante autorização do membro do Governo responsável pela área da geologia, devendo ser indicado um interlocutor único, perante a DGEG, que represente e vincule os diferentes concessionários.

Os anexos de exploração só podem ser transmitidos ou, excetuada a constituição de hipoteca, onerados separadamente mediante autorização expressa do membro do Governo responsável pela área da geologia. A violação desta norma determina a nulidade dos atos.

Encargos de exploração

A exploração de recursos geológicos do domínio público do Estado fica sujeita ao pagamento de **encargos de exploração**.

O valor inicial dos encargos de exploração é fixado no contrato celebrado com o Estado, podendo ter como referência os resultados líquidos da exploração ou o valor dos recursos geológicos à boca da mina (considera-se como valor inicial dos encargos de exploração dos contratos que não contemplem a respetiva determinação, a média dos encargos de exploração contratualizados no ano anterior para explorações semelhantes)

Os encargos de exploração podem ainda incluir prémios a pagar pelo concessionário e valores fixos determinados em função do potencial geológico das áreas atribuídas

Os contratos de exploração devem prever mecanismos de:

- revisão periódica dos encargos de exploração, tendo como referência a evolução das cotações do mercado e os custos de produção.
- atualização que permita ultrapassar a eventual falta de acordo quanto à aplicação dos referidos mecanismos de revisão.

Mediante solicitação escrita do titular dos direitos de exploração, nomeadamente por razões de força maior ou de natureza excecional, pode o Estado diferir a cobrança do encargo de exploração ou renunciar, total ou parcialmente, à mesma.

Fundo dos Recursos Geológicos

O pagamento dos encargos de exploração é definido contratualmente e visa apoiar a gestão dos recursos geológicos, nomeadamente através da promoção do seu conhecimento, podendo uma parte do valor calculado para pagamento ser destinado ao apoio de programas e projetos de responsabilidade social, assim como ficar afeta ao **Fundo dos Recursos Geológicos**.

Os encargos de exploração são desenvolvidos no diploma regulamentar em curso e complementados, se necessário, por diploma próprio.

O Fundo dos Recursos Geológicos, a constituir por decreto-lei, é financiado pelos encargos de exploração e destina-se a apoiar ações de conhecimento, conservação, proteção e valorização dos bens geológicos.

Suspensão de exploração

A interrupção de laboração ou a sua redução a nível inferior ao normal, quando não tenham caráter ocasional ou sazonal, são consideradas, para efeitos do disposto na presente lei, como suspensão de exploração

A suspensão de exploração pode ser autorizada pela DGEG quando se comprove que a mesma resulta diretamente de **razões de força maior**

A suspensão de exploração pode ainda ser autorizada pela DGEG quando respeite a recursos que possam ser considerados como **reserva adequada** de outros, em exploração pelo mesmo concessionário.

A autorização da suspensão reporta-se sempre à data em que foi requerida, sendo válida pelo período de um ano, prorrogável a requerimento do interessado, não podendo o prazo total exceder **cinco anos**.

Extinção dos contratos

- Caducidade
- Acordo das partes
- Resolução pelo Estado, fundada em incumprimento das obrigações legais ou contratuais
- Resolução pelo titular dos direitos
- Resgate (só para contrato de concessão), mediante indemnização de montante calculado em atenção às circunstâncias do caso concreto e ao valor dos bens indispensáveis ao exercício da exploração.

Autorizada a suspensão de exploração, o concessionário mantém-se responsável pela conservação das instalações essenciais da exploração, devendo adotar todas as medidas necessárias para o efeito.

E) Regimes conexos

A atribuição de títulos ou a prática de atos administrativos nos termos da LBRG e legislação regulamentar, que legitimam as atividades de prospeção e pesquisa e de exploração, não dispensam o cumprimento das demais exigências ou requisitos legais aplicáveis, bem como da prévia obtenção das licenças ou autorizações exigíveis, designadamente, em matéria de **ambiente e ordenamento do território**, nos termos legalmente previstos.

A este propósito importa referir que os contratos de prospeção e pesquisa, de exploração experimental ou de concessão de exploração já contêm cláusula no sentido de que os trabalhos a desenvolver em áreas sujeitas a servidões administrativas ou outras restrições de utilidade pública, carecem das legais autorizações, licenças, aprovações ou pareceres favoráveis das entidades com jurisdição nessas áreas, na medida em que o exercício dos direitos conferidos esteja proibido, restringido ou condicionado pela respetiva legislação especial. As autorizações, licenças, aprovações ou pareceres favoráveis deverão ser obtidos pelo titular dos direitos concedidos pelos contratos.

A revelação, o aproveitamento e o abandono dos recursos geológicos ficam sujeitos à adequada aplicação das técnicas e normas de higiene, saúde e segurança no trabalho e ao cumprimento das apropriadas medidas de proteção ambiental e de recuperação paisagística. A exploração de depósitos minerais pode estar sujeita a **avaliação de impacte ambiental**, tendo presente os limiares fixados na legislação específica:

A AIA encontra-se consagrada, enquanto princípio, no artigo 18º da Lei de Bases do Ambiente ([lei n.º 19/2014, de 14 de abril](#)).

O atual regime jurídico de avaliação de impacte ambiental (AIA) encontra-se instituído pelo [decreto-lei n.º 151-B/2013, de 31 de outubro](#), que transpõe para a ordem jurídica interna a [diretiva n.º 2011/92/UE](#), do Parlamento Europeu e do Conselho, de 13 de dezembro de 2011, relativa à avaliação dos efeitos de determinados projetos públicos e privados no ambiente (codificação da Diretiva n.º 85/337/CEE, do Conselho de 27 de junho de 1985).

O decreto-lei n.º 151-B/2013 reflete também os compromissos assumidos pelo Governo Português no quadro da Convenção sobre Avaliação dos Impactes Ambientais num Contexto Transfronteiriço (Convenção de Espoo), aprovada pelo [decreto n.º 59/99, de 17 de dezembro](#).

Este diploma, que entrou em vigor a 1 de novembro de 2013, revoga o Decreto - Lei n.º 69/2000, de 3 de maio, alterado e republicado pelo Decreto-lei n.º 197/2005, de 8 de novembro.

Os decretos-leis [n.º 47/2014 de 24 de março](#) e [179/2015, de 27 de agosto](#) procederam respetivamente a uma primeira e segunda alteração ao decreto-lei n.º 151-B/2013 de 31 de outubro.

Diplomas regulamentares:

- [Portaria n.º 172/2014 de 5 de setembro](#), que estabelece a composição, o modo de funcionamento e as atribuições do Conselho Consultivo de Avaliação de Impacte Ambiental
- [Portaria n.º 326/2015, de 2 de outubro](#), que fixa os requisitos e condições de exercício da atividade de verificador de pós-avaliação de projetos sujeitos a AIA
- [Portaria n.º 368/2015, de 19 de outubro](#) fixa o valor das taxas a cobrar no âmbito do processo de AIA
- [Portaria n.º 395/2015, de 4 de novembro](#) que aprovou os requisitos e normas técnicas aplicáveis à documentação a apresentar pelo proponente nas diferentes fases da AIA e o modelo da Declaração de Impacte Ambiental (DIA)

- [Portarias n.º 398/2015](#) e [n.º 399/2015](#), de 5 de novembro, que estabelecem os elementos que devem instruir os procedimentos ambientais previstos no regime de Licenciamento Único de Ambiente, para a atividade pecuária e para as atividades industriais ou similares a industriais (operações de gestão de resíduos e centrais termoelétricas, exceto centrais solares), respetivamente.

No que respeita ao ordenamento do território, a LBRG estipula que na definição e prossecução do interesse público em matéria de conhecimento, conservação e valorização dos bens geológicos, devem ser adotadas estratégias concertadas de sustentabilidade no domínio económico, social e ambiental, de modo a otimizar a utilização dos recursos naturais geológicos numa ótica integrada de planeamento territorial, que inclua a complementaridade espacial e a dimensão temporal das atividades de aproveitamento por extração.

A atribuição dos direitos de revelação e aproveitamento (com exceção da avaliação prévia) é precedida de consulta obrigatória aos municípios, nas respetivas áreas de jurisdição territorial, e demais entidades competentes nos domínios da proteção ambiental, da gestão territorial, do património cultural, da conservação da natureza, das florestas e dos aproveitamentos hidroagrícolas.

Ver:

Lei de bases gerais da política pública de solos, de ordenamento do território e de urbanismo (LBGPPSOTU)
- Lei n.º 31/2014, de 30 de maio
Regime jurídico dos instrumentos de gestão territorial (RJIGT)
- Decreto-Lei n.º 80/2015, de 14 de maio

No âmbito da regulamentação em curso está previsto que deverá ser assegurada uma exploração sustentável dos recursos geológicos, económica, social, ambiental e territorial, atentos os valores da transparência e da segurança na atração do investimento, do interesse público dos recursos geológicos integrados no domínio público do Estado e da sua natureza escassa, insubstituível e não deslocalizável, enquadrada no **princípio da coexistência** com outros usos do solo e no **princípio da paridade** dos valores destes recursos naturais com os valores ambientais e territoriais.

A incidência territorial da programação ou concretização da política pública para os recursos geológicos deve ser expressa em programas setoriais, nos termos do regime jurídico dos instrumentos de gestão territorial (art.º 40.º da LBRG).

É necessário possuir informação geológica de base que enquadre áreas de antigas e atuais explorações e áreas com potencial mineiro, atribuindo ao recurso mineral um conceito de valor estratégico, único e não renovável.

Os planos territoriais municipais e intermunicipais devem respeitar o disposto nos programas setoriais para os recursos geológicos.

A descoberta de recursos geológicos com especial interesse para a economia nacional ou regional pode justificar a adoção de medidas cautelares, designadamente a suspensão dos instrumentos de gestão territorial da área em causa, as quais estabelecem as restrições e condicionalismos a observar até à elaboração ou alteração dos instrumentos de gestão territorial aplicáveis à área em causa.

No espaço marítimo nacional, as atividades de revelação e aproveitamento de recursos geológicos dependem da prévia aprovação de plano de situação ou de plano de afetação que preveja as atividades de prospeção, pesquisa e exploração de recursos geológicos como potenciais.

Importa também fazer referência ao licenciamento das atividades industriais associadas: O Decreto-Lei n.º 73/2015, de 11 de maio, procede à primeira alteração ao **Sistema da Indústria Responsável (SIR)** aprovado em anexo ao Decreto-Lei n.º 169/2012, de 1 de agosto.

F) Responsabilidade Social

No fomento de práticas mineiras sustentáveis, Portugal tem desenvolvido um conjunto de iniciativas no sentido da melhoria da contribuição económica, social e ambiental da indústria extrativa, através da promoção da transparência e aproximação às comunidades locais para que haja uma melhor compreensão da necessidade e benefício mútuo do aproveitamento dos recursos geológicos para o país.

Apresentam-se sumariamente algumas das práticas desenvolvidas e implementadas no âmbito da responsabilidade social:

Avisos publicados em DR, jornais nacionais e locais	Envolvimento das Câmaras Municipais	Responsabilidade Social das Empresas
<p>A DGEG dá público conhecimento dos pedidos de prospeção e pesquisa e de exploração, convidando os interessados a manifestarem preferência ou a apresentarem reclamações.</p> <p>Após assinatura dos contratos, é feita igualmente a divulgação das condições contratuais gerais</p>	<p>A atribuição dos direitos de revelação e aproveitamento de recursos geológicos, com exceção dos direitos de avaliação prévia, é precedida de consulta aos municípios e demais entidades competentes nos domínios da proteção ambiental e da gestão territorial (com referência aos princípios da coexistência e paridade).</p> <ul style="list-style-type: none">- É importante alcançar um compromisso efetivo com a população local e outras partes interessadas, sendo que a prestação de informações precisas sobre estas questões contribui também para que o público compreenda melhor as atividades de exploração mineira.- É de desenvolver métodos de cooperação com as comunidades locais e melhorar os já existentes, com desenvolvimento de estratégias mutuamente aceitáveis para o desenvolvimento e o crescimento económico a nível regional.- Há diversas questões que devem ser tomadas em consideração, nomeadamente os benefícios para a comunidade local (diretos e indiretos), p. ex. a contratação de mão-de-obra local.	<p>Garantir que parte da riqueza gerada pela exploração dos recursos minerais seja reinvestida a nível local e regional. Os atuais contratos preveem que possa ser deduzida uma percentagem do valor dos royalties para aplicação localmente, pelas empresas mineiras, em projetos de caráter social, cultural, ambiental e de investigação.</p>

G) Supervisão da atividade

A verificação do cumprimento das normas previstas na LBRG é efetuada através de ações de acompanhamento, fiscalização e inspeção, a desenvolver de forma sistemática pela DGEG, no cumprimento da obrigação legal de vigilância que lhe cabe, podendo ser emitidas orientações para adoção de medidas específicas com vista a acorrer a situações especiais.

Capítulo IV
ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E POTENCIAL MINEIRO
OCORRÊNCIAS de MINERALIZAÇÕES DE LÍTIO em PORTUGAL

Compilado e organizado por
LNEG - março 2017

Jorge M. F. Carvalho
Rute M.M. Salgueiro
Daniel P. S. de Oliveira

Vitor M. B. Lisboa
Carlos M. C. Inverno



Extrato da Carta Geológica de Portugal, escala 1:1.000.000 (LNEG, 2010)

ÍNDICE

PÁGINA

1. INTRODUÇÃO	2
2. CAMPO APLITO-PEGMATÍTICO DA SERRA DE ARGã	4
3. CAMPO APLITO-PEGMATÍTICO BARROSO – ALVãO	13
4. Região de SEIXOSO – VIEIROS	19
5. Região de ALMENDRA	27
6. Região de BARCA DE ALVA – ESCALHãO	34
7. Região de Massueime	47
8. Aplito-Pegmatitos da Guarda-Mangualde	52
9. Região de Argemela	61
10. Região de Segura	69
11. Conclusões	74

1. INTRODUÇÃO

(in ENT, Tomo 42, 2000, IGM)

O lítio é o metal mais leve que se conhece. É macio, prateado e reage lentamente com o oxigénio e a água. Foi descoberto em 1817 por Arfvedson, em Estocolmo e o seu nome provém de “lithos” (pedra). Tem o número atómico 3 e peso atómico 6,941, fazendo parte do grupo de metais alcalinos, Distingue-se pela sua atividade química intensa e pela sua baixa densidade 0,534, os seus sais coram a chama de vermelho vivo.

Na natureza ocorre sempre combinado em cerca de 90 espécies minerais, em geral silicatos, fosfatos, hidróxidos e fluoretos, sendo as mais comuns a espodumena, lepidolite, ambligonite, litiofilite entre outros minerais. Por se tratar de um metal alcalino, apresenta propriedades idênticas às do sódio e do potássio, mas a similaridade do seu raio iónico com o do magnésio permite substituição extensa deste elemento e a sua concentração tardia em minerais de magnésio, como algumas micas de pegmatitos.

O lítio é em geral comercializado em concentrados de minerais, salmouras e compostos vários, como carbonato, hidróxido, cloreto e ainda sob a forma metálica. A maior parte dos compostos de lítio tem sido consumida na produção de materiais cerâmicos e na indústria do vidro, na metalurgia do alumínio, em lubrificantes e tem hoje uma utilização muitíssimo importante nas baterias de iões de lítio, em parte despoletada pelo aumento significativo da produção de veículos elétricos, utilização que colocou em alta a procura deste metal e das suas várias fontes ocorrência na natureza.

Entende-se, assim, que as reservas mundiais de lítio tenham vindo a ser alvo de um grande escrutínio e constantemente atualizadas. Até ao último quartel do sec. XX os Estados Unidos foram o principal produtor e consumidor de lítio, obtido a partir de pegmatitos com espodumena na Carolina do Norte e de salmouras litiníferas do Nevada. A partir de uma certa altura as salmouras dos salares da América Latina e os pegmatitos da Austrália, Rússia, China, Zimbabué e Brasil passaram a ganhar maior relevo na produção mundial. Nos dados da produção mundial disponíveis até 2014, Portugal consta como sexto maior produtor de lítio.

Tomando como base os dados de Wedepohl, constata-se que o lítio mostra tendência para se concentrar na crosta (12 ppm), relativamente ao manto (1,4 ppm). Em relação com os processos magmatogénicos, concentra-se em granitos altamente diferenciados, nos greisens e em alguns pegmatitos graníticos, juntamente com outros elementos como o flúor, cloro, fósforo e manganês. No que diz respeito à rochas ígneas plutónicas, as rochas ultramáficas apresentam em média teores da ordem de 0,x %Li, as rochas básicas como gabros 10 ppm, os dioritos e granodioritos 20 ppm, os sienitos entre 10 a 28 ppm, os sienitos nefelínicos entre 20 a 37 ppm e os granitos 30 a 40 ppm. Quanto às rochas ígneas vulcânicas, as rochas riolíticas contêm geralmente entre 36 a 50 ppm, os traquitos 27 ppm, os andesitos 6 a 25 ppm e os basaltos 6 a 17 ppm.

Por sua vez, alguns tipos de rochas sedimentares apresentam os seguintes conteúdos médio de lítio: dolomitos 15 ppm, sedimentos argilosos 66 ppm, argilitos marinhos 76 ppm, argilitos de água doce 67 ppm e arenitos 38 ppm.

Em relação às rochas metamórficas são conhecidos poucos valores, no entanto 25 e 170 ppm são referidos para xistos pelíticos, 25 e 110 ppm para metagrauwques e 109 a 25 ppm para granulitos.

Com referência às concentrações de lítio nas águas naturais, os valores médios são de 23 ppm nas águas dos rios, 0,19 ppm na água do mar e 8,2 ppm nas águas hidrotermais. As águas naturais sulfúreas exigem teores < 1,5 ppm e nas gasocarbónicas os valores sobem para máximos de 5,8 ppm.

O lítio, como elemento incompatível, mostra tendência para se concentrar nos magmas graníticos mais diferenciados, em especial de graníticos variscos de tipo S, ou dos que foram largamente contaminados por materiais resultantes da fusão de metassedimentos crustais e nos resíduos aplíticos, pegmatíticos e hidrotermais que frequentemente se formam após a consolidação desses magmas. Este tipo de granitoides aflora no norte e centro de Portugal nas zonas Galiza Média-Trás-os-Montes e Zona Centro Ibérica, pelo que as ocorrências de lítio mais importantes estão localizadas nestas regiões, a maior parte constituídas por filões e bolsadas intergraníticas, mas por vezes também encaixadas nas formações metassedimentares.

Nos parágrafos seguintes foram coligidos dados e informações relevantes, geológicas e mineiras, sobre as principais regiões onde ocorrem formações com potencial litinífero, enumeradas no Índice que antecede a presente Introdução, abordando em cada um dos casos os seguintes temas, sempre que a respetiva informação esteja disponível:

- Enquadramento geológico regional
- Ocorrência Regional – é considerado como um grupo de ocorrências consideradas com a mesma afiliação metalogenética
- Tipo metalogenético
- Morfologia dos corpos mineralizados
- Dispersão geográfica local
- Paragénese principal
- Paragénese acessória
- Descrição macro textural (relacionamento geométrico com o encaixante)
- Descrição textural da mineralização (calibre de ocorrência e libertação mineral)
- Teores nos minerais úteis e acessórios
- Estimativa de Recursos
- Servidões Mineiras / Outra Informação disponível

2. CAMPO PEGMATÍTICO da SERRA DE ARGÁ

Enquadramento geológico regional

O campo aplito-pegmatítico da Serra de Argá é estruturalmente enquadrado a W pelo carreamento de Orbacém e pela zona de cisalhamento Vigo - Régua definindo uma faixa aproximadamente NW-SE na zona paleogeográfica Galiza Média-Trás-os-Montes (mapa página seguinte). Relaciona-se precocemente com os granitos de Santo Ovídio e Serra de Antelas, e tardiamente com o granito da Serra de Argá, todos de duas micas. As fácies aplito-pegmatíticas litiníferas são sin-tectónicas relativamente à 3ª fase de deformação Varisca (D₃) e relacionam-se genética e espacialmente com o plutonito de Serra de Argá. Este apresenta configuração elíptica segundo orientação NW-SE (eixo maior) e forma diapírica, comportando uma fácies granítica de duas micas de grão médio a grosseiro, com quimismo sílico-sódico, sin-tectónica relativamente D₃. Intrui unidades metassedimentares (principalmente, xistos andaluzíticos) do Silúrico incluídas nos terrenos parautóctones (Unidade Minho Central). No bordo Este da Serra de Argá constituíram-se *cone-sheets* durante a ascensão do plutonito, que terão sido posteriormente reativados como estruturas de cisalhamento polifásicas que confluem a Sul e em profundidade, na zona de cisalhamento mestra de Argas-Cerquido, organizando-se numa estrutura em flor positiva (duplex contracional).

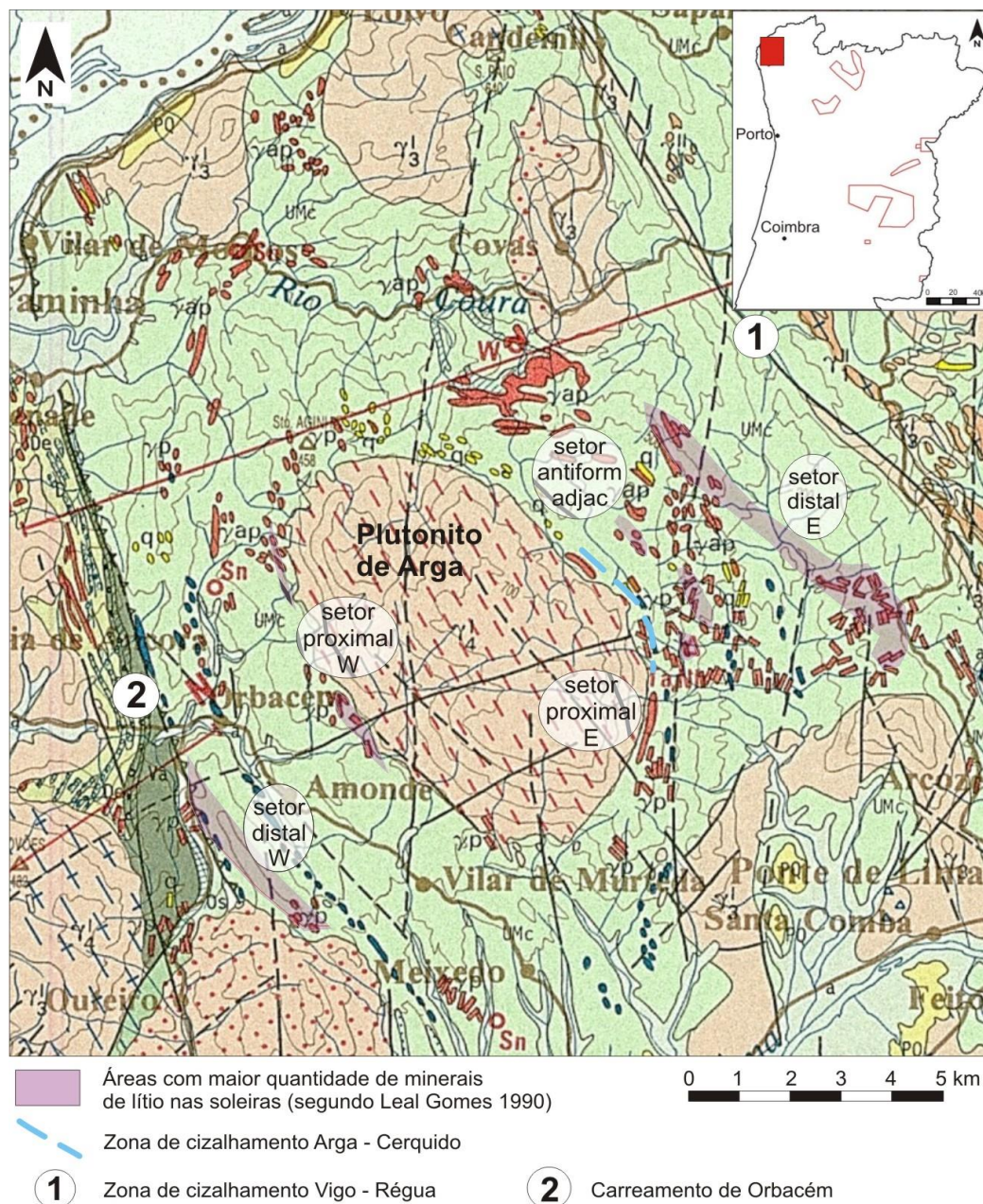
A instalação dos filões estaria associada ao desenvolvimento progressivo da fase D₃. Considera-se que existe uma compartimentação estrutural e paragenética e uma zonalidade cartográfica, aproximadamente concêntrica, em relação ao plutonito de Argá. Verifica-se enriquecimento centrífugo do Li, com ápex intragranítico nas porções SE e SW do plutonito e a sua irradiação pela geração de soleiras, segundo um eixo ENE-WSW. Os filões mais precoces (geração dos filões cruzados) relacionam-se geneticamente com o granito de Santo Ovídeo.

Ocorrência Regional – grupo de ocorrências consideradas com a mesma afiliação metalogénica

O campo aplito-pegmatítico da Serra de Argá situado no distrito de Viana do Castelo (concelhos de Caminha, Paredes de Coura, Ponte de Lima, Viana do Castelo e Vila Nova de Cerveira) faz parte da Cintura Pegmatítica Centro - Ibérica da Província Pegmatítica Varisca e tem afiliação na Província metalogénica tungsténio-estánifera do NW da Península Ibérica; este campo está genética e espacialmente relacionado com a instalação de granitos de duas micas.

Tipo metalogénico

Família LCT (lítio, céσιο e tântalo) em campo exo-granítico. Os aplito-pegmatitos que por vezes ocorrem apresentando paragénese das duas feições geoquímicas (LCT, NYF) como é o caso das bolsadas intra-graníticas de morfologia irregular com grandes dimensões, não têm ocorrências de minerais de lítio em combinações economicamente relevantes.



Enquadramento geológico do campo aplito-pegmatítico da Serra de Arga. Extrato da Folha 1 da Carta Geológica de Portugal, escala 1:200.000 (Pereira, 1989) com sectores e áreas de maior ocorrência de minerais litiníferos, segundo Leal Gomes (1990).

Símbolos das litologias: γ_4 Granito da Serra de Arga (grão grosseiro, duas micas, raros megacrístais); Granito de Bouça do Frade (extremo SW do mapa) – *SIN A TARDI TECTÓNICOS RELATIVAMENTE A D₃*; γ_3 Granito de Covas, Sto. Ovídeo (grão grosseiro, duas micas) – *SIN TECTÓNICOS RELATIVAMENTE A D₃*; UMc – Unidade do Minho Central [pelitos e psamitos, skarnitos e vulcanitos, xistos negros, quartzitos cinzentos (a azul escuro), intercalações de ampelitos (a tracejado)] - *SILÚRICO*; Va – Formação de Valongo - *ORDOVÍCIO*; Yap – aplito-pegmatito; Yp – pegmatito; q – filão de quartzo

Morfologia dos corpos mineralizados

Ao nível do maciço e campo aplito-pegmatítico, foram descritos diferentes sectores de ocorrência (mapa página anterior):

- *Sector proximal*, com predominância de corpos radiais e tipo soleira enraizados no granito;
- *Sector dos antiformas adjacentes*, com poucos filões;
- *Sector distal*, onde se verificam caixas em filões entrecruzados e porções terminais do enxame de soleiras. As mineralizações de lítio ocorrem preferencialmente nos enxames de soleiras aplito-pegmatíticas enraizados no granito do plutonito de Arga, nos setores proximal e distal.

Os filões aplito-pegmatíticos têm possança em geral de 0,2m a um máximo de 2 m.

Estão descritos vários tipos de filões aplito-pegmatíticos que compreendem filões radiais perigraníticos, filões pegmatoides peraluminosos sódicos intragraníticos, sills (soleiras) pegmatoides peraluminosos potássicos litiníferos exograníticos com petalite, espodumena e ambligonite, sills (soleiras) pegmatoides sodolíticos exograníticos com espodumena, ambligonite e elbaíte, filões pegmatíticos hiperaluminosos lítico-potássicos exograníticos distais com lepidolite, elbaíte e ambligonite.

Dispersão geográfica local

A distribuição do enxame de soleiras e das mineralizações de lítio hóspedes é centrífuga e simétrica relativamente ao plutonito de Arga (mapas anterior e seguinte), o que sugere a filiação litinífera naquele granito.

Nas páginas seguintes encontram-se extratos das folhas 1A – Viana do Castelo e 1C – Caminha, da Carta Geológica de Portugal (escala 1:50.000) abrangendo a área do campo aplito-pegmatítico da Serra de Arga e proposta de revisão por Leal Gomes (2008) da Folha 1C – Caminha.

Paragénese principal

Verifica-se uma paragénese litinífera primária mais abundante e responsável pelo enchimento principal dos filões sub-horizontais, com estrutura pegmatoide dominante que inclui petalite e/ou espodumena, que passam gradualmente a estruturas aplitóides albíticas com ambligonite-montebasite disseminada.

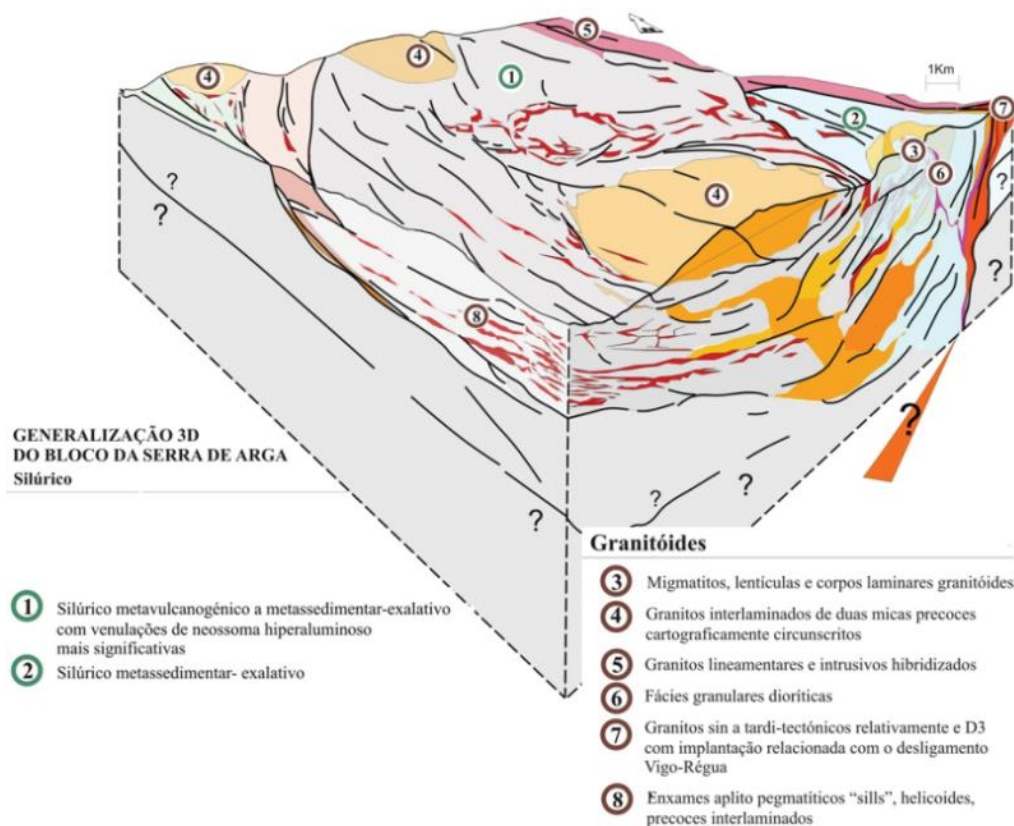
Os corpos radiais nos sectores proximais, precoces, possuem mais feldspato potássico e moscovite primária que as litologias nas soleiras, mais tardias, que são predominantemente albíticas.

Nas ocorrências litiníferas tipo, descritas na bibliografia (Formigoso, Pedras Frias, Picoto do Carvalho, Verdes-Folgadoiro, Balouca), a paragénese principal inclui, variando a importância relativa dos

minerais com a localização, albite, feldspato potássico, quartzo, mica, espodumena, ambligonite, cassiterite, columbite-tantalite e petalite (significativa em Formigoso).

Paragénese acessória

Os minerais que constituem a paragénese litinífera secundária, em filões tardios originados na dependência da greisenização regional são micas litíferas (lepidolite) e mais raramente eucryptite+albite. A lepidolite constitui frequentemente o mineral litinífero predominante nos filões tardios.



Generalização 3D do Bloco Serra de Arga com realce da estruturação D₂ e sua simplificação (Leal Gomes, in Dias 2012)

Descrição macro textural (relacionamento geométrico com o encaixante)

Os aplitos e aplito-pegmatitos litiníferos constituem filões tipo soleira e massas irregulares que intruem encaixante metassedimentar (Silúrico), por vezes com notável continuidade lateral. As soleiras apresentam dobramento suave, manifestado quer pelos contactos quer pelas fluidalidades internas, com dobras paralelas aos contactos. Domina a orientação NW-SE.

Descrição textural da mineralização (calibre de ocorrência e libertação mineral)

A petalite é branca-creme, translúcida a transparente (opaca quando alterada), em cristais prismáticos, muitas vezes pluricentimétricos, que definem estruturas pegmatóides, em “comb”. Aparece parcialmente substituída por intercrescimentos muito finos de quartzo e espodumena. O conteúdo de Fe total é baixo.

A espodumena é o mineral de lítio mais frequente na generalidade das ocorrências referidas na bibliografia, apresentando-se em cristais brancos e translúcidos, prismáticos, de dimensão centimétrica, milimétrica e submilimétrica, respetivamente em estruturas oclares, massas sodolíticas e disseminações; quando submilimétricos, os cristais têm aspeto sacaróide a radiado.

A ambligonite-montebasite surge em quase todos os corpos “sill”, essencialmente disseminada na fácies aploalbitica mais fina, onde pode constituir os grãos mais grosseiros mas com dimensões sempre submilimétricas. A cor varia de branco, a branco azulado, au branco acastanhado, dependendo da alteração da litologia portadora.

As turmalinas (eventualmente litiníferas) são pouco frequentes.

As micas de lítio apresentam cor rósea a lilás com hábito finamente granular em massas, ou cor esverdeada e dourada, com aspeto fibroso a lamelar.

A eucryptite é rara ocorrendo na dependência e proximidade da espodumena.

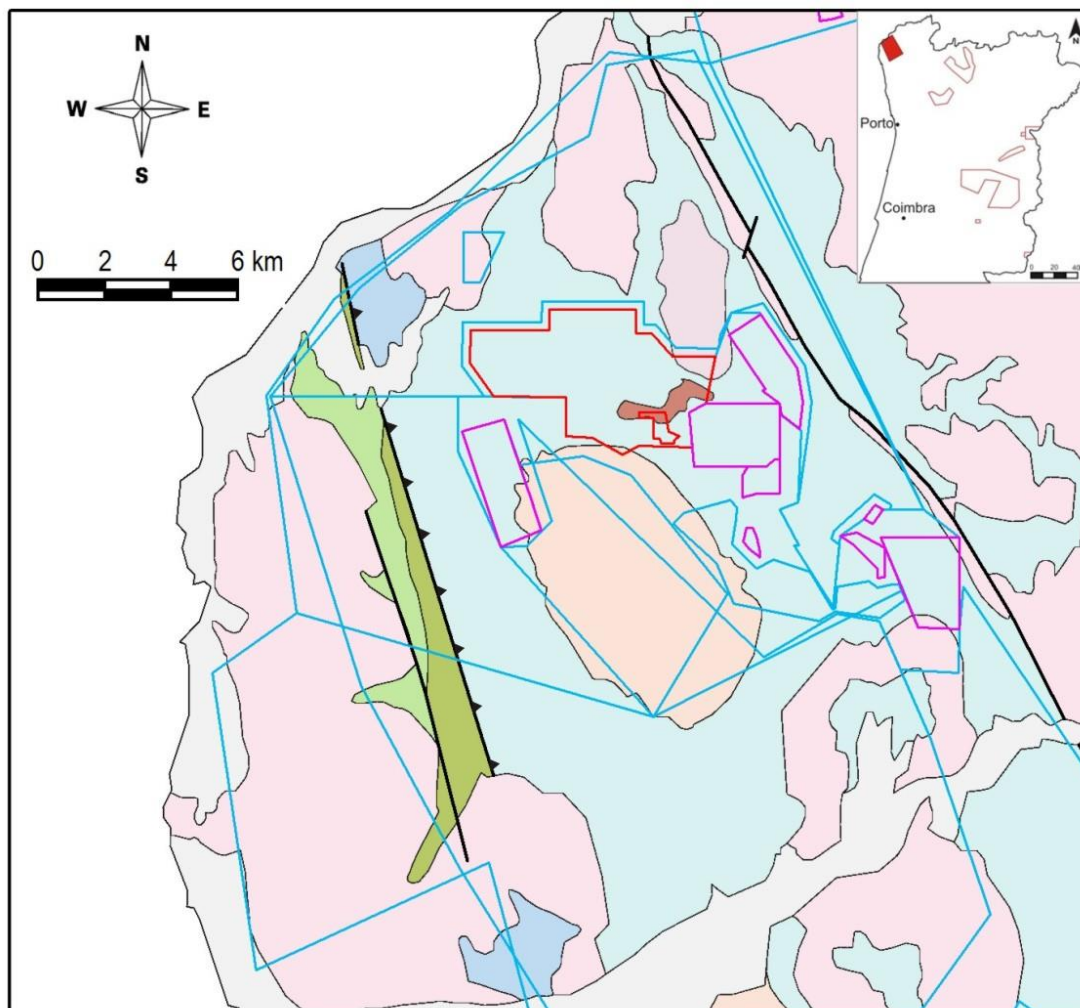
Teores nos minerais úteis e acessórios

Os teores máximos de Li_2O indicados para a mineralização são: 1,3% em Formigoso, 1,9% em Afife, 2,9% em Balouca.

Estimativa de Recursos

Na ocorrência de Formigoso, está indicada uma tonelagem de recurso provável em petalite para fim cerâmico superior a 22000 t e em Afife os recursos prováveis em espodumena industrial serão superiores a 2500 t.

Servidões Mineiras



Modificado e adaptado da Carta Geológica de Portugal, escala 1:1.000.000 (LNEG, 2010)

Período de Exploração Experimental
 Concessão Mineira
 Prospecção e Pesquisa

Data das áreas requeridas e atribuídas: 25/10/2016

<p> Aluviões, dunas e terraços</p> <p> Pórfiros e aplito-pegmatitos</p> <p> Granitos sin-tardiorogénicos</p> <p> Granitos sinorogénicos</p>	<p> Xistos, e quartzitos - Parautóctone (Silúrico)</p> <p> Xistos negros (Silúrico)</p> <p> Xistos e quartzitos (Ordovícico)</p> <p> Xistos, pelitos, metagrauwaques e quartzitos (Câmbrico)</p>
---	--

Servidões mineiras na área do campo aplito-pegmatítico da Serra de Arga.

Bibliografia

Araújo P., 2015. Mineralizações associadas a shear zone networking na vertente oriental da Serra de Arga (Minho, Portugal). Tese Mestrado, Universidade do Minho (não publicada), 106 p.

Araújo P., Leal Gomes C., 2014. Análise geométrica e cinemática das partículas de Au acolhidas em arsenopirite no corredor de cisalhamento de Argas-Cerquido-Serra de Arga (Minho). Comunicações Geológicas 101, Especial I, p. 243-246.

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 (não publicada), 466 p.

Leal Gomes, C., 1994. Estudo estrutural e paragenético de um sistema pegmatóide granítico – O campo filoneano de Arga – Minho (Portugal). Tese de Doutoramento, Universidade do Minho (não publicada), 695 p.

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, 35-45.

Leal Gomes, C. (coord.), 2008. Minutas de revisão da folha 1C - Caminha, da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000. Submetido para publicação pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia.

Leal Gomes, C., Lopes Nunes, J., 1990. As paragénese correspondentes à mineralização litinífera do campo aplitepegmatítico de Arga-Minho, Norte de Portugal. Memórias e Notícias, Publicações do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico, Universidade de Coimbra, 109, p. 131-166.

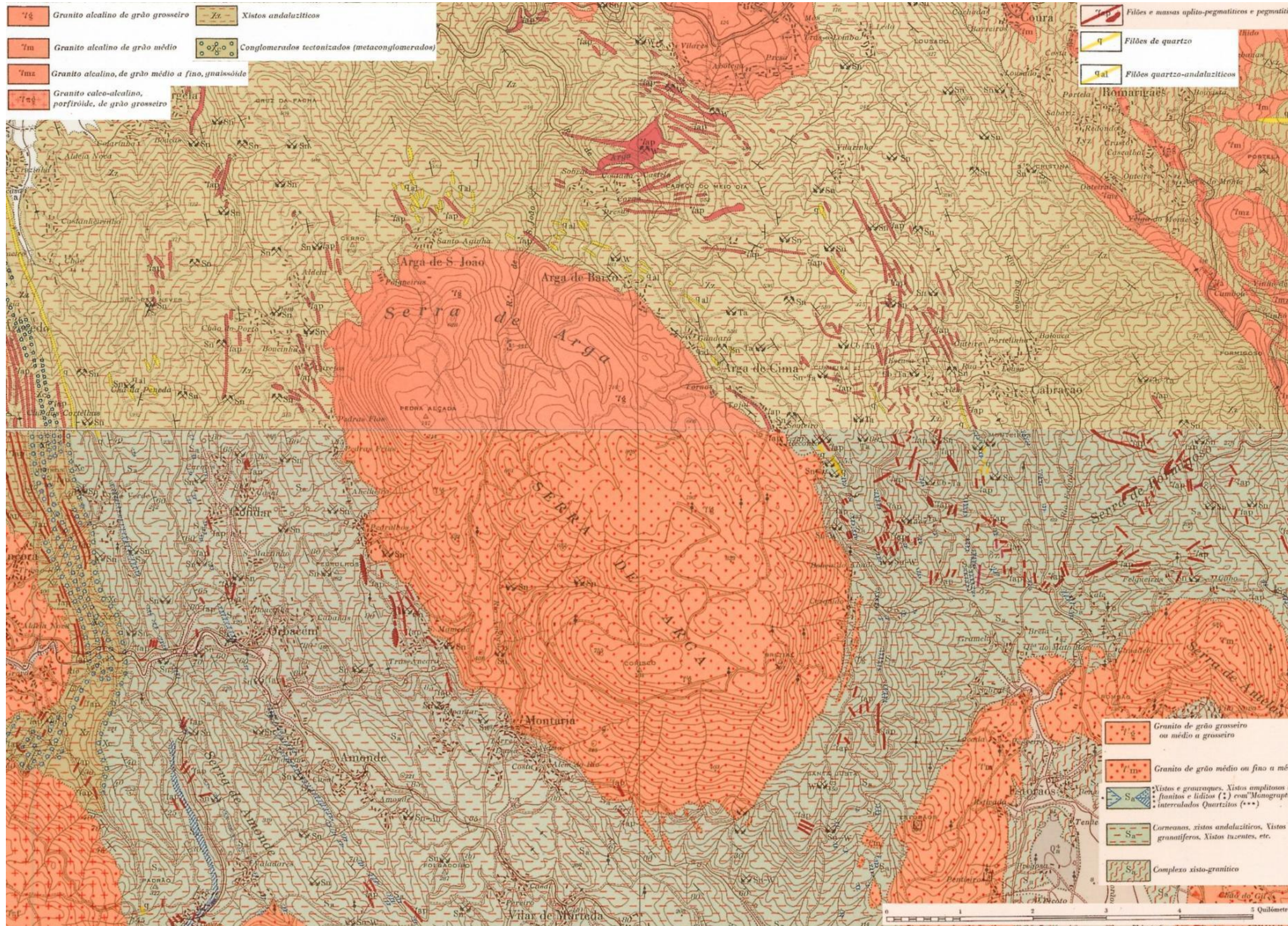
Moura S., Leal Gomes C., Dias P., Lopes Nunes J., 2010. Determinantes mineralógicos e paragenéticos nas tipologias de minérios e relações teor/tonelagem em pegmatitos do N de Portugal. In: Valorização de Pegmatitos Litiníferos, (Eds.) Editores: Martins L.M.P., Oliveira D.P.S. de, Silva R., Viegas H.M.C., Villas Bôas R.C., Lisboa, Portugal, p. 75-76.

Nunes, J., 1990. As paragénese correspondentes à mineralização litinífera do campo aplitepegmatítico de Arga-Minho, Norte de Portugal. Memórias e Notícias, Publicações do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico, Universidade de Coimbra, 109, p. 131-166.

Pereira E. (Coord), 1989. Folha 1 da Carta Geológica de Portugal, escala 1:200.000, S.G.P. (LNEG).

Rodrigues M.L., Arezes V., Costa R., Leal Gomes C., Teruel Verduzco G., Pacheco G., Dias P., Montenegro P., 2010. Especialização metalogenética contrastante no campo pegmatítico varisco da Serra de Arga (Minho-Portugal). In: Valorização de Pegmatitos Litiníferos, (Eds.) Editores: Martins L.M.P., Oliveira D.P.S. de, Silva R., Viegas H.M.C., Villas Bôas R.C., Lisboa, Portugal, 73-74.

SIORMINP - Sistema de Informação de Ocorrências e Recursos Minerais Portugueses, LNEG.



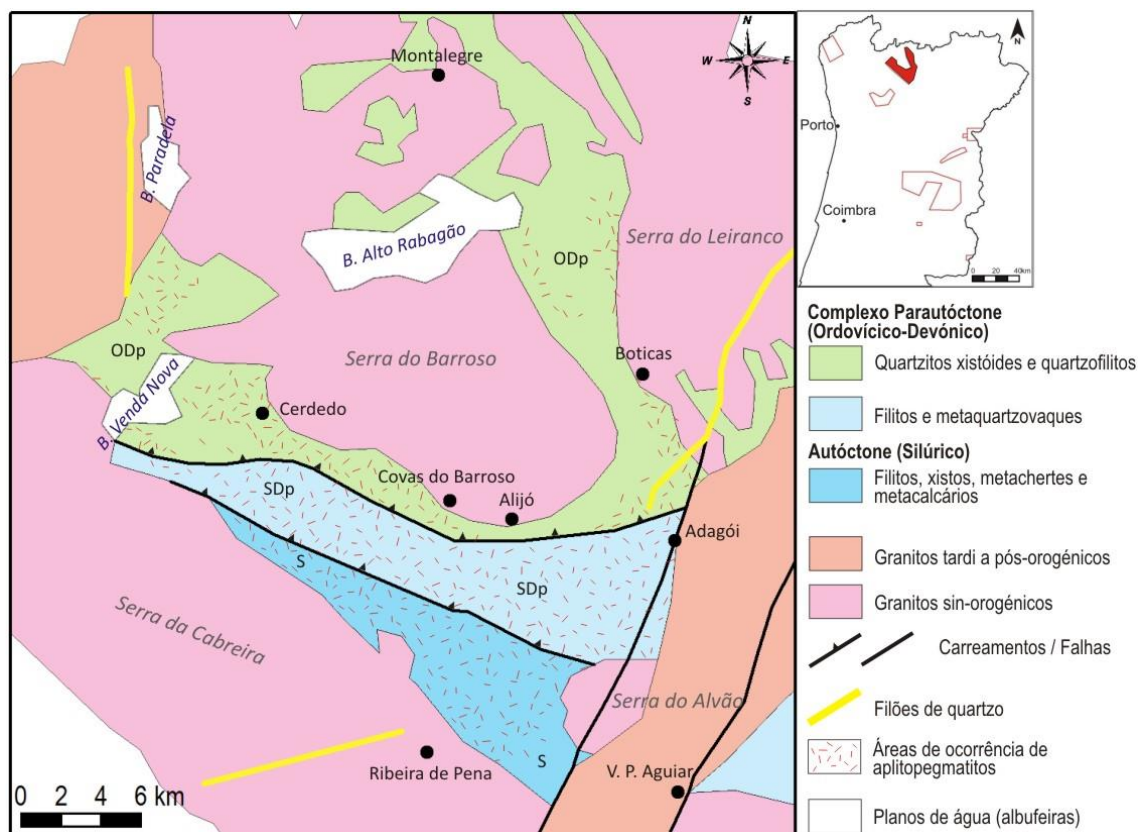
Extratos das folhas 1C – Caminha e 5A – Viana do Castelo, da Carta Geológica de Portugal (escala 1:50.000) correspondentes à área do campo aptitopegmatítico da Serra de Arga. As legendas no canto superior esquerdo e no canto inferior direito referem-se respetivamente às litologias nas folhas 1C e 5A, que afloram neste extrato; a legenda no canto superior direito (rochas filoneanas) é comum.

3. CAMPO APLITO-PEGMATÍTICO BARROSO – ALVÃO

Enquadramento geológico regional

O campo pegmatítico de Barroso – Alvão localiza-se no distrito de Vila Real, a norte desta cidade, ocupando parte dos concelhos de Montalegre, Boticas, Ribeira de Pena, Vila Pouca de Aguiar e Cabeceiras de Basto. Geologicamente integra-se na Zona Galiza Trás-os-Montes e abrange o carreamento que estabelece o extremo norte da Zona Centro-Ibérica a oeste da Falha Régua – Verin. Este campo é caracterizado pela existência de centenas de corpos pegmatíticos.

Este campo é caracterizado pela ocorrência de centenas de corpos filonianos, alguns deles ricos em minerais de lítio. Intruem, sobretudo, rochas metassedimentares afetadas por metamorfismo regional de grau intermédio (zona da andaluzite – biotite) e que evidenciam três foliações superimpostas denunciadoras das 3 principais fases de deformação dúctil Varisca.



Enquadramento geológico do campo pegmatítico de Barroso - Alvão (adaptado de Carta Geológica de Portugal à escala 1:1000000, ed. 2010, LNEG)

Os metassedimentos são constituídos essencialmente por quartzofilitos e micaxistos do Ordovício superior ao Devónico inferior que se apresentam muito dobrados e silicificados. A instalação dos filões no seio destas unidades foi maioritariamente controlada pela foliação S2.

As rochas graníticas que enquadram a norte e a sudoeste os metassedimentos região de Barroso - Alvão são granitos de duas micas, grão médio a grosseiro e tendência porfiroide, sin-tectónicos (sin-D₃). Apresentam composição peraluminosa e o seu teor em Li e Sn permite admitir que os corpos pegmatíticos ricos em lítio estão com eles relacionados. Os granitos situados a noroeste e a sudeste são granitos biotíticos tardi-tectónicos (pós-D₃).

Tipo metalogenético

Pegmatitos com elementos raros; família LCT (Li, Cs, Ta), subtipos espodumena, petalite e lepidolite.

Morfologia dos corpos mineralizados

Aplitopegmatitos espoduménicos: forma tabular e dispõem-se de modo sub-horizontal a bastante inclinados, com orientação acompanhando a foliação S₂, ou seja, WNW-ESE. Espessura variável, desde alguns centímetros a mais de 10 m; os mais espessos desenvolvem estrutura *pinch & swell* em acomodamento às variações reológicas das rochas que atravessam; os contactos com os metassedimentos encaixantes são bruscos e sem evidências de metassomatização, à exceção de ligeira turmalinização dos metassedimentos junto ao contacto;

Aplitopegmatitos petalíticos: dispostos de modo subvertical (?) com orientações compreendidas entre os azimutes N130° e N150°; apresentam forma irregular, lenticular, alongada ou *pinch & swell*; a espessura varia desde 1 m a 30 m e o comprimento pode alcançar os 500 m; o contacto com os metassedimentos encaixantes é semelhante ao das estruturas ricas em espodumena;

Aplitopegmatitos lepidolíticos: zonamento interno simples; ocorre turmalinização das rochas encaixantes.

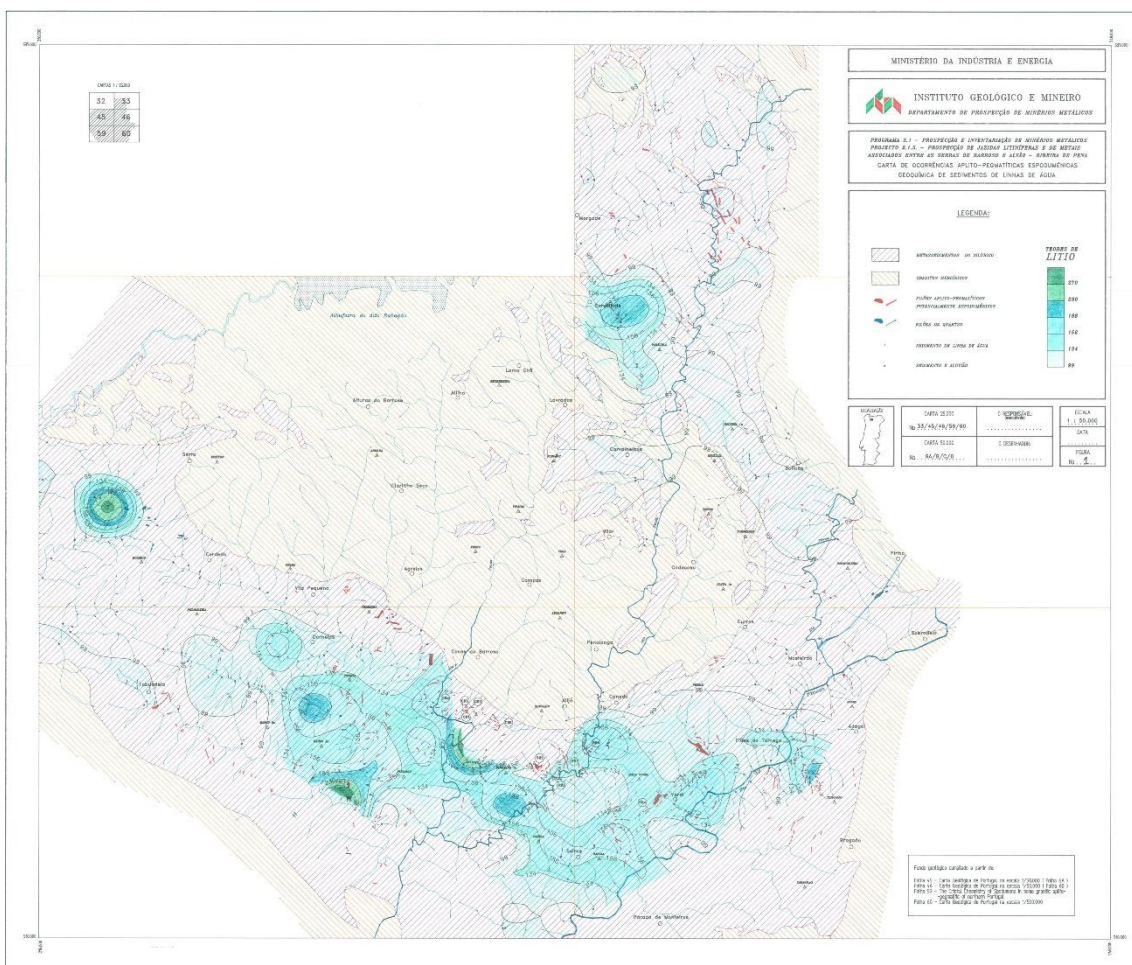
Dispersão geográfica local

Aplitopegmatitos espoduménicos: ocorrem na unidade metassedimentar SDp geralmente em concordância com as estruturas de D₂. Distribuição irregular formando enxames locais que incluem corpos mineralizados de vários tamanhos. Alguma tendência para ocorrerem nas regiões mais a norte e nordeste do campo filoniano.

Aplitopegmatitos petalíticos: intruem as unidades metassedimentares SDp e ODp geralmente em concordância com as de estruturas D₂. Estão especialmente associados com às inúmeras estruturas aplíticas com cassiterite (< 3 kg/t) que, por se apresentarem bastante caulinizadas, foram exploradas artesanalmente durante o período da II Grande Guerra. Alguma tendência para ocorrerem nas regiões mais a sudoeste do campo filoniano.

Aplitopegmatitos lepidolíticos: apenas estão identificadas duas ocorrências filonianas deste tipo. Correspondem às descritas por Charoy et al. (1992) com as referências CHN26 e CHN27. Intruem a Unidade SDp em concordância com estruturas de D₂. Ocorrem nas regiões noroeste do campo filoniano.

Trabalhos de campo realizados pelo Instituto Geológico e Mineiro no início da década de 90 do século passado colocaram em evidência diversas anomalias geoquímicas de lítio, bem como a distribuição espacial da maioria dos corpos filonianos de maiores dimensões. Estiveram na base de estudos posteriores para a valorização industrial de 3 desses corpos: filões de Adagói, Veral e Alijó.



Carta de anomalias geoquímicas de lítio (sedimentos de corrente) e de distribuição de corpos filonéanos no Barroso Alvão (in Pires, 1996)

Paragénese principal

- Pegmatitos intragranitos: quartzo, feldspato, moscovite e biotite
- Pegmatitos estéreis: quartzo, feldspato, moscovite

- Aplitopegmatitos espoduménicos: feldspato potássico, quartzo, espodumena em quantidade variável e moscovite
- Aplitopegmatitos petalíticos: petalite (30%), albite (25%), quartzo (20%), feldspato potássico (10%) e moscovite (10%) (percentagens das formações mais enriquecidas em petalite)
- Aplitopegmatitos lepidolíticos: albite (35%), lepidolite (25%) e quartzo (20%)

Paragénese acessória

- Pegmatitos intragranitos: turmalina, berilo e granada.
- Pegmatitos estéreis: biotite, apatite, berilo, turmalina, clorite, entre outros.
- Aplitopegmatitos espoduménicos: fluorapatite, montebrasite, trifilite, petalite, columbo-tantalite, uraninite, turmalina, eucryptite, entre outros.
- Aplitopegmatitos petalíticos: montebrasite, espodumena, fluorapatite, cassiterite, berilo e columbo-tantalite, entre outros.
- Aplitopegmatitos lepidolíticos: moscovite (5%), cassiterite (2%), apatite (2%) e berilo (1%), entre outros.

Descrição macro textural (relacionamento geométrico com o encaixante)

Os pegmatitos deste campo estão sobretudo encaixados em metassedimentos de idade ordovícica a silúrica, enquadrados por rochas granitoides variscas, sin- e tardi-orogénicas.

Descrição textural da mineralização (calibre de ocorrência e libertação mineral)

Aplitopegmatitos espoduménicos: raramente apresentam zonamento interno evidente. A fase aplítica encontra-se intimamente e de modo aleatório misturada com a fase pegmatítica de granularidade muito grosseira.

- Fase pegmatítica: megacristais de feldspato potássico (até 20 cm); agregados de cristais de espodumena (até 30 cm) euédricos ou anédricos, distribuídos ao acaso ou em aglomerados colunares entre os megacristais de feldspato; grãos de quartzo arredondados de pequena dimensão e moscovite por vezes de grande dimensão, mas pouco abundante.
- Fase aplítica: sacaroide, constituída por pequenos cristais de albite e quartzo e moscovite.

Aplitopegmatitos petalíticos: idem aplitopegmatitos com espodumena. Distinguem-se 3 tipos diferentes de cristais de petalite:

- Cristais não alterados com 5 cm a 20 cm de comprimento e 6 cm a 7 cm de largura.
- Cristais alterados, cor amarelada e de pequena dimensão (0,5 cm a 3 cm).
- Massas brancas criptocristalinas.

Aplitopegmatitos lepidolíticos: apresentam-se bastante caulinizados.

Teores nos minerais úteis e acessórios

- Aplitepegmatitos espoduménicos: 0,78% Li₂O
- Aplitepegmatitos petalíticos: 1,30% Li₂O
- Aplitepegmatitos lepidolíticos: 0,77% Li₂O
-

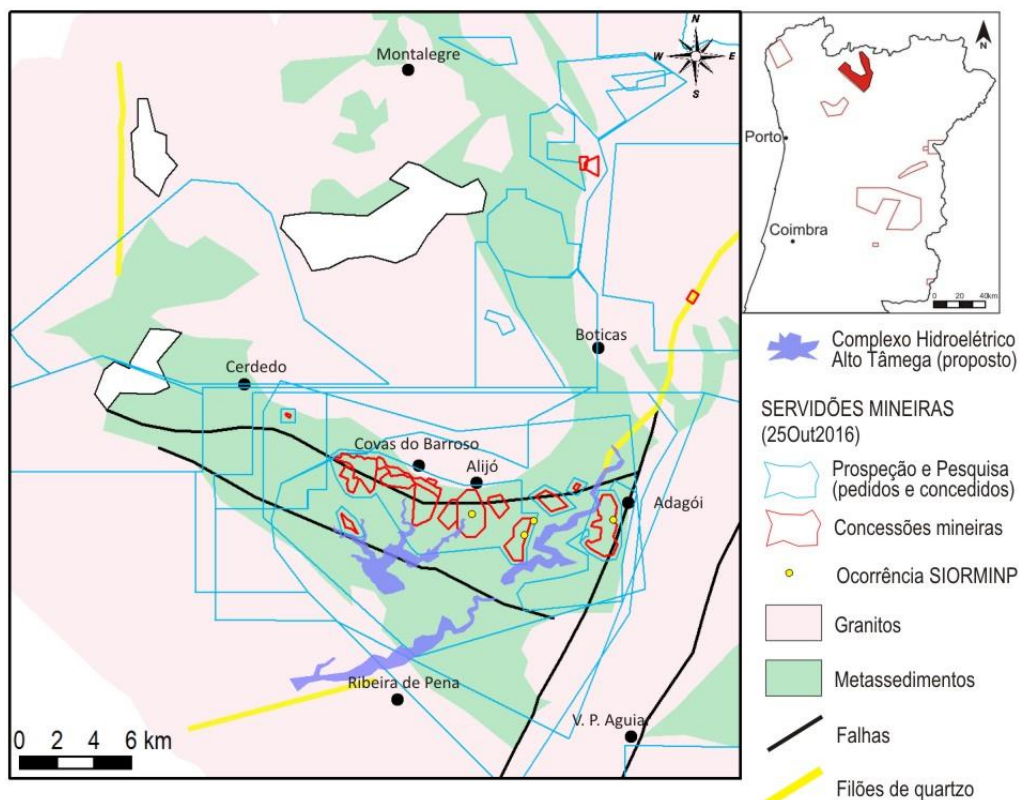
Estimativa de Recursos

Trabalhos realizados pelo Serviço Geológico no fim da década de 90, iniciaram-se por prospeção geoquímica e reconheceram vários filões: filão de Alijó com 380 m de afloramento e 37 m de possança máxima (3 sondagens); filão de Veral com 280 m de afloramento e 8,5 m de possança máxima (4 sondagens); filão de Adagói com 300 m de afloramento e 35 m de possança máxima (3 sondagens):

- Filão Alijó: 402.800 t de minério teor médio de 1.4% de Li₂O.
- Filão Adagói: 108.092 t de minério teor médio de 1.05 % de Li₂O.
- Concessão C100-Covas Barroso: 3.343.551 t de minério teor médio de 0.6 % Li₂O.
- Concessão C110-LOUSAS: 187.000 t de minério teor médio Li₂O < 2%.

Resultados de prospeção e pesquisa recentemente publicados por uma empresa que opera numa área na região de Montalegre apontam, relativamente a um corpo filoniano, a existência de 10,3 milhões de toneladas de minério com teor médio de 1,0 % Li₂O na categoria de Recursos Minerais Inferidos.

Servidões Mineiras



Bibliografia

Amarante, M.M., Botelho de Sousa, A., Machado Leite, M.R., 2000. Ensaios de beneficiação de espodumena em amostras do Alto Barroso. Estudos, Notas e Trabalhos do Instituto Geológico e Mineiro, tomo 42, p. 51-66.

Charoy, B., Lhote, F., Dusausoy, Y., 1992. The crystal chemistry of spodumene in some granitic aplite-pegmatite of northern Portugal. Canadian Mineralogist, Vol. 30, p. 639-651.

Charoy, B., Noronha, F., Lima, A., 2001. Spodumene – Petalite – Eucryptite: Mutual relationships and pattern of alteration in Li-rich aplite-pegmatites dykes from northern Portugal. The Canadian Mineralogist, Vol. 39, p. 729-746.

Farinha, J., Lima, A., 2000. Estudo dos filões aplitepegmatíticos litiníferos da região de Barroso Alvão (Norte de Portugal). Estudos, Notas e Trabalhos do Instituto Geológico e Mineiro, tomo 42, p. 3-50.

Lima, A., 2000. Estrutura, mineralogia e génese dos filões aplitepegmatíticos com espodumena da região Barroso – Alvão. Tese de Doutoramento, Dep. Geologia – Centro de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Lima, A., Charoy, B., Noronha, F., Farinha, J., 1998. Espodumena – Petalite – Eucryptite em filões aplitepegmatíticos da região de Barroso – Alvão. Actas do V Congresso Nacional de Geologia (resumos alargados), Soc. Geol. Port. Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro, tomo 84, Fasc. I, B71-B74.

Lima, A.M.C., Vieira, R.C., Martins, T.C., Noronha, F., 2010. Minerais de lítio. Exemplo dos campos aplitepegmatíticos de Barroso - Alvão e Almendra - Barca D’Alva *in* Neiva, J.M.C.; Ribeiro, A.; Victor, M. Noronha, F. & Ramalho, M. - Ciências Geológicas – Ensino e Investigação e sua História, Vol. II – Geologia Aplicada. Publicação Comemorativa do “Ano Internacional do Planeta Terra”, APG, SGP.

Martins, T.C., 2009. Multidisciplinary study of pegmatites and associated Li and Sn-Nb-Ta mineralisation from the Barroso-Alvão region. Tese Doutoramento, Universidade do Porto.

Lima, A.; Farinha, J.; Vieira, R.; Martins, T.; Noronha, F.; Charoy, B. (2003) - Ocorrência de petalite como fase litinífera dominante em numerosos filões do campo aplitepegmatítico do Barroso-Alvão (Norte de Portugal). *VI Congresso Nacional de Geologia*. Costa da Caparica. Almada. pp 52-55.

DKO – Dakota Minerals Lda. announcement 20 February 2017 – Sepeda – Largest Pegmatite-Hosted JORC Lithium Resource in Europe

4. Região de SEIXOSO - VIEIROS

Enquadramento geológico regional

O campo aplito-pegmatítico de **Seixoso-Vieiros** ocorre entre o granodiorito de Felgueiras (ante/sin-D₃), a sudoeste, e maciço granítico (sin a tardi-D₃) de Celorico de Basto, a norte. Na zona central, afloram as rochas de duas formações metassedimentares de idade Silúrica. A intrusão do maciço de Celorico de Basto nas rochas metassedimentares promoveu o desenvolvimento de uma auréola de metamorfismo de contacto. Em **Seixoso**, duas pequenas cúpulas graníticas (i.e. Seixoso; e Outeiro: 301 ± 5 Ma/ 316 ± 9 Ma), com textura heterogénea, afloram na zona central do campo pegmatítico (figuras páginas seguintes). O granito de Outeiro evidencia segregações pegmatíticas, com ocorrência de minerais enriquecidos em Li. O maciço de Celorico de Basto, bem como as rochas encaixantes são intersectados por vários sistemas de falhas tardi-Variscas, segundo as seguintes direções:

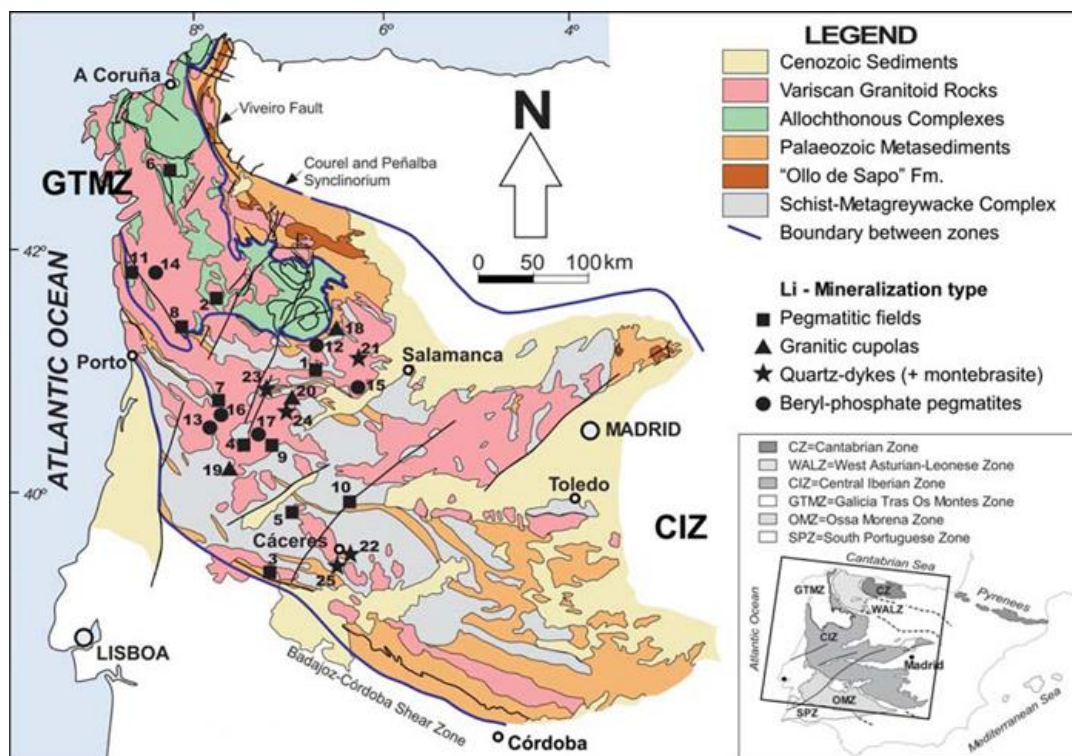
- N100° a N120°, correspondente a D₃ e segundo a qual terá decorrido a instalação do enxame de filões aplito-pegmatíticos de **Seixoso** e os *stocks* graníticos de Seixoso e Outeiro;
- NE-SW e NW-SE correspondente a 2 sistemas de falhas conjugadas;
- N-S.

Ocorrência Regional – grupo de ocorrências consideradas com a mesma afiliação metalogenética

O campo filoniano aplito-pegmatítico de **Seixoso-Vieiros** distribui-se pelo concelho de Amarante, Felgueiras (Porto) e Celorico de Basto (Braga). A região de **Seixoso-Vieiros** enquadra-se na Zona da Galiza Trás-os-Montes onde dominam as rochas granitóides Variscas e os Complexos Alóctones, aflorando ainda rochas metassedimentares Paleozóicas. Os depósitos de **Seixoso-Vieiros** enquadram-se na Província metalogénica tungsténio-estanífera do NW da Península Ibérica, Faixa metalífera de Caminha – Braga e na Cintura Pegmatítica Centro-Ibérica (figura da página seguinte); estes depósitos foram alvo de exploração subterrânea e a céu aberto de cassiterite e columbo-tantalite (Sn, Nb-Ta) no século passado, nas concessões denominadas por **Couto Mineiro de Seixoso** e **Couto Mineiro de Vieiros**. Em **Seixoso**, na Mina do Outeiro, filões aplito-pegmatíticos têm vindo a ser explorados (quartzo e feldspato), mais recentemente, para indústria cerâmica. Além destes, entre o maciço granodiorítico de Felgueiras e o maciço granítico de Celorico de Basto, existem outros coutos mineiros associados aos enxames de filões aplito-pegmatíticos mineralizados em Sn-Nb-Ta-Li-Be, nomeadamente Vilares - Gontães e Fontão.

Tipo metalogenético

Filões aplito-pegmatíticos correspondentes a pegmatitos com elementos raros, da família LCT (Li, Cs, Ta), do tipo complexo, subtipo petalite. Em **Seixoso** os filões estão associados a cúpula granítica. Cristalização terá decorrido a partir de um magma albítico rico em Sn, Li, Nb, Ta, P₂O₅.



Mapa geológico simplificado da Zona Centro Ibérica (CIZ) e Zona de Galiza-Trás-os Montes (GTMZ), em Portugal e Espanha, com a localização das mineralizações de Li; o campo filoniano de Seixoso-Vieiros corresponde ao número 8 (de Roda-Robles et al., 2016).

Morfologia dos corpos mineralizados

Em **Seixoso** distinguem-se dois tipos de filões:

Tipo 1: filões subverticais, geralmente retilíneos (alguns apresentam apófises), com possanças que atingem os 12 m e extensões até 450 m;

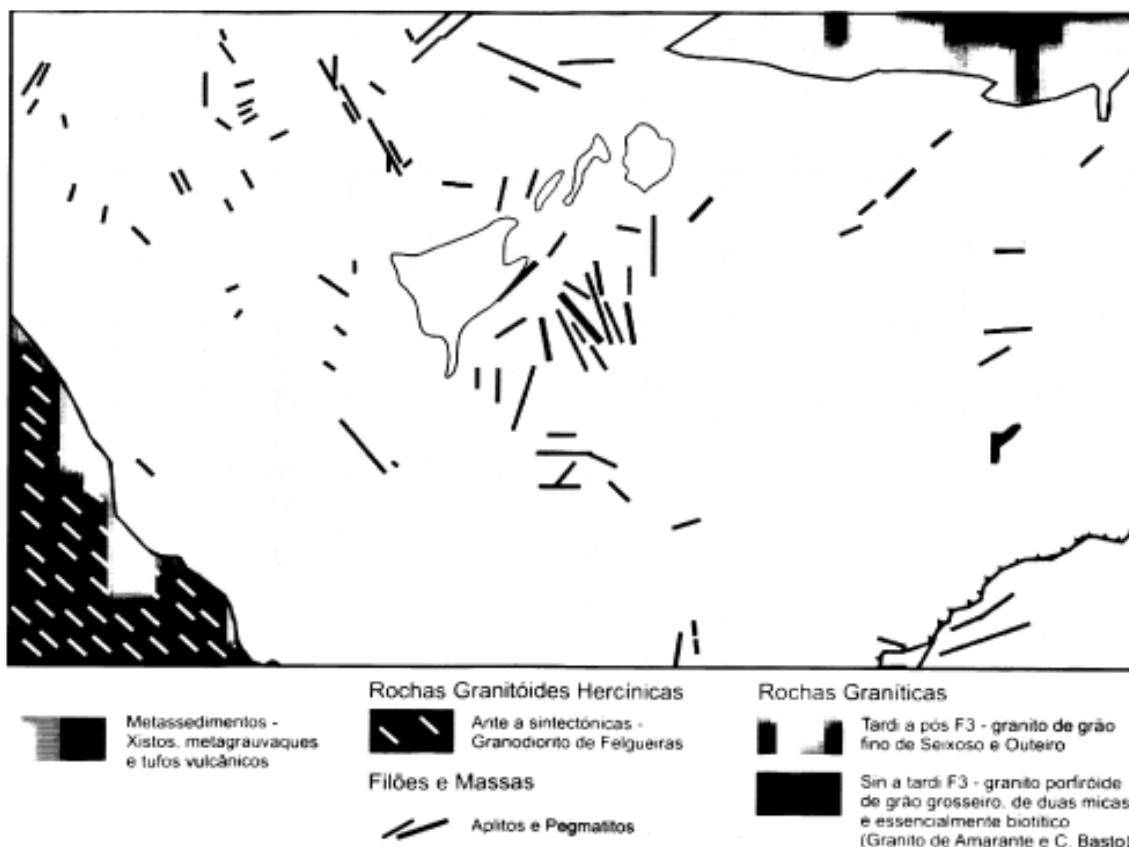
Tipo 2: filões concordantes com o encaixante; o filão aplito-pegmatito principal possui uma possança superior a 10 m, inclinação varia entre 0 e 30°;

Em **Seixoso**, ocorrem ainda massas aplito-pegmatíticos, associadas a segregações pegmatíticas no Granito de Outeiro.

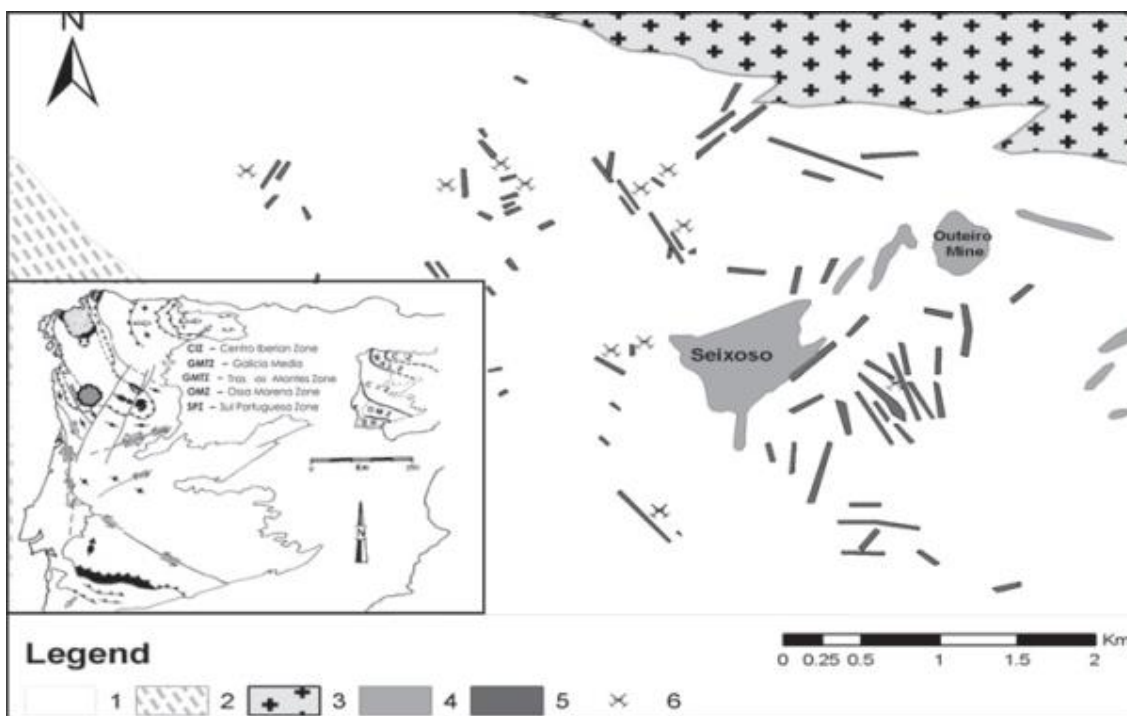
Em **Vieiros** os filões são geralmente discordantes (diques) com as rochas metassedimentares encaixantes, com comprimento de algumas centenas de metros e espessura variável de 0.4-4 m; por vezes aparentam disposição em *echelon*. Um dos filões possui 300 m de comprimento e possança média de 5 m.

Dispersão geográfica local

Existem numerosos filões aplito-pegmatíticos aflorantes na região de **Seixoso-Vieiros**. Salienta-se neste campo filoniano, um conjunto de filões a E-SE do granito de **Seixoso**, concentrados numa faixa ≈2 km de largura (figuras seguintes).



Mapa geológico esquemático, com base nas folhas 9B, Guimarães e 10A, Celorico de Basto, com representação do campo aplito-pegmatítico de Seixoso-Vieiros (de Rodrigues, 2008).



Mapa geológico simplificado da área de Seixoso (assinalado com círculo na Península Ibérica), evidenciando a dispersão de filões aplito-pegmatíticos e corpos graníticos intrusivos às rochas metassedimentares (de Lima et al., 2009). Legenda: 1- rochas metassedimentares; 2 - Granodiorito de Felgueiras (ante/sin-tectónico); 3 - Granito de Celorico de Basto (sin/tardi-tectónico); 4- Granito de Seixoso e Outeiro; 5-Filões aplito-pegmatitos; 6- Antigas minas de Sn, Nb-Ta.

Paragénese principal

- Filões aplito-pegmatíticos (**Seixoso**): Quartzo – Albite – Feldspato (K);
- Filões aplito-pegmatíticos (**Vieiros**): Albite – Moscovite – Quartzo - Feldspato (K)

Paragénese acessória

- Filões aplito-pegmatíticos (**Seixoso**): (Ambligonite- Montebrasite) - Petalite - Cookite - Berilo - Crisoberilo - Turmalina - Sekaninaite.
- Granito de Outeiro (**Seixoso**): (Ambligonite-Montebrasite) - Berilo - Crisoberilo - Turmalina - Sekaninaite.
- Segregações pegmatíticas do Granito de Outeiros (**Seixoso**): Petalite - Espodumena;
- Filões aplito-pegmatíticos (**Vieiros**): Silimanite - Andaluzite - Columbite-Tantalite - Zinvaldite - Zircão - Rútulo - Nigerite - Gahnite - Crisoberilo -Espodumena - Petalite - Turmalina - Cassiterite - Berilo - Clorite - Apatite - (Ambligonite-Montebrasite) - (Eosforite-Childrenite) - Goiazite - Apatite -

Augelite - Lazulite - Vivianite; Arsenopirite - Pirite - Esfalerite - Galena - Bismutinite - Calcopirite - Pirrotite - Ouro - Cobre - Bismuto; Escorodite - Covelite - Limonite - Metatorbernite - Quartzo - Vivianite - Magnetite - Hematite - Ilmenite - Rútilo - Microlite.

Descrição macro textural (relacionamento geométrico com o encaixante)

Existem numerosos filões aplito-pegmatíticos, exo-graníticos, aflorantes nas rochas metassedimentares (isograda cordierite-andaluzite) na região de **Seixoso-Vieiros**; apresentam orientação bastante variável, embora aparentemente seja dominante a orientação NW-SE (duas figuras anteriores). Em geral o contacto entre as rochas aplito-pegmatíticas e o encaixante é brusco.

O campo aplito-pegmatítico do **Seixoso** e os *stocks* graníticos de Seixoso e Outeiro encontram-se instalados segundo a direção de D_3 , i.e. N100° a N120°, e são afetados por vários sistemas de falhas. Por vezes, os filões unem-se; em alguns casos são visíveis veios de quartzo nas rochas encaixantes, a teto e a muro dos filões. Na bordadura dos filões ocorrem grãos centimétricos de albite com desenvolvimento perpendicular ao contacto com a rocha encaixante. Distingue-se para os dois tipos de filões:

Tipo 1: filões subverticais, geralmente retilíneos (alguns apresentam apófises), com possanças que atingem os 12 m e extensões até 450 m; dispostos ao longo das fraturas de direção N-S, tal como alguns filões graníticos.

Tipo 2: filões concordantes com o encaixante, segundo a direção principal N100°. O filão aplito-pegmatito principal possui uma possança superior a 10 m, foi explorado por trincheiras e galerias horizontais. No geral é concordante com a estratificação no flanco N de um anticlinal de D_3 . De Sul para Norte, a inclinação varia entre 0 e 30°; a Norte o corpo verticaliza-se em conformidade com a estratificação, enraizando-se lateralmente, na bordadura SE do granito de Seixoso; a teto deste filão observam-se estruturas comparáveis às de migmatitos.

No campo aplito-pegmatítico de **Vieiros** existem uma dúzia de filões, geralmente discordantes (diques) com as rochas metassedimentares encaixantes, estabelecendo contactos abruptos; ocorrem na zona de metamorfismo de contacto, na fácies da cordierite-andaluzite (quiastolite), envolvente ao granito de Felgueiras; apresentam direção variável entre N-S a NE-SSW e NNW-SSE, de comprimento de algumas centenas de metros e espessura 0.4-4 m, por vezes aparentam disposição em *echelon*. Um dos filões estende-se por 300 m e possui uma possança média de 5m, segundo uma direção E-W e inclinação 25° para N.

Descrição textural da mineralização (calibre de ocorrência e libertação mineral)

Os aplito-pegmatitos de **Seixoso** não contêm grandes zonas monominerálicas, com a exceção de algumas bolsas de quartzo decimétricas (ocasionalmente métricas); o zonamento textural e mineralógico não é tão definido, como é característico da maioria dos pegmatitos da classe dos

Elementos-Raros, existindo mistura de formações pegmatíticas mais ou menos grosseiras, com formações pegmatíticas mais finas e aplíticas; contudo, as formações pegmatíticas grosseiras dominam em profundidade e as nas zonas junto do teto do filão. Observam-se encraves xistentos com forma lenticular. São frequentes as evidências de alteração (albitização e greisenização).

Os filões aplito-pegmatitos de **Vieiros** apresentam grande variação textural, sendo a albite o mineral dominante; geralmente são porfiríticos, com megacristais de feldspato-K de ≈ 10 cm ou até dimensões decimétricas; a matriz é constituída por albite (mineral dominante), moscovite e quartzo, com granularidade variável entre 0.5 e 10 mm e textura sacaróide. Os minerais acessórios de Sn, Li, Be, Nb-Ta e B, entre outros, apresentam granularidade fina. Não foram identificados zonamentos macroscópicos, para além da fina bordadura de albite com desenvolvimento perpendicular às paredes do filão.

Teores nos minerais úteis e acessórios

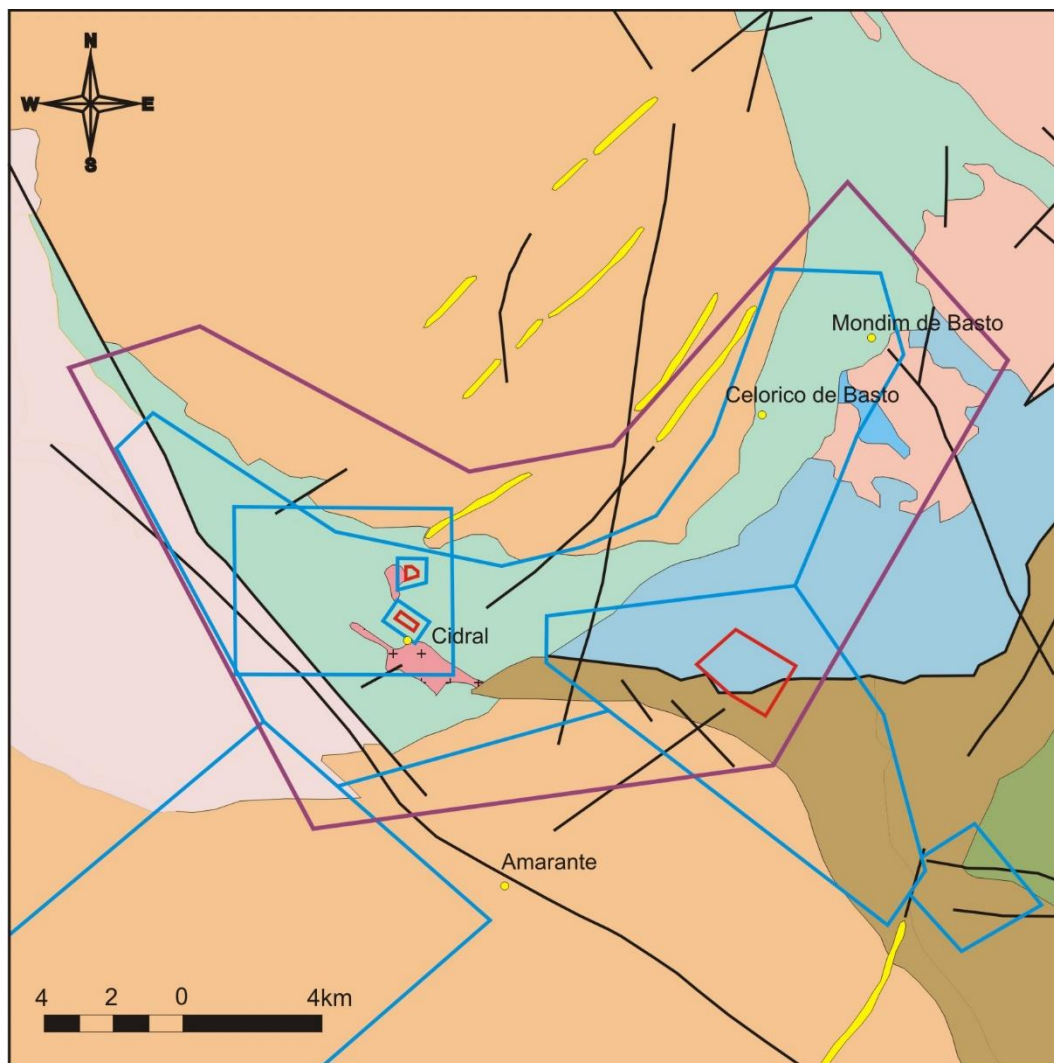
Em **Seixoso**, resultados analíticos indicaram um teor de 1% de P nos feldspatos dos aplito-pegmatitos, e inferior nos feldspatos dos granitos.

Em **Vieiros**, cálculos indicaram teores de cassiterite compreendidos entre 0,1-0,3%.

Estimativa de Recursos

Não disponível.

Servidões Mineiras e Outras Condicionantes



Bibliografia

Lima, A., Mendes, L., Melleton, J., Gloaguen, E., Frei, D., 2013. Seixoso-Vieiros rare element pegmatite field: dating the mineralizing events. PEG 2013: The 6th International Symposium on Granitic Pegmatites, Bartlett, United States, p. 77-78.

Lima, A., Rodrigues, R., Guedes, A., Novák, M., 2009. The Rare Elements-Rich Granite of Seixoso Area (Outeiro Mine). Preliminary results. Estudos Geológicos v. 19 (2), p. 182-187.

Neiva, A.M.R., Farinha Ramos, J.M., Silva, P.B., 2011. Alguns aplito-pegmatitos graníticos com minerais de Li das regiões centro e norte de Portugal. In: Valorização dos pegmatitos litiníferos: minifórum CYTED-IBEROEKA, LNEG, p. 23 - 26.

Noronha, F., Ribeiro, M., Almeida, A., Doria, A., Guedes, A., Lima, A., Martins, H., Sant’Ovaia, H., Nogueira, P., Martins, T., Ramos, R., Vieira, R., 2013. Jazigos Filonianos Hidrotermais e Aplitopegmatíticos Espacialmente Associados a Granitos (Norte de Portugal). In: R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha e J.C. Kulberg (Eds), Geologia de Portugal. Geologia Pré-Mesozoica de Portugal. Escolar Editora. Vol.1, p. 403-438.

Roda-Robles E., Pesquera, A., Gil-Crespo, P.P., Vieira, R., Lima, A., Garate-Olave, I., Martins, T., Torres-Ruiz, J., 2016. Geology and mineralogy of Li mineralization in the Central Iberian Zone (Spain and Portugal). Mineralogical Magazine, 2016, Vol. 80(1), p. 103–126.

Rodrigues, R., 2008. Contribuição para o conhecimento do Campo Aplitopegmatítico Seixoso-Vieiros (Baixo Tâmega). O caso de estudo do Granito da Mina do Outeiro. Dissertação de mestrado em Geomateriais e Recursos Geológicos, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 62 p.

Páginas web: <http://geossitios.progeo.pt/geositecontent.php?menuID=3&geositeID=1016>

5. Região de ALMENDRA

Enquadramento geológico regional

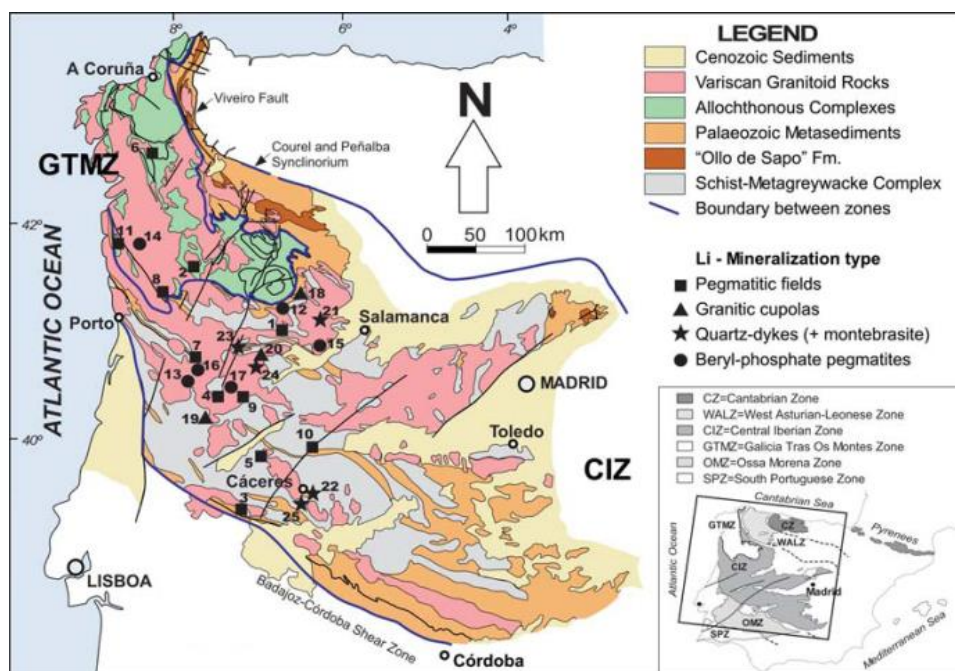
Afloram na região que enquadra o campo filoniano de Almendra rochas metassedimentares pertencentes Complexo Xisto-Grauváquico (CXG; Precâmbrico-Câmbrico); correspondem essencialmente a quartzitos, grauvaques, xistos e pelitos, das formações da Desejosa, Pinhão e do Rio Pinhão, que formam um dobramento isoclinal subvertical de direção WNW-ESE. As rochas leucograníticas (tipo S) afloram a sul e pertencem ao Complexo Mêda-Penedono-Lumbrals; correspondem a granitos peraluminosos, com >70% SiO₂, enriquecidos em P₂O₅, Rb, Li, Cs e Sn, e com conteúdos baixos em CaO (< 1%), FeO (t), MgO, Sr, Ba, Zr, Y e V. A instalação destas rochas ocorreu durante a terceira fase de deformação Varisca (D₃), na zona de cisalhamento Escalhão-Quinta dos Boais, de direção WSW-ENE, gerando metamorfismo de contacto (desde a isógrada da clorite até à isógrada da andaluzite-silimanite). No campo pegmatítico Fregeneda-Almendra, a presença de filões mineralizados -(Li) e o seu enriquecimento F, Sn, P, Nb, Ta, Rb e Cs é tanto maior, quanto a distancia ao granito parental.

Ocorrência Regional – grupo de ocorrências consideradas com a mesma afiliação metalogénica

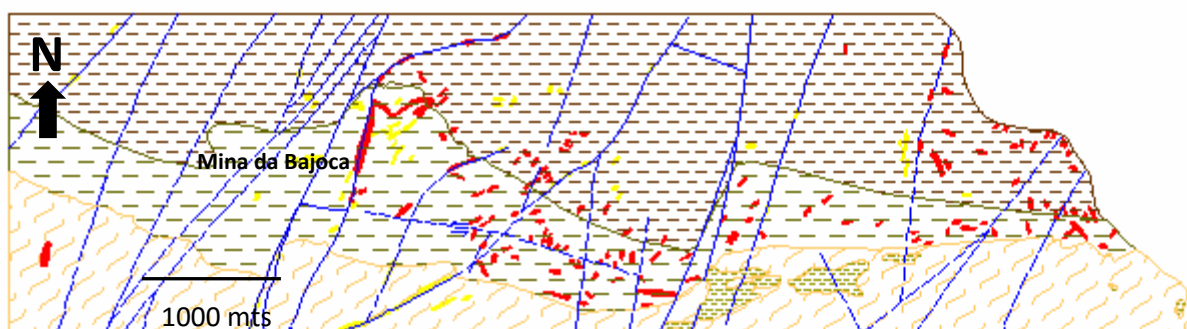
O campo pegmatítico de Almendra localiza-se no concelho de Vila Nova de Foz Côa (Guarda), enquadra-se na Zona Centro-Ibérica (ZCI) e pertence a um grupo de centenas de filões aplito-pegmatíticos, que se estende até Fregeneda (Salamanca-Espanha), e estão incluídos na Cintura Pegmatítica Centro-Ibérica (mapa geológico página seguinte). No sector português considera-se o campo filoniano com dezenas de filões aplito-pegmatíticos compreendidos entre Almendra e Barca d’Alva (Figueira de Castelo Rodrigo – figura página seguinte); este campo localiza-se a Norte do Complexo granítico de Mêda-Penedono-Lumbrals e é intrusivo em rochas metassedimentares do Complexo Xisto-Grauváquico (Super-Grupo do Douro; Precâmbrico-Câmbrico). Na concessão mineira Mina da Bajoca (vide extrato folha 151 Carta Militar) ocorre um filão aplito-pegmatítico petalítico principal e um dos filões aplito-pegmatíticos lepidolíticos clássicos do campo de Almendra. A região de Almendra-Barca d’Alva faz ainda parte da Província metalogénica tungsténio-estanífera do NW da Península Ibérica, tendo ocorrido exploração de Sn-W no século passado, e exploração (quartzo e feldspato) para a indústria cerâmica e do vidro, mais recentemente. É o caso do filão aplito-pegmatítico principal da Mina da Bajoca (Almendra), explorado a céu aberto.

Tipo metalogénico

Filões aplito-pegmatíticos, correspondentes a pegmatitos com elementos raros, da família LCT (Li, Cs, Ta), do tipo complexo, subtipo petalite e subtipo lepidolite.



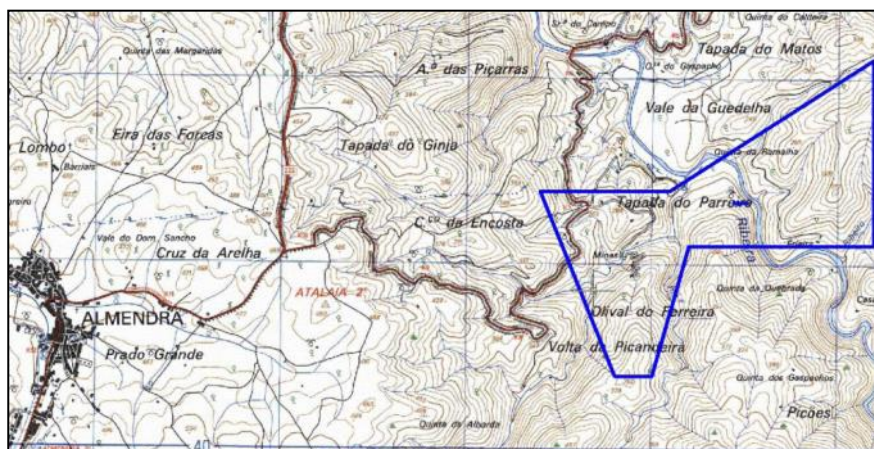
Mapa geológico simplificado da Zona Centro Ibérica (CIZ) e Zona de Galiza-Trás-os Montes (GTMZ), em Portugal e Espanha, com a localização das mineralizações de Li; o campo filoniano de Fregeneda-Almendra corresponde ao número 1 (de Roda-Robles et al., 2016).



Campo aplito-pegmatítico de Almendra-Barca de Alva (modificado de Almeida, 2003). Legenda: Rochas metassedimentares do CXG: tracejado horizontal verde e castanho; Rochas granitoides: traços ondulados laranja; Filões aplito-pegmatíticos: linhas a vermelho; Filões de quartzo: linhas a amarelo; Falhas: linhas a azul

Morfologia dos corpos mineralizados

Os corpos mineralizados de Almendra correspondem a massas filonianas. O filão aplito-pegmatítico lepidolítico, incluído na Mina da Bajoca, apresenta ≈200 m de comprimento e 5 m de possança; o filão aplito-pegmatítico petalítico da Mina da Bajoca apresenta 700 m de comprimento, com possança variável de 2 a 34 m; este filão possui, localmente, estrutura complexa anastomosada/ramificada.



Extrato da Folha 151 da Carta Militar de Portugal 1 / 25 000 (IGEOE) com a localização da concessão da Mina da Bajoca (de Almeida, 2003)

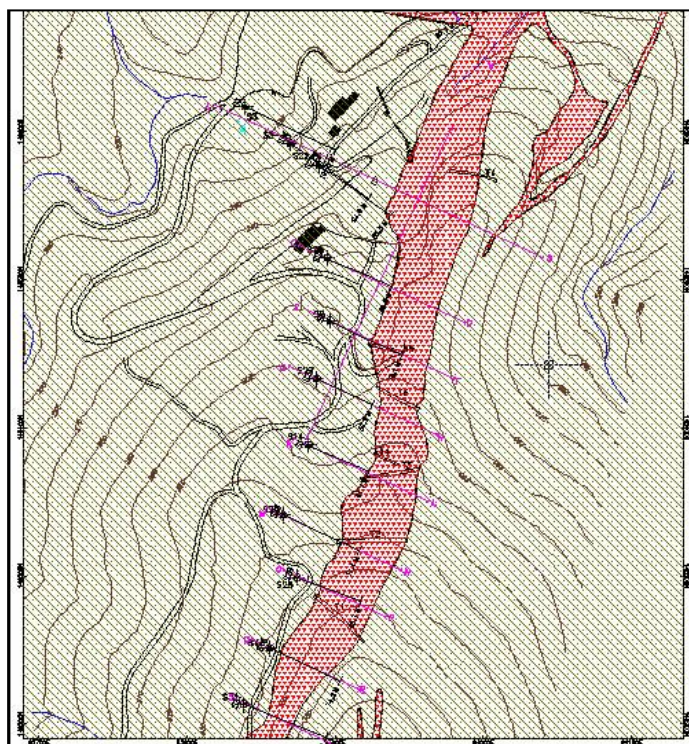
Dispersão geográfica local

Em Almendra, nas imediações da Mina da Bajoca aflora cerca de uma dezena de filões (figura página anterior). Os afloramentos dos **filões aplito-pegmatitos petalíticos** de Almendra (filão principal da Mina da Bajoca, figura página seguinte) ocorrem a uma distância de 600 m a 1,5 km a Norte do maciço granítico, na isógrada da andaluzite-silimanite (fibrolite). Os **filões aplito-pegmatíticos lepidolíticos** ocorrem de 2 a 4 km (e.g. ≈2 km, filão da Mina da Bajoca) a norte do maciço granítico, na zona de baixo grau de metamorfismo (isógrada da clorite).

Descrição macro textural (relacionamento geométrico com o encaixante)

No geral, os filões do campo filoniano Fregeneda-Almendra são subverticais, exo-graníticos, intrusivos nas rochas metassedimentares do CXG.

O **filão aplito-pegmatítico petalítico** da Mina da Bajoca dispõe-se segundo uma orientação geral N10° e inclinação de 30° a 45° para W. A instalação deste filão promoveu o desenvolvimento de metamorfismo de contacto nos xistos encaixantes; é afetado pela falha do Barril (NNE-SSW) e localmente por filões de quartzo. Devido à sua morfologia, o filão não estabelece um contacto retilíneo com as rochas encaixantes.



Filão principal da Mina da Bajoca - geologia do plano de lavra (de Almeida, 2003)

Paragénese acessória

- Mina da Bajoca, filão aplito-pegmatítico petalítico (Fácies pegmatítica):
Quartzo - Feldspato (K) - Plagioclases - Petalite – Moscovite - Fosfatos s.l. - Apatite – (Ambligonite – Montebrasite);
- Mina da Bajoca, filão aplito-pegmatítico petalítico (Fácies aplítica):
Albite - Quartzo – Moscovite;
- Mina da Bajoca, filão aplito-pegmatítico lepidolítico:
Quartzo - Feldspato (K) - Lepidolite rósea – Cleavelandite - Topázio - Ambligonite.

Paragénese acessória

- Mina da Bajoca, filão aplito-pegmatítico petalítico (Fácies pegmatítica): Cassiterite
-

Descrição textural da mineralização (calibre de ocorrência e libertação mineral)

Filão aplito-pegmatítico petalítico da Mina da Bajoca: na fácies pegmatítica a petalite ocorre subédrica a anédrica em agregados e a moscovite é escassa mas pode ter dimensões centimétricas; na fácies aplítica a petalite é geralmente microcristalina, irregular agregando-se em grandes massas, mas pode ocorrer em cristais subédricos a anédricos de dimensão centimétrica; a distribuição da petalite não é homogénea, concentrando-se as fases enriquecidas em lítio progressivamente no sentido do topo do corpo filoniano; os minerais da série montebrasite-ambligonite ocorrem em cristais milimétricos.

Filão aplito-pegmatítico lepidolítico da Mina da Bajoca: a lepidolite rósea ocorre em cristais isolados centimétricos ou em agregados de grão fino; os cristais de topázio encontram-se corroídos marginalmente e a ambligonite é substituída por fosfatos secundários e por lepidolite.

Teores nos minerais úteis e acessórios

No geral, no campo pegmatítico Fregeneda-Almendra as micas têm composição intermédia entre trilitonite e polilitonite.

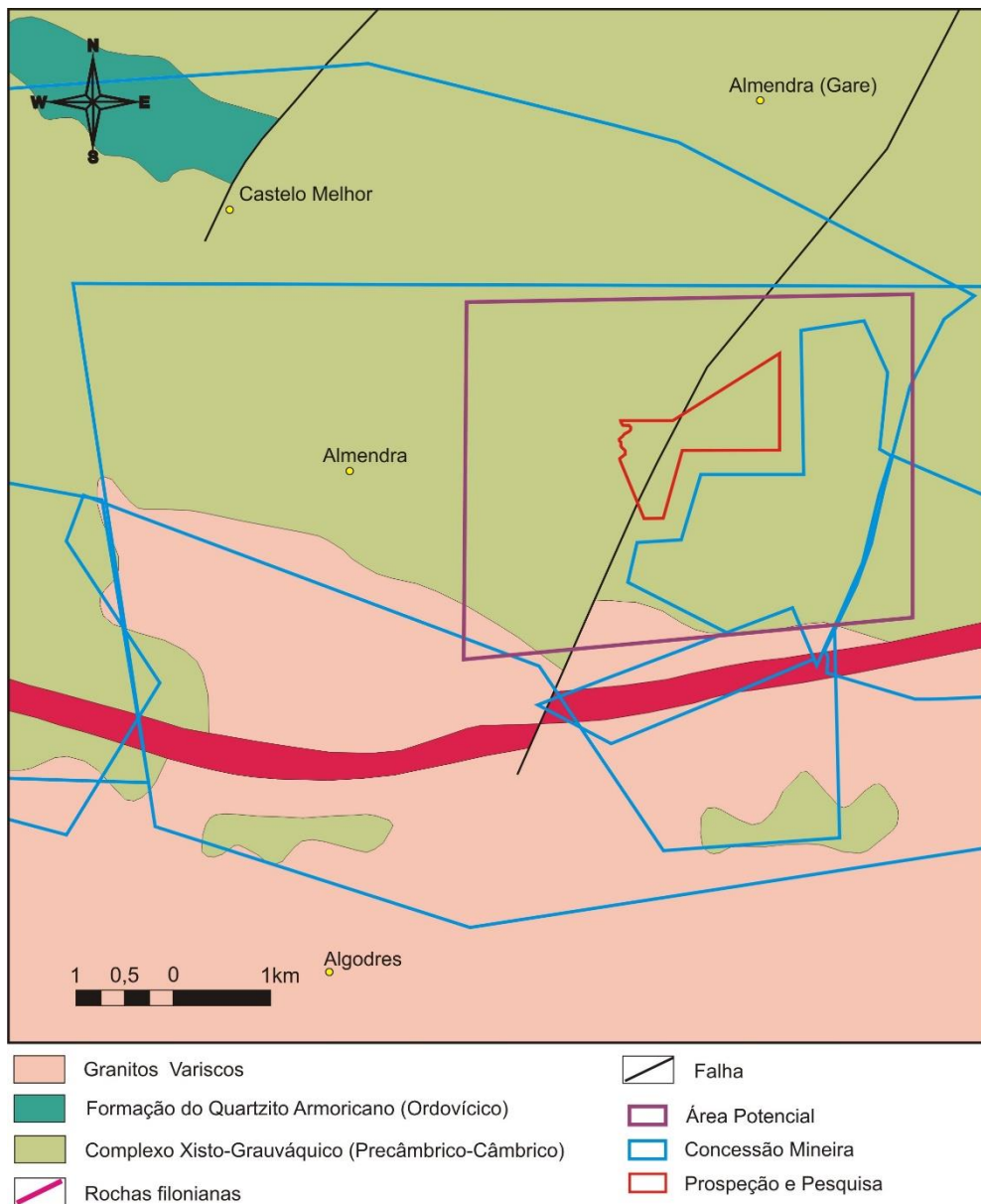
Valores de análises disponíveis para minerais do **filão aplito-pegmatítico petalítico** da Mina da Bajoca indicam:

- petalite com conteúdos $\leq 0,14$ Ox.% (F)
- montebrasite com conteúdos $\leq 5,53$ Ox.% (F)
- cassiterite com conteúdos $\leq 2,4$ Ox.% (Nb), 1,1 Ox.%(Fe), 0,025 Ox.%(Ti), 2,8 Ox.%(Ta), 0,02 Ox.%(Mn), 0,09 Ox.%(Mg), 0,009 Ox.%(W) e variáveis entre 91,7 e 97,5 Ox.%(Sn);
- moscovite com conteúdos $\leq 0,03$ Ox.%(F);
- apatite com conteúdos em F compatíveis com a classificação de fluor-apatite.

Estimativa de Recursos

Não disponível.

Servidões Mineiras e Outras Condicionantes



Bibliografia

Almeida, C., 2003. Estudo do filão aplitopegmatítico da Mina da Bajoca, Almendra. Contribuição científico- tecnológica. Departamento de Geologia Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Tese de Mestrado, 120 p.

Roda, E., Pesquera, A., Gil-Crespo, P.P., Vieira, R., Lima, A., Garate-Olave, I., Martins, T., Torres-Ruiz, J., 2016. Geology and mineralogy of Li mineralization in the Central Iberian Zone (Spain and Portugal). Mineralogical Magazine, 2016, Vol. 80(1), p. 103–126.

Roda, E., Vieira, R., Lima, R., Pesquera, A., Noronha, F., Fontan, F., 2007. The Fregeneda – Almendra pegmatitic field (Spain & Portugal): mineral assemblages and regional zonation. Granitic Pegmatites: The State of the Art – International Symposium, Porto, Portugal.

Vieira, R., Lima, A., 2007. Locality n.º 2, Bajoca Mine, Almendra, Portugal. Filed Trip guidebook. Granitic Pegmatites: The State of the Art – International Symposium, Porto, Portugal, p. 49-53.

Vieira, R., Lima, A. The Rare Element (Li-Rich) Pegmatite-Aplite Veins of the Almendra– Souto Field (Vila Nova de Foz-Côa and Penedono-NE Portugal).

In http://www.minsocam.org/msa/Special/Pig/PIG_articles/Elba%20Abstracts%2020%20Viera.pdf

Páginas web:

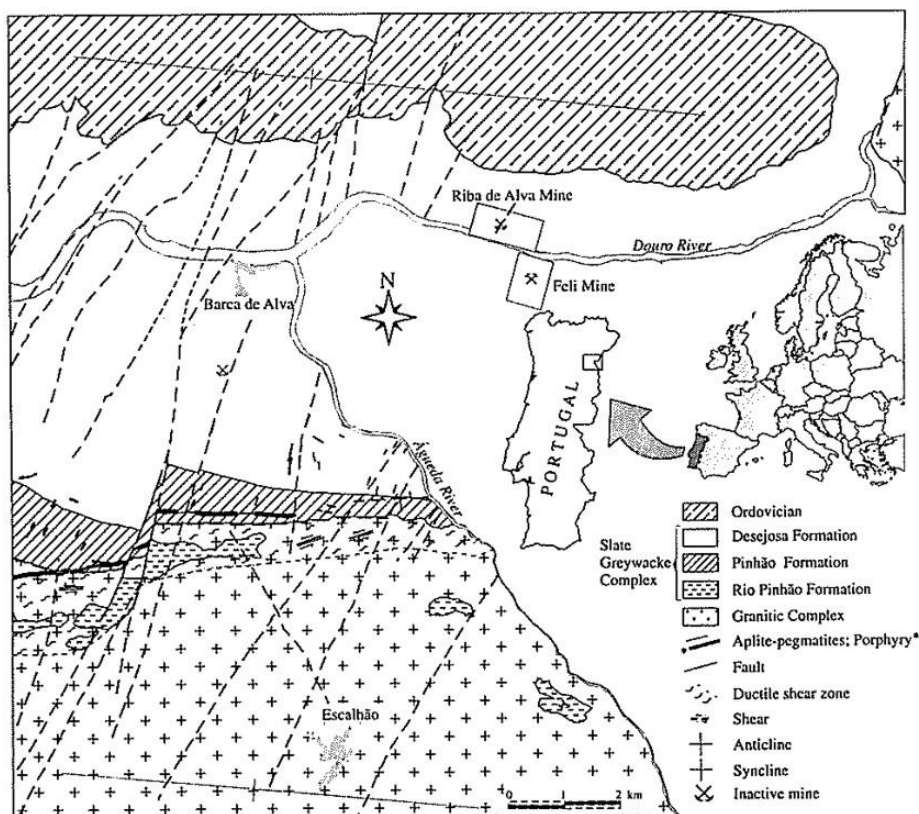
SIORMINP - Sistema de Informação de Ocorrências e Recursos Minerais Portugueses, LNEG.

6. Região de BARCA DE ALVA – ESCALHÃO

Enquadramento geológico regional

A região de Barca da Alva – Escalhão, no NE de Portugal junto à fronteira (ver figura), contém como mineralizações mais significativas as da Mina de Riba de Alva e como que a sua extensão na outra margem do Douro, a Mina de Feli (Espanha). Localizam-se, a sul das formações ordovícicas, no Grupo do Douro dos Xistos das Beiras ou Complexo Xisto-Grauváquico (CXG), de idade Neoproterozóica-Câmbrica. Na região em foco o CXG é constituído de baixo para cima por:

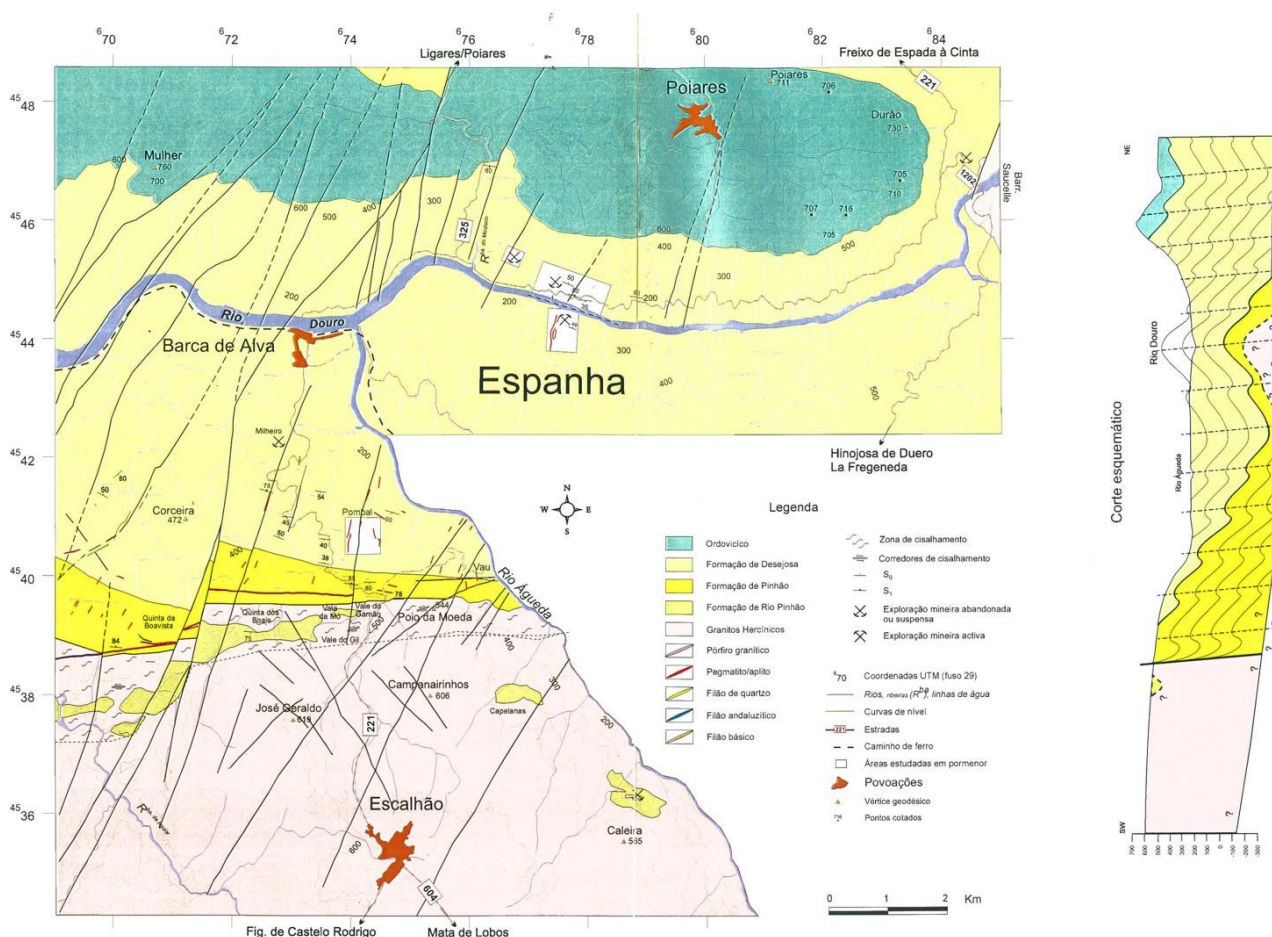
- Formação de Rio de Pinhão, com xistos pelíticos escuros, metagrauvaques delgados, níveis calcossilicatados e alguns calcários, tendo esta formação constituído manchas e retalhos em miscelânea no Complexo Granítico que fica a sul, o que levou a que Viegas (1983) designasse o conjunto por complexo xisto-granítico.
- Formação de Pinhão, constituída por alternâncias de xistos pelíticos e psamíticos, com intercalações de níveis calcossilicatados (por vezes skarnitizados), mas estando ausentes os xistos cloríticos com magnetite que tipificam esta formação noutras áreas do Grupo do Douro do CXG.



Localização das minas de Riba de Alva e de Feli (Espanha) na área de Barca de Alva – Escalhão, num contexto geológico regional simplificado (de Gaspar e Inverno, 2000, modificado de Viegas, 1983 e de Silva et al., 1990)

- Formação de Desejosa, constituída por xistos listrados (alternâncias de níveis metapelíticos e metapsamíticos), com intercalações de grauvaques, rochas calcossilicatadas e esporadicamente microconglomerados. É nesta formação que se encaixam as mineralizações das minas de Riba de Alva e de Feli, assim como as mineralizações do Pombal.

As rochas do CXG, entre outras, foram afetadas pela F_1 Varisca, com dobras WNW-ESE de eixo subhorizontal e xistosidade de plano axial subvertical. Na região, o sinclinal de 1ª ordem deste dobramento ocorre nas formações ordovícicas, a norte, e a Mina de Riba de Alva localiza-se num anticlinal de 2ª ordem do flanco sul desse sinclinal principal (figura anterior). A fase F_3 Varisca foi coaxial com F_1 , produzindo uma clivagem de crenulação subvertical e uma expressiva zona de cisalhamento dúctil WSW-ENE afectando o contacto entre o CXG e o Complexo Granítico Varisco a sul. Ocorrem ainda falhas tardi-Variscas, predominantemente de direção NNE-SSW, esquerdas (figuras anterior e seguinte).



Mapa geológico do sector de Barca de Alva – Escalhão (de Gaspar, 1997, sendo modificado de Viegas, 1983 e de Silva et al., 1990)

O metamorfismo regional, iniciado durante F_1 e terminado após F_3 , torna-se na região de maior grau de norte para sul, desde a zona da clorite, passando pela zona (mais extensa) da biotite da fácies de xistos verdes (na área das minas de Riba de Alva e de Feli), até à fácies da cordierite – feldspato potássico junto ao Complexo Granítico Varisco.

O Complexo Granítico Varisco (300 ± 8 Ma, Rb/Sr rocha total) intruiu, durante a fase F_3 Varisca no núcleo dum anticlinal de 1ª ordem, WNW-ESE (passando pela povoação de Escalhão), da F_1 Varisca, produzindo a F_3 Varisca no Complexo Granítico uma foliação subvertical. O Complexo Granítico é constituído por seis fácies diferentes, cinco das quais na parte sul desta região: granito de Escalhão (GEs), a fácies dominante, estendendo-se para sul; granito porfirítico (GP); granito grosseiro (GG); granito de Escalhão cisalhado (GC), faixa estreita de fácies granítica granular fina, moscovítica, no contacto do Complexo Granítico com o CXG, desenvolvida presumivelmente devido à zona de cisalhamento WSW-ENE aí ocorrente, apesar de também haver muitos corredores de cisalhamento paralelos a esta zona numa faixa de 2 km de largura para sul dentro do GEs (figuras anteriores e seguinte); pórfiro granítico (PO), estrutura filoniana E-W a ENE-WSW, com 8-20 m de possança e extensão de > 4 km, intruindo o CXG sempre nas proximidades do contacto com o Complexo Granítico. Pertence ainda a este Complexo Granítico, o granito de Saucelle, no extremo NE da região, junto à fronteira com Espanha (figura seguinte).

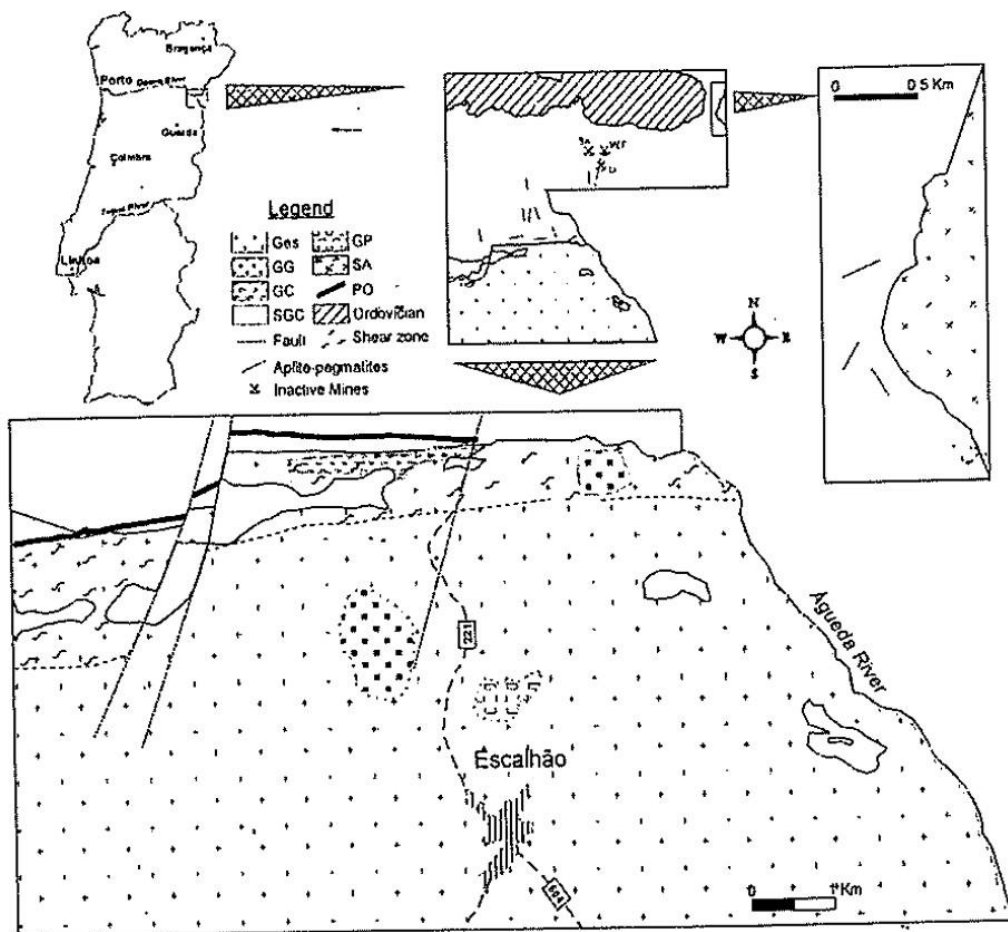
Quanto à petrografia, GP e GG são algo semelhantes, ambos granitos deformados, de duas micas e com domínios restíticos do CXG. Quanto a GEs, é um granito de grão médio, de duas micas, menos deformado do que GP e GG, e transitando gradualmente para GP, GG e GC. O granito SA é mais albitico e essencialmente moscovítico, e ainda menos deformado. PO é um dique que apresenta textura afanítica porfirítica (fenocristais de quartzo e feldspato), mais fina junto às paredes.

Do ponto de vista químico, todas estas seis fácies graníticas são de leucogranitos peraluminosos (com índice de saturação em alumina – $ASI = Al/(K+Na+Ca) \approx 1,30$; e corindo normativo $> 4\%$), siliciosos (71-76% SiO_2) e reduzidos [$Fe_2O_3/(Fe_2O_3+FeO) < 0,4$, com exceção de PO c/ 0,5 – oxidado], enriquecidos em P_2O_5 ($\approx 0,35\%$), Rb, Li, Cs e Sn e deficientes em CaO ($< 1\%$), FeO_t , MgO ($< 1\%$), Sr, Ba, Zr, Y, V, Nb, W e B relativamente a um granito médio “normal”. São granitos do tipo S, altamente evoluídos e metalogeneticamente especializados, resultantes da fusão parcial das rochas metassedimentares do CXG.

As características petrográficas e químicas das diferentes fácies graníticas mostram que GEs, SA e GC são mais evoluídos e menos deformados do que GG e GP. Por outro lado, GEs apresenta maior afinidade para GP e GG do que SA e GC, o último sujeito à circulação de fluidos hidrotermais na zona de cisalhamento WSW-ENE citada. A fácies PO representa um diferenciado magmático tardio. Foi possível estabelecer uma sequência de intrusão destes granitos: GG/GP => GEs => SA/GC => PO.

Do ponto de vista genético, dum processo de fusão parcial diacrónica do CXG na região, devido à migração vertical do nível de anatexia durante a fase F_3 Varisca, resultaria que os granitos mais antigos, GG/GP estariam relacionados com a formação dos skarns de W (M. Riba de Alva), enquanto, após novo incremento de fusão parcial, granitos posteriores, do tipo GEs – SA, seriam responsáveis pelas mineralizações filonianas de quartzo-cassiterite (minas de Riba de Alva e de Feli) e nova pulsação magmática destes últimos granitos ligada a um novo incremento de fusão parcial seria responsável

pela génese dos pegmatitos litiníferos (minas de Riba de Alva e de Feli) e pelos aplo-pegmatitos (com \pm Li) do Pombal. Assim as mineralizações citadas de W, Sn e Li estariam associadas a diferentes cúpulas graníticas em profundidade. Efetivamente é sabido que uma sondagem na Mina de Feli intersectou em profundidade um granito de duas micas semelhante a GEs.



Mapa geológico com distribuição das seis fácies do Complexo Granítico sin-F₃ Varisco de Barca de Alva – Escalhão (de Gaspar e Inverno, 1998a).

Ocorrência Regional – grupo de ocorrências consideradas com a mesma afiliação metalogénica

Encaixados nos Xistos das Beiras (ou Complexo Xisto-Grauváquico) do Neoproterozóico – Câmbrico e na proximidade horizontal e/ou vertical (em profundidade) de granitos Variscos, ocorrem nesta região de Barca de Alva-Escalhão, do NE, Portugal, diversos tipos de mineralizações, das quais se destacam os skarns de volfrâmio (scheelite) dum sector da Mina de Riba da Alva, os filões quartzo-cassiteríticos e os filões pegmatíticos litiníferos doutro sector da Mina de Riba de Alva e da Mina de Feli, pegmatíticos com \pm Li do Pombal, a meia distância entre o Escalhão e Barca da Alva (mapas anteriores). Estes pegmatitos litiníferos enquadram-se regionalmente num zonamento de (aplo)pegmatitos relativamente ao contacto com o Complexo Granítico a sul. Assim, para além de outro tipo de

(aplo)pegmatitos, ocorrem na região aplo-pegmatitos complexos de elementos raros enriquecidos em fosfatos primários, desde fosfatos de Fe-Mn junto ao Complexo Granítico, passando por apatite numa zona intermédia, até ambligonite em porções mais distais, incluindo as últimas os pegmatitos litiníferos das minas de Riba da Alva e de Feli e também em parte os aplo-pegmatitos de Pombal.

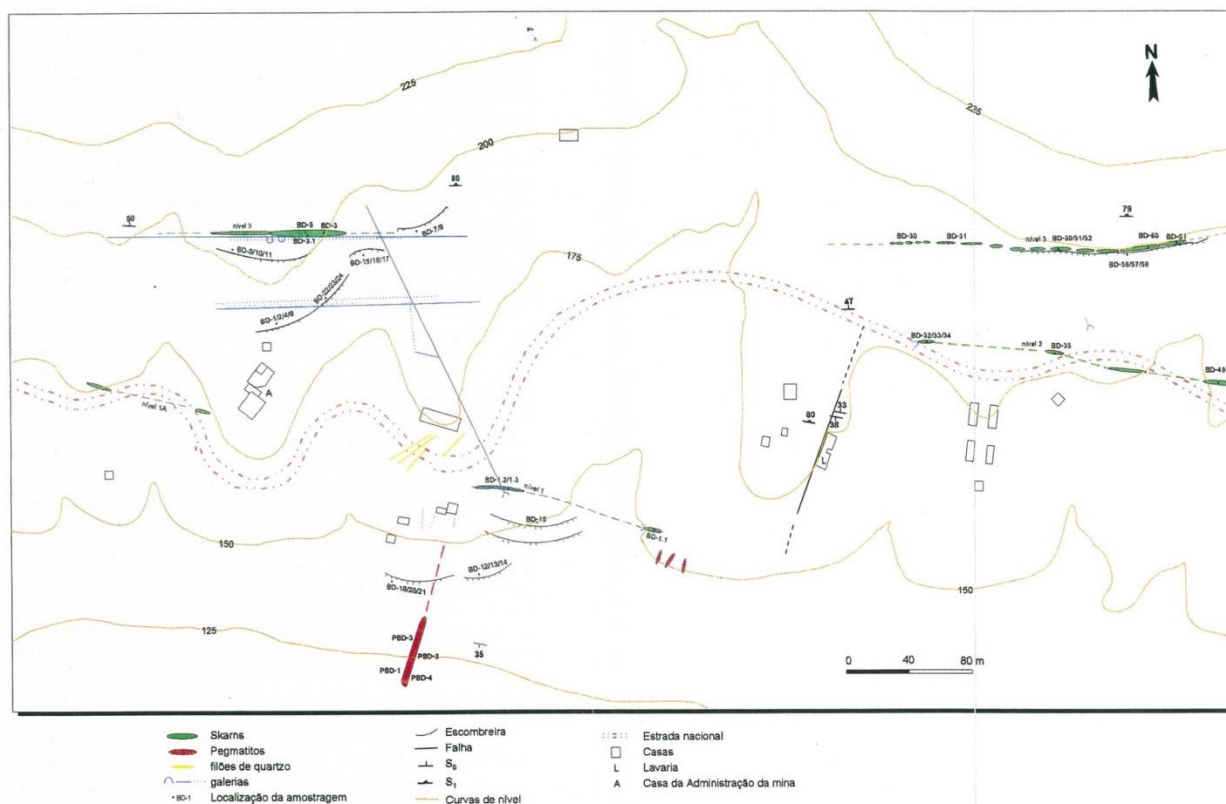
Subsidiariamente ocorre ainda, no seguimento para oeste das estruturas da Mina de Riba de Alva, nas imediações superiores da Ribeira do Mosteiro, um sistema de filões de quartzo com cassiterite e scheelite.

Tipo metalogenético

- Sendo o lítio que aqui nos traz, é de realçar primeiro que os pegmatitos litiníferos da Mina de Alva e da Mina de Feli são pegmatitos complexos, de elementos raros, do tipo LCT (Li-Cs-Ta), sub-tipo lepidolite.
- Os aplo-pegmatitos (e pegmatitos) do Pombal, contendo alguma lepidolite e acessoriamente ambligonite-montebasite, são intermédios entre pegmatitos simples e pegmatitos complexos, de elementos raros (do tipo LCT).
- Quanto aos outros tipos de mineralizações na região, as mineralizações scheelíticas da Mina de Riba de Alva correspondem a skarns estratiformes de W, cálcicos, reduzidos e distais (relativamente a granitos em profundidade).
- Outras mineralizações, os filões quartzo-cassiteríticos das minas de Riba de Alva e de Feli, são depósitos hidrotermais de filiação granítica.
- Os filões de quartzo com cassiterite e scheelite das cercanias da Ribeira do Mosteiro são igualmente depósitos hidrotermais de filiação granítica.

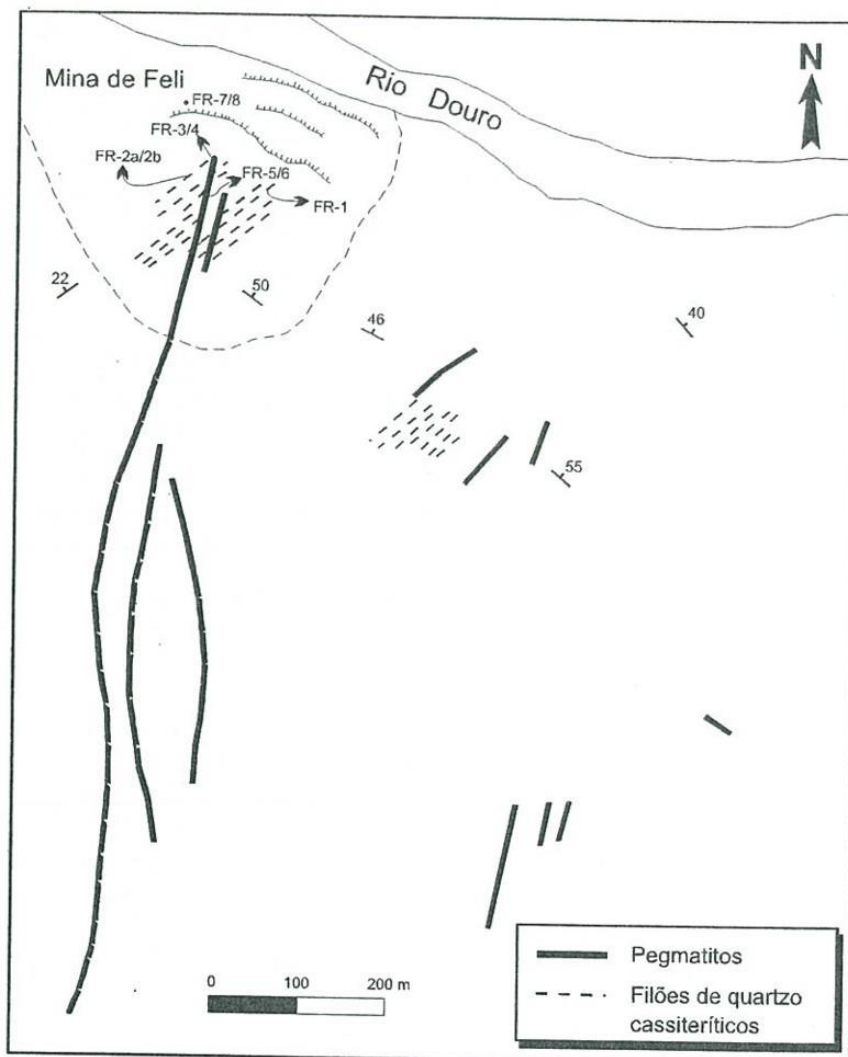
Morfologia dos corpos mineralizados

- Seguindo a ordem de formação, primeiro geraram-se os skarns de W da Mina de Riba de Alva, estratiformes e boudinados, concordantes com a estrutura, em três níveis principais (cotas de 122, 151 e 180 m), sempre com orientação de azimute 290 e inclinações moderadas para NNE ou SSW, espessuras entre 0,25 e 2,5 m e extensões até pelo menos 400 m (figura página seguinte).
 - Estes skarns são cortados na M. Riba de Alva por filões quartzo-cassiteríticos, os últimos também ocorrentes na Mina de Feli. Estes filões, originalmente em *stockwork* (M. Riba de Alva) ou em “sheeted veins” (M. Feli), foram dobrados pela F₃ Varisca e apresentam direção de azimute variável (M. R. Alva) ou 20 – 40 (M. Feli), inclinações variáveis e possanças de 15 – 30 cm.
 - Os filões de quartzo com cassiterite e scheelite das cercanias da Ribeira do Mosteiro, com possança até 25 cm, apresentam-se com várias orientações, localmente em *stockwork*.
-



Mapa geológico detalhado da Mina de Riba da Alva, assinalando os três níveis de skarn, os filões quartzo-cassiteríticos e os filões de pegmatitos litiníferos (de Gaspar, 1997, modificado de METAMERQUE, 1976a)

- Cortando os skarns de W da Mina Riba de Alva e os filões quartzo-cassiteríticos tanto desta mina como da Mina de Feli ocorrem os filões pegmatíticos litiníferos, discordantes. Na M. Riba de Alva são subverticais, com azimute de 20 – 40 e possanças de <30 cm até 5 m. Tal possança é atingida por um filão pegmatítico litinífero que intersecta, cortando, o nível 1 (inferior) de skarn nos trabalhos subterrâneos e que aflora mesmo junto ao Rio Douro, tendo continuação imediata na margem espanhola na M. Feli (vides figuras nas páginas seguintes). Nesta última mina, estes filões pegmatíticos litiníferos (com algumas porções aplíticas) têm uma orientação geral de 10, 80E e possanças de 1- 8 m, atingindo aqui o pegmatito principal, já atrás referido, 1,5 km de extensão.
- Os filões aplo-pegmatíticos (e pegmatíticos – *estes apenas os dois filões mais a oeste*) do Pombal, também discordantes em relação à estrutura, são 8 corpos subverticais, com orientações de azimute 320 a 30, possanças de 0,5-6 m e extensões até 250 m.



Mapa geológico da Mina de Feli, assinalando os filões quartzo-cassiteríticos e os filões pegmatíticos litiníferos (de Gaspar, 1997, modificado de Mangas e Arribas, 1988)

Dispersão geográfica local

Ver mapas e figuras anteriores.

Paragénese principal

Não pormenorizando as paragénese das primeiras mineralizações significativas na região, representadas pelos skarns estratiformes (WNW-ESE) de scheelite da Mina de Riba de Alva – sucessão de skarns piroxénicos, skarns anfibólicos, skarns epidotíticos, skarns filonianos (com scheelite) e veios tardios – importa no entanto, destacar, para além das paragénese dos pegmatitos citados, as

paragéneses dos filões quartzo-cassiteríticos gerados antes dos filões pegmatíticos litiníferos, mas que se entrecruzam e entrelaçam com estes tanto na M. Riba de Alva como na M. Feli:

- Os filões quartzo-cassiteríticos destas duas minas têm como paragénese principal:
Quartzo (*parte central*) – moscovite – feldspato (feldspato K e albite) – cassiterite (*os 3 últimos nas salbandas*) – turmalina (*no encosto dos xistos encaixantes*)
- Os filões pegmatíticos litiníferos das minas de Riba de Alva e de Feli apresentam como paragénese principal:
Quartzo – feldspato K (ortose) – albite (*substituindo a ortose*) – lepidolite
- Os filões aplo-pegmatíticos (e pegmatíticos) do Pombal têm como paragénese principal:
Feldspato K – quartzo – albite – moscovite ± lepidolite

Paragéneses acessórias

- Apatite – columbite-tantalite – ilmenite – rútilo (*os 3 últimos em inclusões na cassiterite*) – berilo – pirite – minerais de argila – “sericite” [Filões quartzo-cassiteríticos das minas de Riba de Alva e de Feli]. Referidos ainda para estes filões na M. Feli: estanita – esfalerite – molibdenite – calcopirite – bismutinite – tetraedrite – calcocite - covelite
- Ambligonite-montebasite – espodumena (*apenas na M. Feli*) – cassiterite – apatite – rútilo – berilo – minerais de argila – “sericite” - turmalina (*no encosto dos xistos encaixantes*) [Filões pegmatíticos litiníferos das minas de Riba de Alva e de Feli]
- Ambligonite-montebasite – cassiterite – apatite – minerais de argila – sericite – óxidos de Fe [Filões aplo-pegmatíticos (e pegmatíticos) do Pombal]

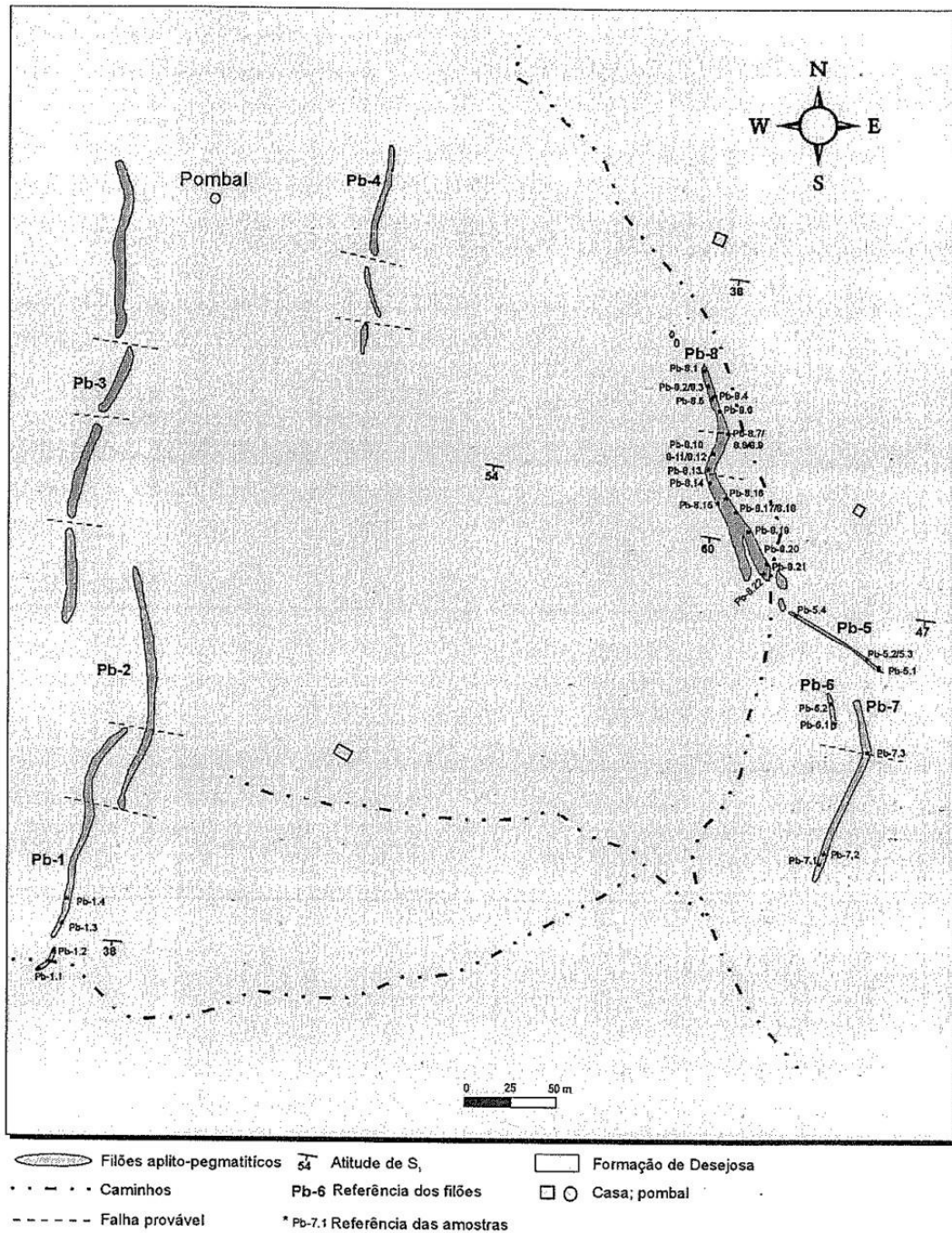
Descrição macro textural (relacionamento geométrico com o encaixante)

Os skarns de scheelite da Mina de Riba de Alva ocupam uma área de cerca de 1 km², respeitante a 3 níveis de skarn, com galerias de flanco de encosta às cotas de 122, 151 e 180 m (ver mapa geológico da mina).

Numa parte (sul) da área acima referida e outra área no exterior, a oeste, ocorrem os filões quartzo-cassiteríticos da Mina de Riba de Alva. Os filões pegmatíticos litiníferos da mesma ocorrem numa área mais restrita, de 300 x 300 m, terminando em Portugal o filão pegmatítico principal junto ao Rio Douro, mas continuando em Espanha (M. Feli); esse filão pegmatítico principal corta subterraneamente o nível 1 (inferior) de skarn acima referido (ver mapa geológico da mina).

Os filões pegmatíticos litiníferos da Mina de Feli ocupam uma área de 1,2 x 0,8 km, enquanto os filões quartzo-cassiteríticos da mesma apenas áreas de 200 x 100 e 100 x 100 m (ver figura anterior).

Os filões aplo-pegmatíticos (e pegmatíticos) do Pombal ocupam uma área de 500 x 500 m (figura seguinte)



Cartografia dos filões aplo-pegmatíticos (e pegmatíticos) do Pombal (de Gaspar, 1997)

Descrição textural da mineralização (calibre de ocorrência e libertação mineral)

Como preâmbulo é de referir que, nos skarns da Mina de Riba da Alva, a scheelite, anédrica a mais raramente euédrica, tem uma granularidade variável, de 0,01 mm – 1,5 cm.

A cassiterite dos filões quartzo-cassiteríticos ocorre nos hasteais dos mesmos, em cristais euédricos, zonados (bandas de crescimento) e com dimensões até pelo menos 3 mm e 1-2 cm nas minas de Riba de Alva e de Feli, respetivamente.

A lepidolite dos filões pegmatíticos litiníferos das minas de Riba de Alva e de Feli, intercrescida com o quartzo e os feldspatos, é euédrica, em agregados por vezes radiais ou sacaróides, com uma granularidade até > 1 mm (agregados de 1 – 2 cm); quando abundante, confere à rocha uma tonalidade rosada. Nestes mesmos filões das duas minas, a ambligonite-montebrasite é anédrica a euédrica, com grãos até ≈ 1 mm, a espodumena (apenas na M. Feli) é anédrica, de granularidade de cerca de 1 mm e a cassiterite é euédrica, de grão fino (≈ 1 mm).

Nos filões aplo-pegmatíticos (e pegmatíticos na zona oeste [c/ feld. K até >10 cm]) do Pombal, existem porções localizadas com a rocha de tonalidade rosada, presumivelmente devido à presença de lepidolite, como a observação microscópica duma mica fina nas mesmas e análise química de rocha total parecem confirmar. Nestes mesmos filões a ambligonite-montebrasite é anédrica, de grão fino e a cassiterite é igualmente anédrica, de grão fino (< 100 µm).

Teores nos minerais úteis e acessórios

Scheelite - um pequeno preâmbulo sobre a scheelite (CaWO₄) dos skarns da Mina de Riba de Alva, para dizer que se revelou à microsonda eletrónica como extremamente pura, com valores de 0,00% MoO₃, isto é, sem a mínima tendência para formar solução sólida com a powelite (CaMoO₄), ao contrário do que sucede noutros jazigos e ocorrências com scheelite.

Micas litiníferas - quanto às micas litiníferas, na impossibilidade de analisar o Li à microsonda eletrónica, revelam na Mina de Feli concentrações de 3,83 – 6,69% F na lepidolite dos filões pegmatíticos e de 4,98 – 6,68% F na polilitonite dos filões quartzo-cassiteríticos, em contraste com as moscovites dos filões quartzo-cassiteríticos que exibem concentrações de 0,25 – 0,96% F.

Cassiterite - as concentrações dos elementos traço Fe, Ti, Nb e Ta nas cassiterites dos filões quartzo-cassiteríticos das minas de Riba de Alva e de Feli, geralmente > 1000 ppm (até 4000 – 6000 ppm) aproximam-nas da cassiterite de filiação pegmatítica. O Nb e o Ta atingem mesmo valores superiores, muito altos (> 10000 ppm), nestas cassiterites das duas minas (13814 ppm Ta, M. Riba de Alva; 14360 ppm Nb, M. Feli), que são geralmente tomados na literatura como resultado da existência de inclusões submicroscópicas de columbite-tantalite na cassiterite, por impossibilidade da estrutura desta permitir a incorporação na rede de tão grande quantidade de Nb e Ta. Por outro lado, o Nb e o Ta são mais ricos nas cassiterites dos filões quartzo-cassiteríticos das minas de Feli e de Riba de Alva, respetivamente, por exemplo com o valor máximo de Ta da primeira, 2000 – 3000 ppm Ta, a ser o valor mínimo de Ta da segunda. O Zr, analisado para a cassiterite dos filões quartzo-cassiteríticos da M. Riba de Alva, mostrou ter concentrações geralmente > 200 ppm (máx. 1108 ppm Zr). O elemento W é comumente muito baixo (< 14 ppm, pontualmente 658 ppm) na cassiterite dos filões quartzo-cassiteríticos da M. Riba de Alva, mas geralmente mais alto, por vezes > 1500 ppm W, na da M. Feli.

No referente à zonagem das cassiterites destes filões de ambas as minas, as bandas de crescimento mais escuras são geralmente mais enriquecidas num ou mais dos elementos traço Fe, Ti, Nb e Ta.

Os valores altos de Fe, Ti, Nb e Ta e em parte do Zr obtidos nestas cassiterites indicam génese a partir de fluidos de alta temperatura, o que é corroborado pelas concentrações geralmente baixas do Pb (<272 ppm, pontualmente até 1237 ppm) e do Mo (< 342 ppm) analisados nas cassiterites dos filões quartzo-cassiteríticos da M. Riba de Alva.

Com o zonamento geralmente considerado em torno duma cúpula granítica, com acréscimo da razão Ta/Nb nos corpos mineralizados à medida que se situam mais longe do granito cogenético, concluir-se-ia a partir das análises de cassiterite que os filões quartzo-cassiteríticos da M. Riba de Alva seriam mais distais do que os da M. Feli em relação ao granito que gerou ambas. Efetivamente, como dito atrás, foi intersectado em profundidade por sondagem na Mina de Feli um granito de duas micas semelhante ao granito de Escalhão.

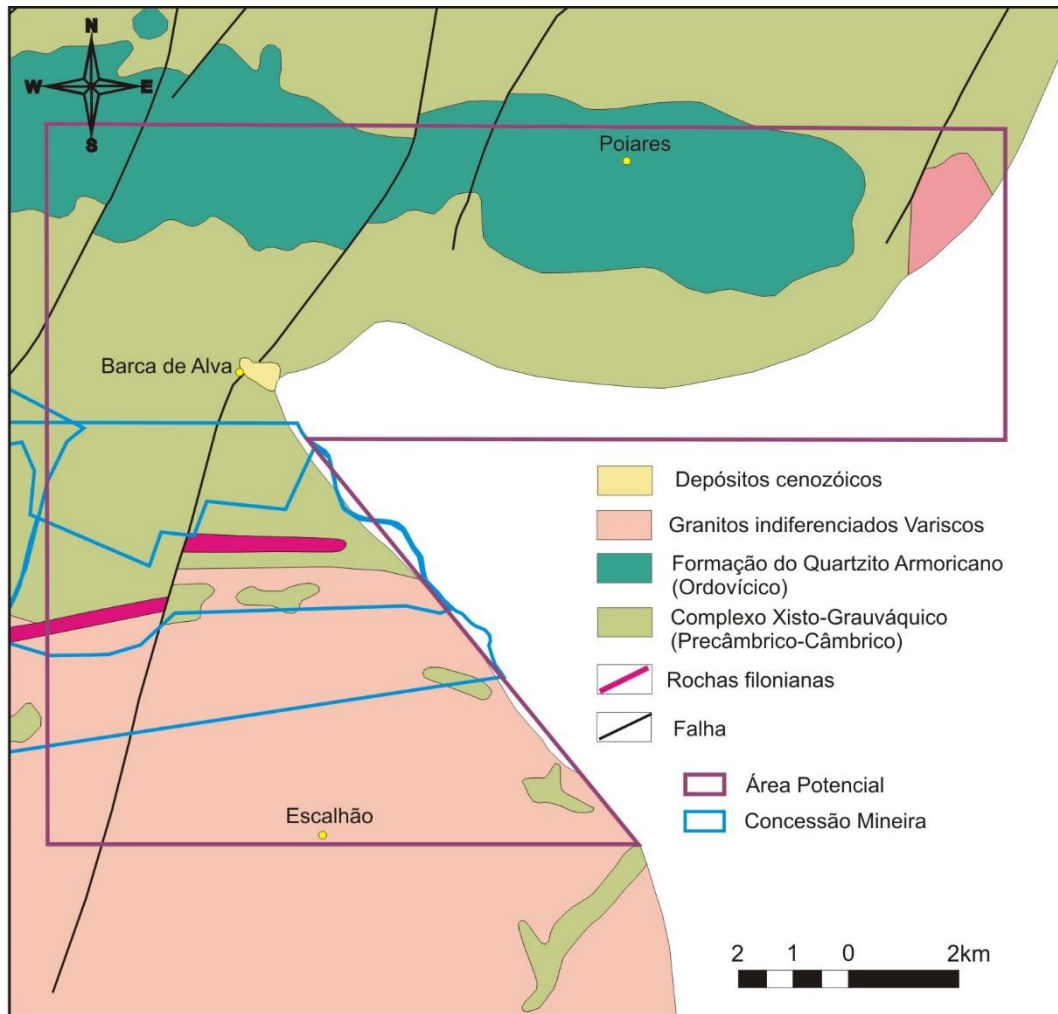
As concentrações de Mn nas cassiterites dos filões quartzo-cassiteríticos também podem concorrer para esta abordagem. Elas atingem valores máximos próximos na M. Riba de Alva (805 ppm Mn) e na M. Feli (660 ppm Mn), mas na última as razões Fe/Mn são um pouco menores o que poderá também ser devido ao zonamento peri-granítico referido.

Columbite-tantalite - as columbite-tantalites dos filões quartzo-cassiteríticos das minas de Riba de Alva e de Feli correspondem a ferro-columbites (FeNb_2O_6) bastante puras, com concentrações muito reduzidas de Ta_2O_5 (< 4%) e MnO (< 3%). As columbite-tantalites dos filões quartzo-cassiteríticos da M. Riba de Alva são um pouco mais enriquecidas em Ti, Sn e W (2,6 – 4,8% TiO_2 , 0,8 – 1,4% SnO_2 , 2,1 – 3,6% WO_3) relativamente às equivalentes da M. Feli (1,5 – 4,1% TiO_2 , 0,3 – 1,4% SnO_2 , 0,8 – 2,4% WO_3).

Estimativa de Recursos

- Para os skarns da Mina de Riba de Alva a METAMERQUE (1976b) calculou reservas (de então) certas e prováveis de 200 000 toneladas com um teor médio de 0,51 % WO_3 (c/ teor de corte de 0,3 % WO_3), esperando-se uma recuperação de 75% nas 35.000 t/ano extraídas, mas a lavra foi suspensa em 1978.
 - Os filões quartzo-cassiteríticos têm teores de 0,15 e 0,2% Sn nas minas de Riba de Alva e de Feli, respetivamente (METAMERQUE (1976a, 1976b).
 - Os filões pegmatíticos litiníferos têm teores de 0,42 - 0,52% Li e 0,05% Sn na Mina de Riba de Alva e 0,5% Li e 0,07% Sn na mina de Feli (METAMERQUE (1976a, 1976b).
 - Os filões aplo-pegmatíticos do Pombal, com base num número muito limitado de análises químicas, revelaram teores até 0,16% Li e 0,05% Sn.
-

Servidões Mineiras e Outras Condicionantes



Bibliografia

Gaspar, L.M.G.G., 1997. Contribuição para o estudo das mineralizações de volfrâmio (W), estanho (Sn) e lítio (Li) do sector Barca de Alva – Escalhão: Tese de Mestrado em Geologia Dinâmica Interna, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 267 p.

Gaspar, L.M., Inverno, C.M.C., 1998a. The Meda – Penedono – Lumbrals Granitic Complex on the genesis of W, Sn and Li mineralizations from Barca de Alva – Escalhão area, NE Portugal: Actas do V Congresso Nacional de Geologia (Resumos Alargados), Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro, t. 84 (1), p. B63 - B66.

Gaspar, L.M., Inverno, C.M.C., 1998b. Chemistry of zoned cassiterites from Barca de Alva – Escalhão region, NE Portugal: Actas do V Congresso Nacional de Geologia (Resumos Alargados), Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro, t. 84 (1), p. B67 – B70.

Gaspar, L.M., Inverno, C.M.C., 1998. P-enriched peraluminous leucogranites in Barca de Alva – Escalhão, NE Portugal – A multi-stage anactetic complex: Praga, Univerzita Karlova, Acta Universitatis Carolinae – Geologica, v. 42, p. 35 - 40.

Gaspar, L.M., Inverno, C.M.C., 2000. Mineralogy and metasomatic evolution of distal strata-bound scheelite skarns in the Riba de Alva Mine, northeastern Portugal: Economic Geology, v. 95, p. 1259 – 1275.

Mangas, J., Arribas, A., 1988. Evolution of hydrothermal fluids in the Feli tin deposit, western Spain: Bulletin de Minéralogie, v. 111, p. 343 - 358.

METAMERQUE, 1976a. Geologia geral da região: Relatório da METAMERQUE para a Circunscrição Mineira do Norte, 9 p.

METAMERQUE, 1976b. Riba de Alva, Portugal – característica geológica da jazida: Relatório da METAMERQUE para a Circunscrição Mineira do Norte, 11 p.

Silva, A.F., Santos, A.J., Ribeiro, A., Cabral, J., Ribeiro, M.L., 1990. Carta Geológica de Portugal, escala 1:50 000, Folha 15-B – Freixo de Espada à Cinta: Lisboa, Serviços Geológicos de Portugal.

Silva, A.F., Ribeiro, M.L., 1994. Notícia Explicativa da Folha 15-B – Freixo de Espada à Cinta, Carta Geológica de Portugal, escala 1/50 000: Lisboa, Instituto Geológico e Mineiro, 48 p.

Viegas, L., 1983. Recursos minerais de volfrâmio e estanho da região de Freixo – Escalhão: Relatório interno do Serviço de Fomento Mineiro, Porto, 45 p.

7. Região de MASSUEIME

Enquadramento geológico regional

Na região do campo mineiro de Massueime afloram rochas granitóides de composição tonalítica a granítica, geradas em diferentes fases da orogenia Varisca: sin-tectónicos relativamente à primeira fase (sin-F₁); sin-tectónicos de segunda fase (sin-F₂); tardi-tectónicos e pós-tectónicos. Complexo Xisto-Grauváquico (CXG) ante-Ordovícico (Grupo do Douro) e uma sequência de quartzitos, filádios, micaxistos e xistos grafitosos do Ordovícico Inferior estão dispostos segundo uma estrutura em sinclinal de direção EW a N70ºE que definem o alinhamento montanhoso da Serra da Marofa-Serra de São Pedro. O campo mineiro de Massueime localiza-se no extremo oeste deste alinhamento. Os filões pegmatíticos e quartzosos são tardi a pós-F₃ e localizam-se na zona de contacto entre o CXG e os quartzitos Ordovícicos (i.e. exograníticos), havendo ainda referências na bibliografia mais recente a filões aplitopegmatíticos que correm intruídos nas rochas graníticas (i.e. endograníticos). Grande parte desta zona de contacto, corresponde uma discordância estrutural Varisca denominada Zona de Cisalhamento de Juzbado-Penalva do Castelo, que promoveu o estiramento das rochas Ordovícicas na extremidade SW da Serra de São Pedro e que em alguns locais foram completamente assimiladas pelas intrusões graníticas (principalmente as pós-tectónicas) que cicatrizaram esta estrutura e promoveram metamorfismo de contacto nos litótipos pré-existentes. Esta zona de cisalhamento corresponde a um desligamento semi-dúctil esquerdo, subvertical que se dispõe segundo a direção N70ºE, com influência não só nas rochas do Ordovícico, mas também do CXG e granitoides, que ocorrem compreendidas numa faixa 13 km de largura.

Ocorrência Regional – grupo de ocorrências consideradas com a mesma afiliação metalogénica

Os filões com mineralização de lítio das Minas de Massueime localizam-se em Cótimos (e Vila Garcia; Trancoso, Guarda), a cerca de 13 km de Pinhel. Esta região faz parte da Zona Centro-Ibérica e aos referidos filões estão associadas as mineralizações integrantes da Província metalogénica tungsténio-estanífera do NW da Península Ibérica, Faixa de Trancoso - Figueira de Castelo Rodrigo. No campo mineiro de Massueime desenvolveram-se trabalhos de exploração (Sn/W) subterrâneos (poços e galerias), bem como superficiais (Sn-cassiterite) nos depósitos aluvionares e eluvionares. Foram definidos 6 tipos de ocorrências de minério (figura na página seguinte): 1) Filão do Rio e filão do Alto das Tinhosas; 2) Filões dos níveis de Santa Bárbara, São Jerónimo e Barroco; 3) Scheelite do Cabeço da Armada; 4) Filões de volframite de Ervedosa e filonetes de Ervedosa e do Castelo; 5) Cassiterite do Seixo; e 6) Aluviões e eluviões de cassiterite do Massueime, Freixial e Raza. Nas minas de Massueime os trabalhos decorreram desde 1921 e por 30 anos, após os quais se considerou o esgotamento da mina. Segundo esta classificação expressa nos trabalhos bibliográficos mais antigos, a mineralização de lítio apenas ocorre nos Tipos 1 e 2, englobando a ocorrência de ambligonite em filões pegmatíticos e pegmatíticos ou granulíticos, respetivamente. A bibliografia mais recente denomina estas rochas filonianas de filões aplitopegmatíticos.

Paragénese

Para além do quartzo e feldspato, a mineralização dos filões mineralizados é constituída predominantemente por cassiterite, estanita, pirite, calcopirite, scheelite e ambligonite; ocorre ainda lepidolite e volframite. Em particular no Tipo 2, salienta-se a abundancia de cassiterite e a ocorrência rara de ambligonite.

Descrição macro textural (relacionamento geométrico com o encaixante)

Filões quartzosos e aplitopegmatíticos intruem as rochas do CXG, na zona de contacto com as rochas quartzíticas; entre o Freixial e a ponte do rio Massueime, os filões dispõem-se segundo a direção E-W, e apresentam inclinação variável de 80° a 75° para Norte. A bibliografia mais recente indica ainda a ocorrência de filões aplitopegmatíticos endograníticos.

- Diques pegmatíticos, subverticais (Tipo 1)

Filão do Rio: Direção W 20° N – E 20° S, inclinação 70° a 80° para SW; limitado a NW por falha, desaparece a SE junto da margem ao rio Massueime.

Filão do Alto das Tinhosas: W 20° S – E 20°N, inclinação 70° a 80° para SE; afloramento com extensão de 150 m.

- Conjunto de filões granulíticos ou pegmatíticos, subhorizontais (Tipo 2):

Estes filões não afloram à superfície, foram observados e explorados em galerias. No nível de Santa Bárbara foram identificados 10 filões; cerca de 20 m acima, no nível São Jerónimo e no nível Barroco (à mesma cota do nível de Santa Bárbara) identificaram-se alguns filões que correspondem à continuação dos de Santa Bárbara. No piso de Santa Bárbara as galerias possuem extensão de 1km, no piso de São Jerónimo 250 m e no piso Baroco as galerias são relativamente pouco extensas, tendo servido apenas para trabalhos de pesquisa.

Descrição textural da mineralização (calibre de ocorrência e libertação mineral)

Nos filões, a cassiterite apresenta granularidade fina e ocorre disseminada em associação com o quartzo e a ambligonite; no entanto, nas minas de Massueime também foram identificados cristais de cassiterite com dimensão de 4 a 5 cm. No filão do Alto das Tinhosas a ambligonite (de cor azulada) contem veios de quartzo, sendo mais impura e em menor quantidade relativamente à ambligonite (de cor branca) do filão do Rio. No filão do Alto das Tinhosas foi registada a concentração preferencial de cassiterite e volframite junto a zonas de bordo do filão. No caso dos filões englobados no Tipo 2, ocorre a cassiterite e rara ambligonite; cassiterite geralmente de granulometria fina; feldspato é abundante e ocorre em massas, comparativamente ao quartzo e mica, que são menos abundantes e ocorrem disseminados; são rochas que apresentam geralmente um grau de alteração elevado, assim como o seu encaixante.

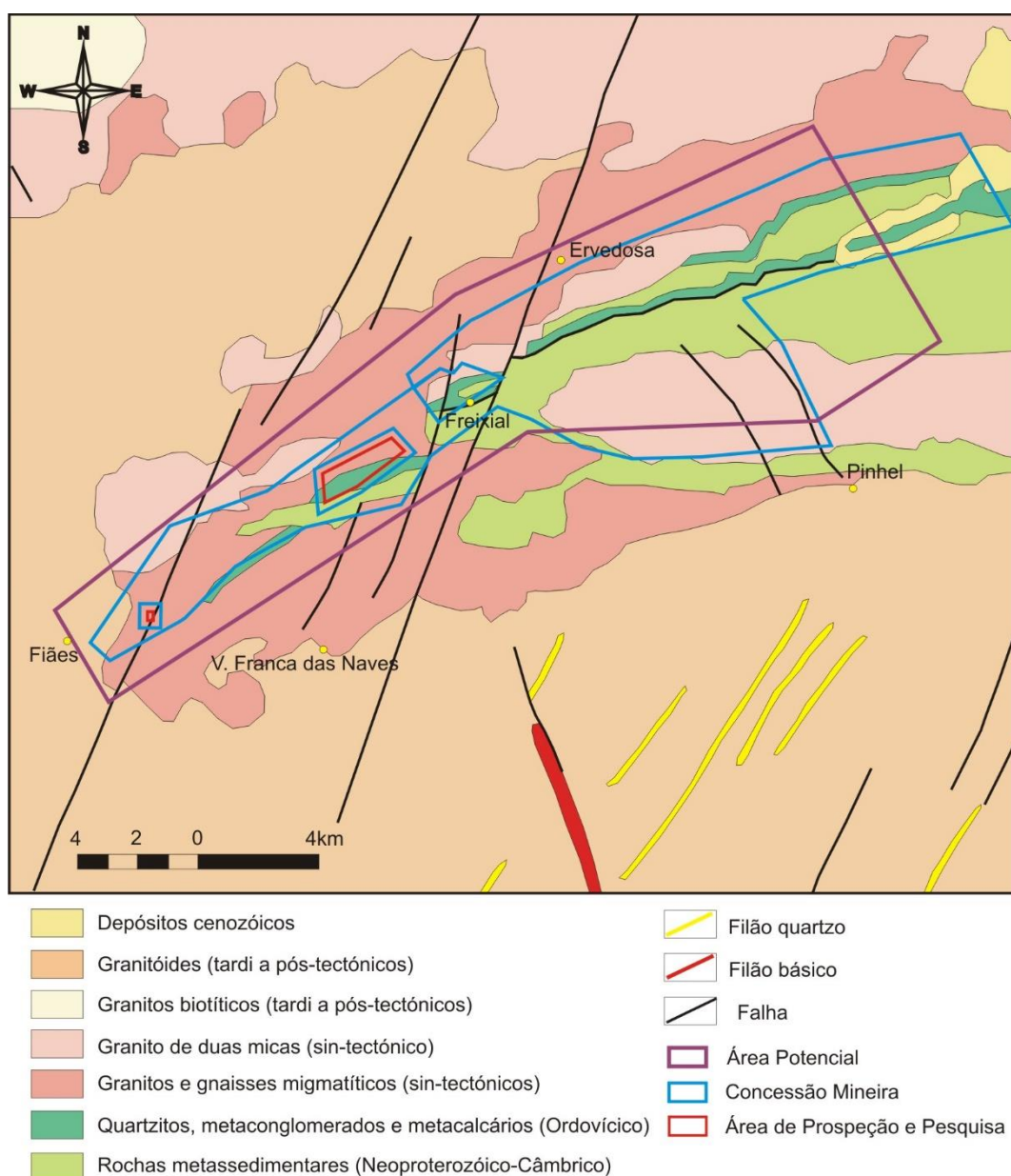
Teores nos minerais úteis e acessórios

Não disponível

Estimativa de Recursos

O jazigo de Massueime é de pequena dimensão, com <150 toneladas de Li_2O e <1500 toneladas de Sn. A amblygonite pode ocorrer concentrada em bolsadas com peso superior a 500 kg.

Servidões Mineiras e Outras Condicionantes



Bibliografia

Bonito, J. C., Macedo, R., Soares Pinto, J.M., 1999. METODOLOGIA DAS ACTIVIDADES PRÁTICAS DE CAMPO NO ENSINO DAS GEOCIÊNCIAS NA FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES: UMA EXPERIÊNCIA EM PINHEL Comunicação oral apresentada no VII Encontro Nacional de Educação em Ciências, na Escola Superior de Educação da Universidade do Algarve, colocado sob a forma de artigo em A. C. Coelho, A. F. Almeida, J. M. Carmo e M. N. R. Sousa (Coords.), Educação em Ciências. Actas do VII Encontro Nacional. Faro: Escola Superior de Educação da Universidade do Algarve, p. 144-178.

Meireles, C., Pereira, E., Ferreira, N., Castro, P., 2006. O Ordovícico da Serra da Marofa: novos dados litoestratigráficos e estruturais. VII Congresso de Geologia. In: J.Mirão, A. Balbino, (Coords). Livro de Actas, VII Congresso Nacional de Geologia, Vol. II. Paleontologia, Pólo de Estremoz da Universidade de Évora, p. 645-648.

Roda-Robles, E., Pesquera, A., Gil-Crespo, p., Vieira, R., Lima, A., Martins, T., 2011. Pegmatites from the Central Iberian and Galizia-tras-os-montes zones (Iberian Massif) (Spain and Portugal): Characteristics and exploration significance for Li and other rare-elements. In: Valorização de Pegmatitos Litiníferos, (Eds.) Editores: Martins L.M.P., Oliveira D.P.S. de, Silva R., Viegas H.M.C., Villas Bôas R.C., Lisboa, Portugal, p. 67-68.

Santos Oliveira, J.M., Farinha, J. Matos, J.X., Ávila, P., Rosa, C., Canto Machado, M. J., Daniel, F. S., Martins, L., Machado Leite, M. R., 2002. Diagnóstico ambiental das principais áreas mineiras degradadas do país. Boletim de Minas. Vol. 39(2): 67-85. ISSN 0006-5935.

Sousa, M., 1944. Notas sobre a geologia e a mineralização das minas do Massueime. Técnica: Revista de Engenharia- ISSN 0040-1714, 145, p. 743-745.

Viana, A., 1927. Relatório Geral das Minas de Massueime - 30 de Abril de 1922, in Memória Descritiva das concessões “Massueime” N.º. 1”, “Massueime n.º. 2” e “Massueime n.º. 3”. Boletim de Minas de Janeiro a Março de 1927, p. 25-31.

Viegas, H., Martins, L., de Oliveira, D., 2012. Alguns aspectos da geoestratégia global do lítio O caso de Portugal. GEONOVAS N.º 25, p. 19 a 25.

Páginas web:

<https://www.mindat.org/loc-46293.html>

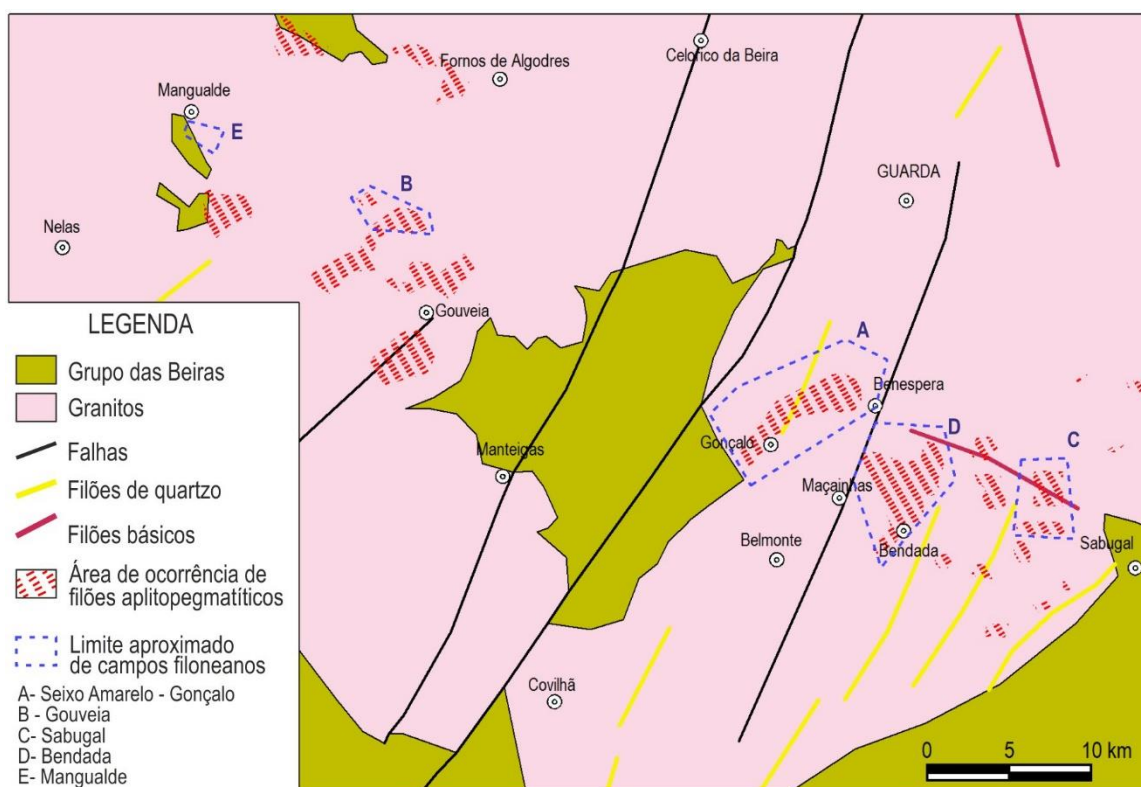
SIORMINP - Sistema de Informação de Ocorrências e Recursos Minerais Portugueses, LNEG.

<https://ricardojchp.wordpress.com/2009/12/25/cassiterite-de-massueime/>

8. CAMPOS APLITO-PEGMATÍTICOS DA GUARDA-MANGUALDE

Enquadramento geológico regional

A região da Guarda, no centro leste de Portugal, enquadra-se na Zona Centro Ibérica sendo caracterizada pela abundante presença de rochas graníticas sin-orogénicas. Estas intruem metassedimentos do Grupo das Beiras (Complexo Xisto-Grauváquico; Neoproterozoico – Câmbrico). A intrusão destes granitos produziu uma auréola de metamorfismo de contacto com 1 a 7 km de largura, constituída por xistos mosqueados e corneanas pelíticas. A região é atravessada por acidentes regionais principais com direção NNE-SSW, a que se associam filões de quartzo paralelos e uma rede de fraturas subparalelas.



Carta geológica simplificada da região da Guarda (adaptada a partir de Carta Geológica de Portugal à escala 1:1000000, edição 2010, LNEG e de Carta Geotectónica da Região das Beiras à escala 1:250000, 1968, Junta de Energia Nuclear)

Em termos metalogénicos, a região da Guarda faz parte da Província Aplitopegmatítica Varisca e prova disso são as abundantes ocorrências aí existentes de filões aplitopegmatíticos mais ou menos enriquecidos em metais raros, com particular destaque para o lítio. Estes filões ocorrem em clusters que se distribuem por uma área com mais de 100 km², entre Gouveia, Fornos de Algodres, Belmonte e Sabugal. Maioritariamente estão encaixados nas rochas graníticas e compartimentados pela rede de fraturas NNE-SSW.

Tipo metalogenético

Li-Cs-Ta do tipo complexo, subtipo com lepidolite e petalite.

Morfologia dos corpos mineralizados

Filões sub-horizontais (soleiras), tabulares, com espessura centimétrica a métrica, em geral inferior a 3,5 m.

Na região de Sabugal há ocorrência de filões subverticais.

Encaixante: maioritariamente granitos tardi-D₃, peraluminosos, com duas micas, por vezes bastante moscovíticos.

Ocorrência Regional – grupo de ocorrências consideradas com a mesma afiliação metalogenética

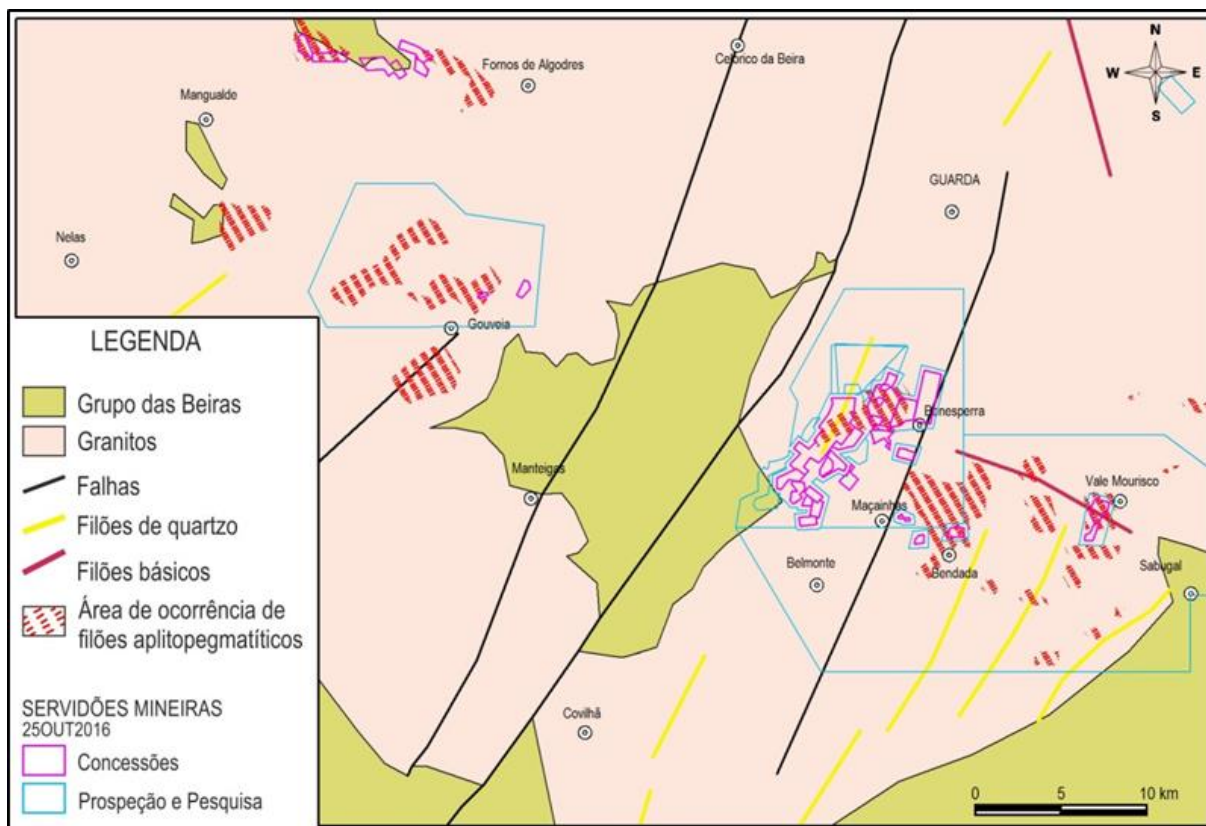
Existência de 5 campos filonianos geneticamente distintos:

- Região de Seixo Amarelo – Gonçalo: soleiras aplitopegmatíticas com lepidolite, ambligonite e zinvaldite. É o campo filoniano mais enriquecido em lítio.
- Região de Gouveia: soleiras aplitopegmatíticas com ambligonite e alguma lepidolite.
- Região do Sabugal: soleiras aplitopegmatíticas com berilo e columbo-tantalite, soleiras aplitopegmatíticas com ambligonite e lepidolite e filões subverticais com moscovite, berilo, zinnwaldite e rara lepidolite.
- Região de Bendada: estruturas aplitopegmatíticas, ricas em minerais fosfatados, com litiofilite, lepidolite e berilo
- Região de Mangualde: filões subverticais ricos em berilo e fosfatos de manganês e lítio, com destaque para a litiofilite.

Paragénese

- Principal - ortoclase, quartzo, albite, moscovite e minerais de lítio
 - Acessória - heterofilite, berilo, turmalina, litiofilite, mangualdite, triplite, cassiterite, entre outros.
-

Servidões Mineiras



8.a. Região de SEIXO AMARELO – GONÇALO

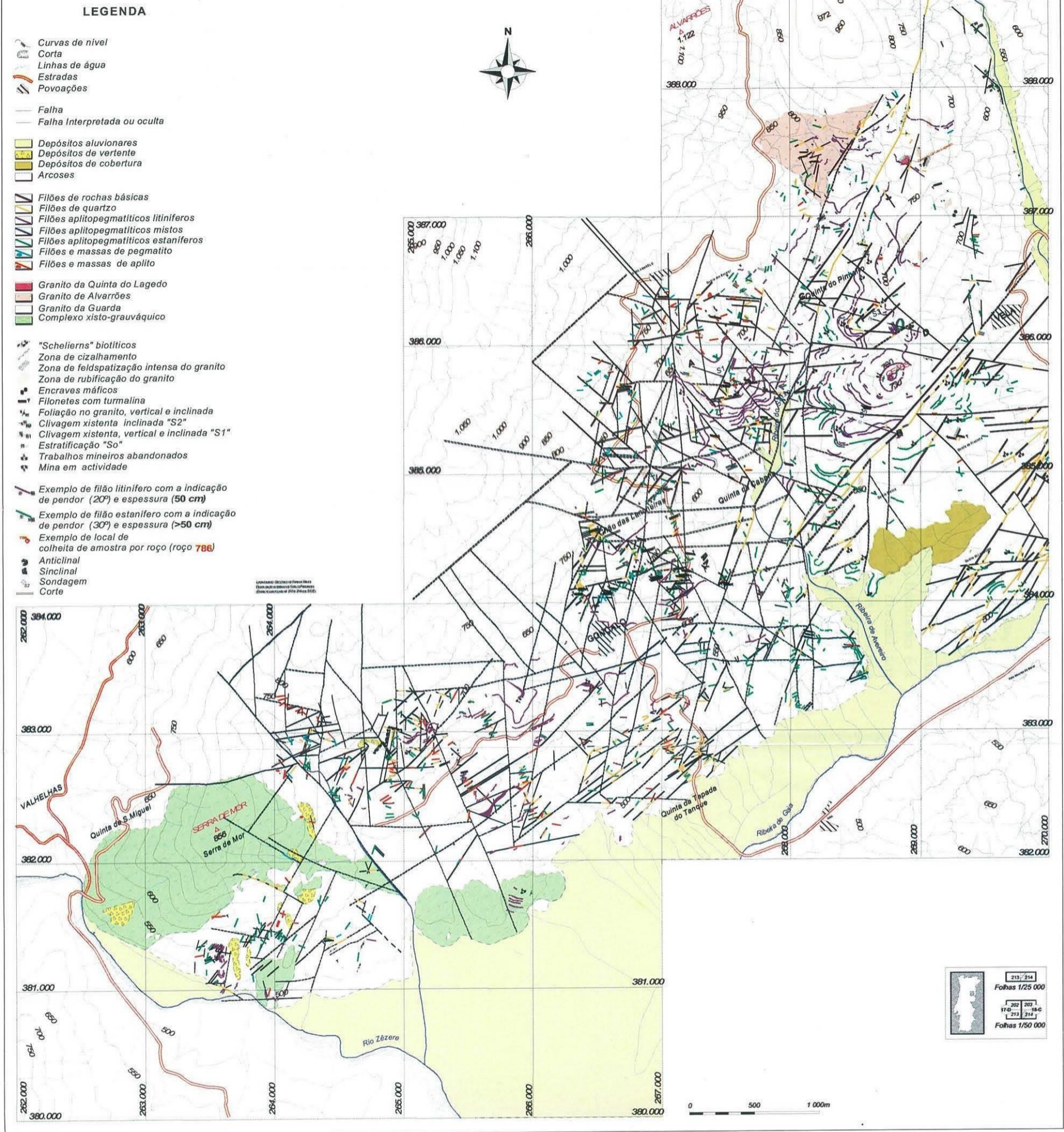
Morfologia dos corpos mineralizados e Paragénese

Este campo filoniano foi alvo de estudo de pormenor, tendo sido reconhecidos 3 tipos de soleiras:

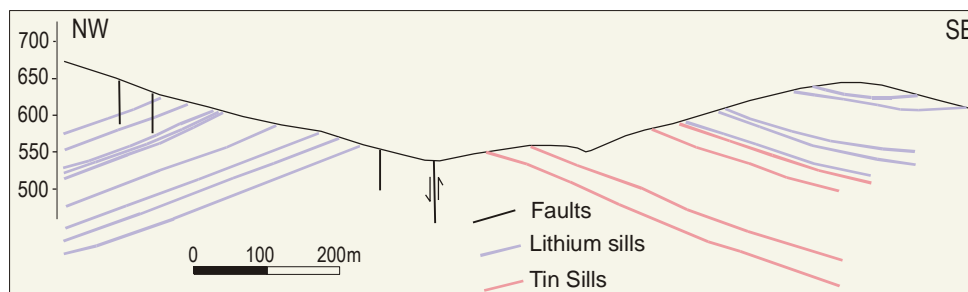
- Soleiras estaníferas que ocupam posições estruturais e topográficas inferiores. Apresentam cor bege clara, estrutura simples (não bandada) e mineralogia simples de quartzo, feldspato potássico, albite, moscovite, **ambligonite-montebrasite**, rara **lepidolite**, apatite, topázio, cassiterite, columbo-tantalite, zircão, entre outros.
- Soleiras litiníferas que ocupam posições estruturais e topográficas mais elevadas. Apresentam cor arroxeadada a rosada, estrutura bandada complexa e mineralogia complexa de quartzo, feldspato potássico, albite, moscovite, **lepidolite**, **ambligonite-montebrasite**, **petalite**, **zinnwaldite**, topázio, apatite, cassiterite, columbo-tantalite, microlite, zircão, entre outros.
- Soleiras Mistas que fazem transição entre os dois tipos anteriores.

No entender do autor dos estudos de pormenor, as mineralizações de metais raros estão espacial e geneticamente relacionadas com maciços graníticos de duas minas da série tardia, em especial com o plutonito de Fráguas-Pena Lobo, o qual, além de ser o granito mais altamente diferenciado e enriquecido em elementos raros, revela maior densidade de filões na zona do endo e exocontacto. Contudo esse autor sublinha que as zonas mais enriquecidas em lítio estão quase exclusivamente circunscritas à região de Seixo Amarelo-Gonçalo, apontando como fator relevante para esta ocorrência a influência da grande falha NE-SW que aflora entre a região da Vela e a região de SE de Gonçalo, observando-se que a oeste da ribeira da Gaia e até essa falha ocorrem apenas soleiras estaníferas; a ocidente dessa falha e à medida que se sobe na topografia, há passagens sucessivas para soleiras de tipo misto e mais para o topo de tipo litinífero; parece, assim, que a referida falha coloca em contacto lateral dois blocos, dos quais o mais ocidental está abatido em relação ao outro; mais para ocidente ainda o campo filoniano é cortado por outra fratura importante NNE-SSW, a ocidente da qual afloram apenas soleiras litiníferas, significando que neste bloco estão preservados os níveis estruturais superiores do campo aplito-pegmatítico.

Fig.2 - CARTA GEOLÓGICA DA REGIÃO DE SEIXO AMARELO - GONÇALO



O enquadramento tectónico anteriormente descrito pode ser seguido, tal está esquematizado no corte a seguir apresentado.



Corte geológico identificado como A-B no mapa

Morfologia dos corpos mineralizados

O campo filoniano é formado por soleiras aplito-pegmatíticas predominantemente intrusivas do granito da Guarda, sub-horizontais e aflorando em flanco de encosta.

Estas estruturas, que apresentam espessura em geral inferior a 3,5 m e afloram, por vezes, por mais de 1 km, vêm sendo exploradas desde há largos anos na região de Seixo-Amarelo-Gonçalo como fonte de feldspato lítínífero para a indústria cerâmica e do vidro.

Teores nos minerais úteis e acessórios

- Soleiras litíníferas: 5705 ppm
 - Lítio concentra-se nas zonas interiores das soleiras
 - Bandas metassomáticas com espessura até 10 cm com baixos teores de lítio.
- Soleiras mistas: 2512 ppm
- Soleiras estaníferas: 1484 ppm

Estimativa de Recursos

Seixo Amarelo – Gonçalo: 544100 m³ (1400000 t) - exploração a céu aberto; 10 m de altura máxima de frente de exploração

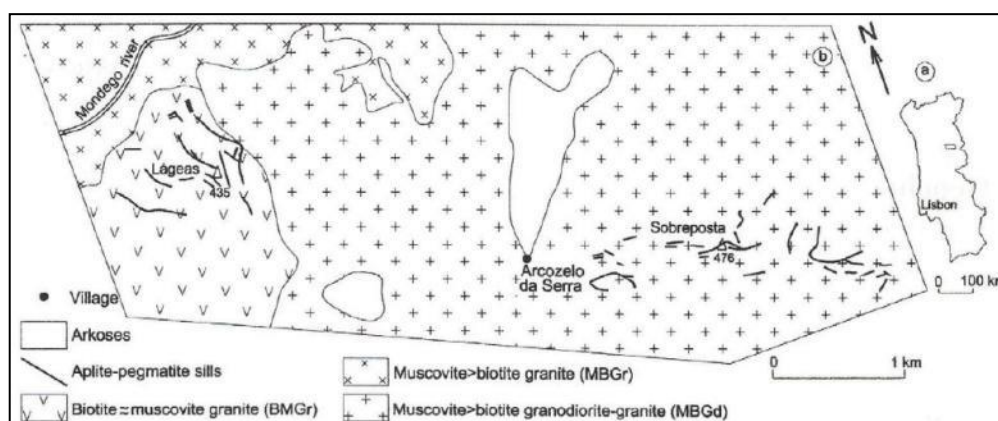
Zonas mais favoráveis à exploração:

- Morro do vg S. Geães, entre Vela e o Ribeiro do Seixo
- Morro denominado Porqueira, entre Ribeiro do Seixo e a mina de Alvarões nº 24;
 - Área da concessão Castanho nº 1
 - Área a SW da mina Castanho nº 1
 - Área entre a Quinta do Lagedo de Baixo e a Quinta do Lagedo de Cima

8. b. Região de GOUVEIA

Morfologia dos corpos mineralizados

- Soleiras aplitepegmatíticas com inclinação inferior a 30° e orientações várias, 50 a 700 m de comprimento, 0,2 m a 2,5 m de espessura. Raras montebrasite, espodumena e zinvaldite.
- Filões e massas pegmatíticas e aplitepegmatíticas do tipo moscovite e berilo (“Aplitepegmatitos Cerâmicos”) que formam pequenos batólitos.



8. c. Região de SABUGAL

Morfologia dos corpos mineralizados

Soleiras e filões aplitepegmatíticos intrusivos num granito de grão grosseiro, porfiroide, biotítico e moscovítico.

Distinguem-se 3 tipos fundamentais de filões aplitepegmatíticos:

- Filões de tipo berilífero, inclinados a subverticais, orientados E-W a WNW-ESE, espessuras compreendidas entre 10 cm e 15 m, e uma extensão que chega a atingir os 700 m de comprimento;
- Soleiras e massas aplite-pegmatíticas sub-horizontais de tipo berilífero com orientações NNE-SSW e pendores de 20°SE, uma extensão máxima de 200 m e espessuras muito diversas, que não ultrapassam os 2.5 m;
- Pouco frequentes soleiras e massas aplite-pegmatíticas de tipo lepidolítico com 20 a 30 cm de espessura.

8. d. Região da BENDADA

Trata-se do campo filoniano mais extenso, mas menos estudado. Os aplitopegmatitos intruem granitos de 2 micas de diferente granularidade. Os aplitopegmatitos são bandados e presume-se que estejam dispostos de modo sub-horizontal. São especialmente ricos em minerais fosfatados. Como minerais litiníferos estão identificados a litiofilite e a lepidolite.

8. e. Região de MANGUALDE

Morfologia dos corpos mineralizados

Filões subverticais com orientação NW-SE. Espessura métrica podendo alcançar 40 m (caso do filão de Cubos – Chão Castanheiro). Também ocorrem sob a forma de bolsadas irregulares de onde irrompem inúmeras apófises.

Encaixante: Granitos sin-orogénicos de duas micas, granularidade média a grosseira.

Bibliografia

Carta Geológica de Portugal à escala 1: 1000000, Edição 2010, LNEG-LGM, Lisboa.

Carta Geotectónica da Região das Beiras à escala 1:250000, 1968, Junta de Energia Nuclear.

Freitas, M., Canhota, A., Carolino, A., Guedes, A., Noronha, F., 2014. Fluidos hidrotermais em pegmatitos graníticos. *Comunicações Geológicas* (2014) 101, Especial II, p. 787-790.

Jesus, A., 1934. Pegmatites mangano-litiníferas da região de Mangualde. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 19, p. 65-210.

Neiva, A.M.R., Gomes, M.E.P., Ramos, J.F., Silva, P.B., 2008. Geochemistry of granitic aplite-pegmatitic sills and their minerals from Arcozelo da Serra área (Gouveia, central Portugal). *Eur. J. Mineral.*, 20, p. 465-485.

Neves, J.M. Correia, 1960. Pegmatitos com berilo, columbite-tantalite e fosfatos da Bendada (Sabugal, Guarda). *Memórias e Notícias, Nº 50, Museu e Lab. Min. Geol., Universidade de Coimbra*, 172 p.

Ramos, J.F., 1998. Mineralizações de Metais Raros de Seixo Amarelo-Gonçalo. Tese de Doutoramento, FCUL.

Ramos, J.F., 2000. Mineralizações de metais raros de Seixo Amarelo – Gonçalo (Breve Nota). Estudos, Notas e trabalhos do Instituto Geológico e Mineiro, T. 42, p. 67-160.

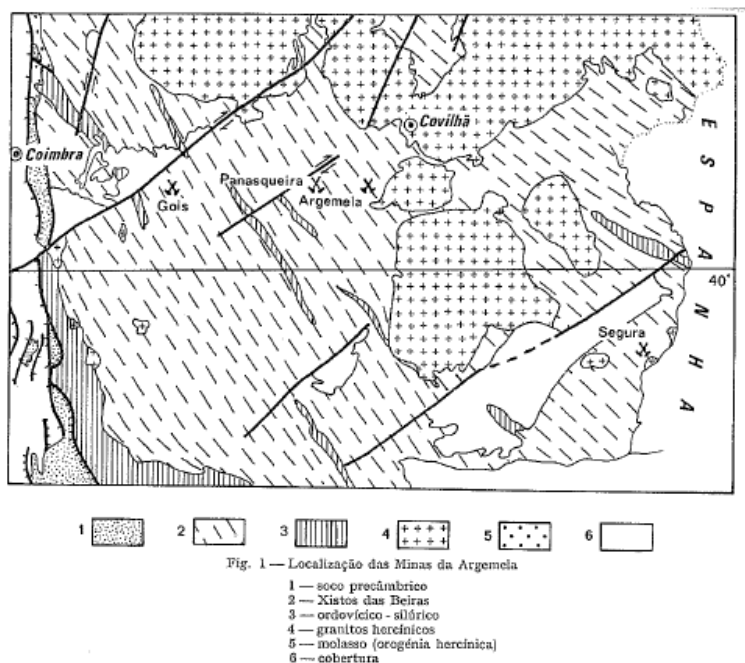
Roda-Robles, E., Pesquera, A., Gil-Crespo, P. P., Vieira, R., Lima, A., Garate-Olave, I., Martins, T., Torres-Ruiz, J., 2016. Geology and mineralogy of Li mineralization in the Central Iberian Zone (Spain and Portugal), Mineralogical Magazine, Vol. 80(1), p. 103–126.

Silva, P.B., 2014. Mineralogia, petrologia e geoquímica de granitos e filões aplito-pegmatíticos da região de Guarda – Sabugal. Tese de Doutoramento em Geologia, Universidade de Trás os Montes e Alto Douro.

9. Região de ARGEMELA

Enquadramento geológico regional

O depósito de Sn-Li da Argemela, na Zona Centro-Ibérica, ocorre nos Xistos das Beiras (sequência de flysch) do Neoproterozóico, 2 km a oeste do plutão zonado de granitóides Variscos (280 Ma) do Fundão, rodeado de corneanas aluminosas e xistos mosqueados. A norte e sul deste plutão existem os batólitos de granitos porfiríticos biotíticos da Covilhã e Vale Prazeres – Idanha-a-Nova, tardi- a pós-tectónicos e sin- a pós-tectónicos Variscos, respetivamente. Cristas quartzíticas ordovícicas ocorrem a 15 e 23 km a SW da Argemela (figura seguinte).



Localização e enquadramento geológico regional da Argemela (de Inverno e Ribeiro, 1980)

Ocorrência Regional – grupo de ocorrências consideradas com a mesma afiliação metalogénica

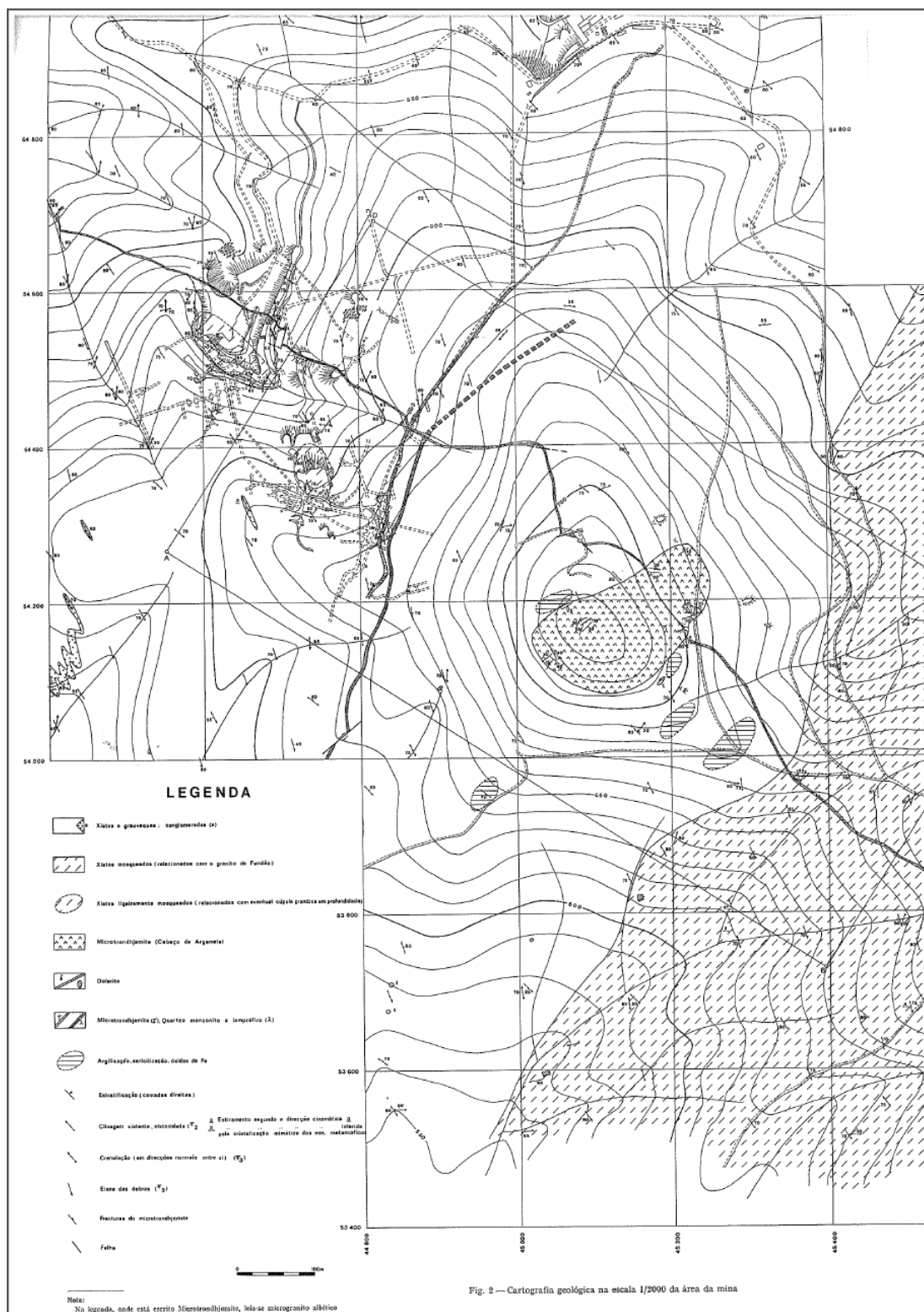
O depósito de Sn-Li da Argemela, 10 km a oeste do Fundão, faz parte do alinhamento mineiro W-E que inclui os depósitos de Góis – W (Sn), Panasqueira – W (Sn, Cu), Argemela – Sn, Li, Mata da Rainha – W (Sn), Ceife – Pb (Zn) – Segura – W, Sn, Li, Pb, Zn (Ba) [figura acima], encaixados nos Xistos das Beiras e quase sempre nas proximidades de maciços graníticos geralmente (mas nem sempre) tardi- a pós-tectónicos relativamente a F₃. As antigas Minas da Argemela, exploradas para Sn, tinham três níveis em flanco de encosta, aos 522 m (galeria principal c/ 1,8 km), 546 e 599 m, e desmontes a céu aberto, o maior com frente >300 m.

Tipo metalogenético

- Depósito hidrotermal relacionado com granitos (Minas da Argemela)
- Microgranito modificado por fluidos pegmatóides (Cabeço da Argemela)

Morfologia dos corpos mineralizados

- Filões de quartzo c/ Sn-Li subverticais, em *stockwork*, com possança de 5-30 cm e espaçamento de cerca de 1 m. Têm uma disposição radial, apesar de com predominância em torno da orientação E-W (Minas da Argemela).
 - No Cabeço da Argemela, 500 m a SE da parte leste das mineralizações acima apontadas (figura na página seguinte), aflora em pequena extensão um corpo de microgranito albitico modificado por fluidos pegmatóides posteriores à sua instalação. Dada a presença de lítio anómalo nesta rocha (0,2 – 0,5% Li), a mesma é explorada numa pequena pedreira, com extensão >50 m, na parte NE do Cabeço da Argemela, para aplicações na indústria cerâmica.
-



Geologia local da Argemela, contendo na parte NW o traçado das galerias e desmontes a céu aberto das Minas da Argemela (modificado de Inverno e Ribeiro, 1980).

Na área mineralizada (antigas Minas da Argemela), os filões de quartzo c/ Sn-Li estão predominantemente encaixados nos Xistos das Beiras (xistos, grauvaques finos e raros conglomerados intraformacionais), mas também cortam vários tipos de diques, reconhecidos à superfície e em sondagens: diques de microgabro, particularmente o chamado “Black Dike” (possança: 2 m), de direção WNW-ESE; dique (NNE-SSW) de quartzo monzonito a lamprófito; diques de microgranito albítico (1,5-4 m) [particularmente o “White Dike” (3-4 m), orientado a NNE-SSW, cortando o “Black Dike”] (figura acima) constituídos por fenocristais de quartzo (1cm) numa matriz de albite dominante, mica branca e rara biotite, tendo acessoriamente cassiterite, rútilo, ambligonite-montebrasite e zircão. O microgranito albítico destes diques tem uma razão Na/K (atómica) alta, percentagem de SiO₂ não muito elevada (≈ 70%) e valores baixos, mas um pouco anómalos de P e F, sendo considerado uma rocha granítica especializada, evoluída.

Um ou mais destes diques de microgranito albítico ter-se-ão instalado no atual Cabeço da Argemela, a SE da área de trabalhos mineiros. Após a sua instalação, o subsequente acréscimo de voláteis, elementos raros e K no fluido magmático em porções mais profundas causou a formação duma segunda paragénese no microgranito albítico do Cabeço da Argemela, com quartzo, albite, lepidolite, ambligonite-montebrasite, berilo e outros minerais, com as características químicas, mas sem a granularidade própria dos pegmatitos de elementos raros. Este microgranito albítico modificado do Cabeço da Argemela tem uma idade K-Ar de 303±6 Ma (Noronha et al., 2013).

Alem dos xistos mosqueados do metamorfismo de contacto do maciço do Fundão, ocorrem ainda à superfície na área dos trabalhos mineiros (Minas da Argemela) duas pequenas manchas de xistos ligeiramente mosqueados (biotite) [figura acima], que se tornam muito mais expressivas para a profundidade, como as sondagens mais longas indicam. É nesta vertical que foram cortados em profundidade diques e apófises de microgranito albítico, tudo apontando para a existência duma cúpula granítica (responsável pela mineralização) em profundidade, que também é sugerida pela disposição sub-radial dos filões de quartzo mineralizado (Sn-Li).

A fase sarda da orogenia Caledónica produziu regionalmente dobras NE-SW sem clivagem de plano axial. Da sobreposição desta com a fase Varisca F₃ (c/ estiramento em *a*) resultaram nos Xistos das Beiras dobras NW-SE com clivagem de plano axial e eixos muito mergulhantes; a F₃ Varisca provocou ainda a forte deformação interna de todos os diques, mas não gerou qualquer foliação interna nos mesmos. O metamorfismo regional Varisco é da zona da clorite da fácies de xistos verdes.

De uma tectónica Varisca tardia (com possível reativação Alpina) resultaram falhas de desligamento direitas, NNE-SSW ou esquerdas, NE-SW a ENE-WSW, quer umas quer outras cortando o “Black Dike”, o “White Dike” e por vezes os filões de quartzo mineralizados (Sn-Li)

Dispersão geográfica local

Ver figura anterior que inclui na parte NW localização dos trabalhos mineiros, com traçado das galerias e desmontes a céu aberto na vertical das mesmas.

Paragénese principal

- Minas da Argemela: quartzo – ambligonite-montebrasite – mica branca – cassiterite – estanite (grupo); a nível de minerais úteis, o Sn ocorre na cassiterite e minerais do grupo da estanite, o Li na ambligonite-montebrasite e o Rb essencialmente na mica branca, de granularidade fina, pelo que muito dificilmente recuperável na lavaria.
- Cabeço da Argemela: quartzo – albite – mica branca – lepidolite – ambligonite-montebrasite – cassiterite.

Paragénese acessória

- Minas da Argemela: arsenopirite – columbite-tantalite – clorite – fluorite – carbonato – apatite – trifilite – turmalina - rútilo – molibdenite – esfalerite – calcopirite – pirite – calcocite (?) – covelite – vivianite – goethite/lepidocrocite.
- Cabeço da Argemela: feldspato K – columbite-tantalite – berilo.

Descrição macro textural (relacionamento geométrico com o encaixante)

Os filões de quartzo c/ Sn-Li das Minas da Argemela ocorrem essencialmente numa área de 750 x 600 m e são conhecidos na vertical entre os 650 m de cota e os 0 m (em profundidade).

O microgranito albitico modificado do Cabeço da Argemela tem à superfície uma extensão de 250 x 150 m.

Nota – Durante a deposição dos filões de quartzo mineralizados (Sn-Li), a infiltração de alguns fluidos hidrotermais mineralizadores para os xistos encaixantes levou a que estes apresentem valores anómalos em Sn e Li, sendo ali os seus respetivos minerais portadores, essencialmente cassiterite e mica branca (\pm ambligonite-montebrasite?), de muito baixa granularidade, isto é, não recuperáveis na lavaria. Isto significa que a análise química contínua de testemunho de sondagens ou de trincheiras com filões de quartzo e xistos encaixantes gera valores para Sn e Li (bem) acima do que é recuperado em lavaria durante o processamento mineiro.

Descrição textural da mineralização (calibre de ocorrência e libertação mineral)

Nas Minas da Argemela, a ambligonite-montebrasite (de cor branco leitosa a esverdeado e azulado) nos filões de quartzo encaixados nos Xistos das Beiras apresenta grãos anédricos a subédricos de 75 μ m a 3 cm (mais comum), localmente preenchendo quase todo o filão. Quando os filões, em muito menor número, estão encaixados em diques de microgranito albitico, os grãos, anédricos e subédricos, de ambligonite-montebrasite, têm dimensões, geralmente na parte superior do intervalo 75 μ m – 7,5 mm.

A cassiterite dos filões de quartzo das Minas da Argemela, de cor castanha clara, apresenta-se em grãos anédricos a euédricos, de 10 μm – 7,5 mm (geralmente <1 mm), formando agregados até 1,3 cm (até 3 cm quando os filões de quartzo estão encaixados nos diques de microgranito albítico). Contém inclusões anédricas de columbite-tantalite de 1 – 75 μm .

Além da cassiterite, outro minério de Sn ocorrente nos filões quartzosos das Minas da Argemela é um mineral do grupo da estanite (kesterite, ferrokesterite e estanite), de cor negra, tão abundante como a cassiterite nesses filões, apresentando-se em grãos anédricos a subédricos de 2 μm – 4,4 mm, formando agregados até 2 cm. Tanto a estanite (grupo) como a cassiterite ocorrem nos filões no seio do quartzo ou no contacto deste com a ambligonite-montebrasite. Os minerais do grupo da estanite podem ainda constituir inclusões muito finas (< 1 μm) na esfalerite.

Nas Minas da Argemela, a mica branca, que incorpora o grosso da concentração ali conhecida em Rb, ocorre quer como “sericite” (25 – 100 μm diam.) quer numa geração posterior em lamelas de 10 μm – 3 mm, formando agregados até 1 cm. A mica branca é muito comum nas paredes internas dos filões de quartzo mineralizados, aumentando para a profundidade.

Teores nos minerais úteis e acessórios

Nas Minas da Argemela, a análise à microsonda eletrónica do mineral da série ambligonite-montebrasite dos filões de quartzo mineralizados revela que o mineral é uma montebrasite com uma percentagem de ambligonite de 7-20% (aumentando para a profundidade) ou 7-18% quando encaixados nos Xistos das Beiras e nos diques de microgranito albítico, respetivamente. No Cabeço da Argemela o microgranito albítico modificado contém ambligonite-montebrasite com uma percentagem de ambligonite de 19-58%.

A cassiterite dos filões de quartzo das Minas da Argemela apresenta altas concentrações de Nb, Fe e Ti, medianamente altas de W e baixas de Mn quando encaixados nos Xistos das Beiras e que se tornam ainda mais elevadas para os três primeiros elementos quando os filões de quartzo estão encaixados nos diques de microgranito albítico. O microgranito albítico modificado do Cabeço da Argemela contém cassiterite com concentrações muito altas de Ta e Nb e altas de Fe e Mn, mas sendo desprovida de Ti.

Os minerais do grupo da estanite existentes nos filões quartzosos das Minas da Argemela apresentam valores de 27,5-28,3% Sn, sendo os valores mais altos tendencialmente para amostras da parte superior do depósito, onde ocorre estanite e não kesterite e ferrokesterite existentes a maior profundidade (aí sem estanite s.s.).

As micas brancas dos filões de quartzo das Minas da Argemela contêm 1,3% F e 0,4% Li_2O , enquanto as do microgranito albítico modificado do Cabeço da Argemela contêm 1,4 – 5,8% F e 0,4 – 4,6% Li_2O .

A columbite-tantalite do microgranito modificado do Cabeço da Argemela é essencialmente uma manganotantalite, enquanto por oposição, a que forma inclusões na cassiterite dos filões de quartzo das Minas da Argemela é uma columbite rica em Fe.

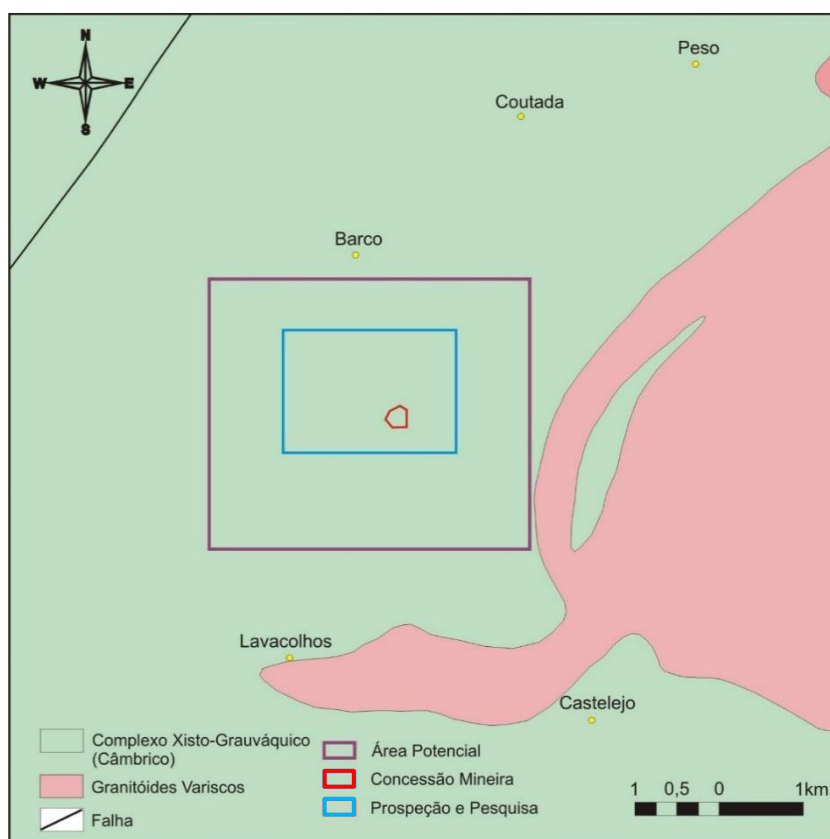
Estimativa de Recursos

As Minas da Argemela produziram em 1942-1955 cerca de 1000 toneladas de concentrados de cassiterite (com 50% Sn) e em 1956-1961, já operadas pela Beralt Tin & Wolfram Portugal (BTWP), 150 toneladas de concentrados de cassiterite (com 73% Sn) com uma recuperação na lavaria de 60%.

Quanto aos recursos das Minas da Argemela, a BTWP, tendo em perspetiva uma operação a céu aberto, calculou para a porção mais superficial da jazida um recurso inferido de 9,3 milhões de toneladas (Mt) com 0,2% Sn, 0,2% Li e 0,1% (estimativa) Rb e um recurso adicional de 10,8 Mt com 0,07% Sn, 0,2% Li e 0,1% (estimativa) Rb (Ferraz et al., 2010).

No entanto, considerando a continuidade e o teor das mineralizações conhecidas nas Minas da Argemela entre as cotas 650 e 0 m (em profundidade), estima-se que este depósito contenha um recurso total de >200 Mt com 0,1% Sn (0,2% Sn na parte superior do depósito), 0,2% Li e 0,1% (estimativa) Rb (Inverno et al., 2009).

Servidões Mineiras e Outras Condicionantes



Em atualização (não consta o recente pedido de Concessão de Exploração)

Bibliografia

Charoy, B., Noronha, F., 1996. Multistage growth of a rare-element, volatile-rich microgranite at Argemela (Portugal): *Journal of Petrology*, v. 37, p. 73-94.

Ferraz, P., Rodrigues, B.C., Oliveira, A., Ramos, J.F., 2010. Resultados da campanha de prospecção do jazigo de Sn-Li de Argemela: VII Congresso Nacional de Geologia, Univ. Minho, Braga, Portugal, Livro de Resumos, p. XIII-3 e e-Terra (Geosciences On-line Journal), v. 20(5), p. 1-4 (resumo em Inglês).

Inverno, C.M.C., 1998. Comments on the new findings on the geology, geochemistry and mineralization of Argemela: *Comunicações Instituto Geológico e Mineiro*, v. 85, p. 73-79.

Inverno, C.M.C., Ferraz, P.J.V., Moreira, M.E., 2009. Argemela, a high-tonnage Sn-Li deposit in Central Portugal: Geological Society of America Annual Meeting, Portland, Oregon, Oct. 2009, Geological Society of America Abstracts with Programs, v. 41(7), p. 680.

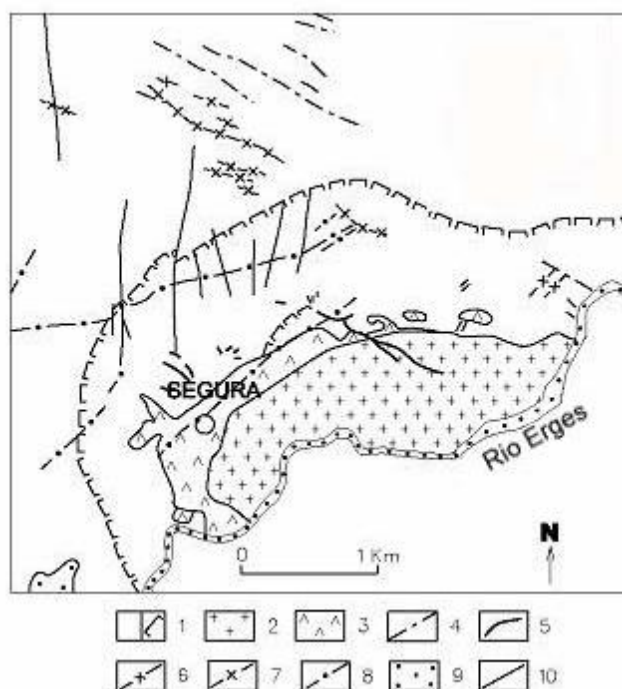
Inverno, C., Ribeiro, M.L., 1980. Fracturação e cortejo filoneano nas Minas da Argemela (Fundão): *Comunicações Serviços Geológicos de Portugal*, v. 66, p. 185-193 (resumo em Inglês).

Noronha, F., Ribeiro, M.A., Almeida, A., Dória, A., Guedes, A., Lima, A., Martins, H.C., Sant’Ovaia, H., Nogueira, P., Martins, T., Ramos, R., Vieira, R., 2013, Jazigos filonianos hidrotermais e aplitiopegmatíticos espacialmente associados a granitos (norte de Portugal), *in* Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J.C., eds., *Geologia de Portugal*: Lisboa, Escolar Editora, v. 1, p. 403-438.

10. Região de SEGURA

Enquadramento geológico regional

Na região aflora o plutão de Segura que corresponde a uma intrusão síncrona da 3ª fase de deformação Varisca (D₃), sendo composto por dois granitos: o granito de grão médio a grosseiro de duas micas; e o granito de grão médio a fino moscovítico (figura abaixo). A intrusão ocorreu no Complexo Xisto-Grauváquico (CXG; Câmbrico), promovendo a formação de uma auréola metamorfismo de contacto nas rochas deste complexo, com mais de 500 m de espessura. O CXG é composto por metapelitos e metagrauvaques intercalados com metaconglomerados e mármore (figura página seguinte). Atravessam este complexo os filões aplito-pegmatíticos segundo a direção NE-SW, pórfiros granodioríticos subverticais de direção N45-60W, e aplitos de direção NW-SE a NNW-SSE, estes últimos também intersectam as rochas graníticas (figura seguinte). Acresce salientar a ocorrência de filões de quartzo com Sn e W de direção NW-SE a WNW-ESSE e de filões de quartzo com Ba-Pb-Zn de direção ENE-WSW a NNE-SSW, que intersectam o CXG e o granito moscovítico (figura seguinte). Afloram ainda na zona sul desta região rochas sedimentares, Cenozoicas (arcoses).

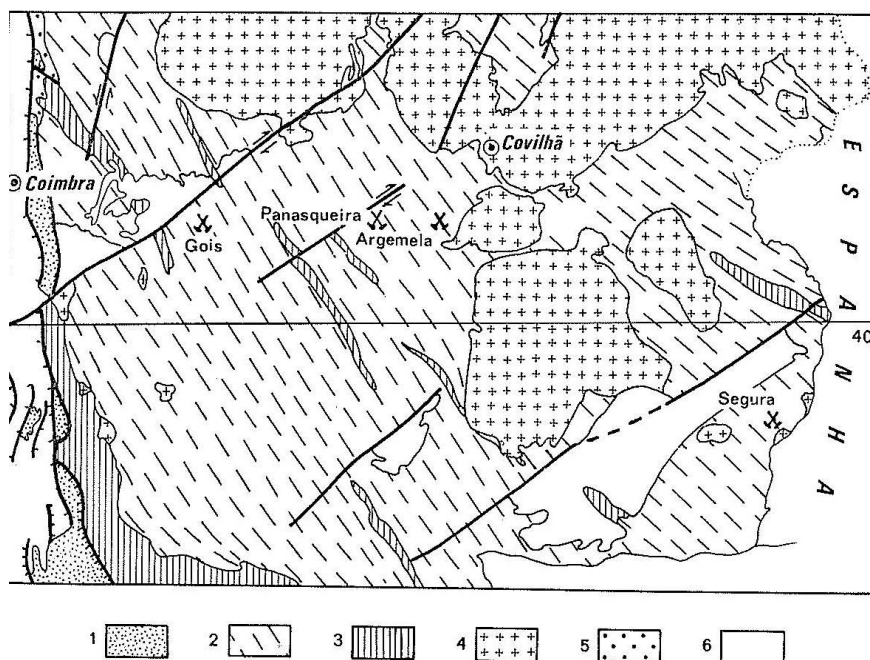


Mapa geológico da região de Segura (Antunes et al., 2010).

1. Complexo Xisto-Grauváquico e auréola de metamorfismo de contacto; 2. Granito de duas micas; 3. Granito moscovítico; 4. Filões de pórfiros granodioríticos; 5. Filões aplíticos; 6. Filões aplito-pegmatíticos graníticos litiníferos; 7. Filões de cassiterite e volframite; 8. Filões de quartzo com barite, galena e blenda; 9. Arcoses; 10. Falhas.

Ocorrência Regional – grupo de ocorrências consideradas com a mesma afiliação metalogenética

A região de Segura (Idanha-a-Nova, Castelo Branco) enquadra-se na Zona Centro-Ibérica (ZCI), onde predominam as rochas graníticas e metassedimentares. O campo filoniano aplito-pegmatítico Varisco de Segura é uma das ocorrências da Cintura Pegmatítica Centro-Ibérica. Os depósitos minerais de Segura integram alinhamento mineiro W-E que inclui os depósitos de Góis - W (Sn), Panasqueira - W (Sn, Cu), Argemela - Sn, Li, Mata da Rainha - W (Sn), Ceife - Pb (Zn), Segura - W, Sn, Li, Pb, Zn (Ba) (ver figura abaixo). Os depósitos de Sn-W e Ba-Pb-Zn da região de Segura foram explorados para Sn, W, Ba e Pb, entre 1942 e 1953.



Localização alinhamento mineiro W-E que inclui os depósitos de Góis - W (Sn), Panasqueira – W (Sn, Cu), Argemela – Sn, Li, Mata da Rainha - W (Sn), Ceife - Pb (Zn), Segura - W, Sn, Li, Pb, Zn (Ba) (de Inverno e Ribeiro, 1980)

1- Soco precâmbrico; 2- Xistos das Beiras; 3- Ordovícico-Silúrico; 4- Granitos variscos; 5- Molasso (orogenia Varisca); 6- Rochas sedimentares, Cenozoicas

Tipo metalogenético

Os filões aplito-pegmatíticos litiníferos de Segura incluem-se na família dos pegmatitos LCT, complexo com metais raros (REL-LI), subtipo lepidolite. O principal mineral do minério de lítio é a lepidolite que tem origem magmática, assim como a moscovite, montebrasite e natromontebrasite.

Morfologia dos corpos mineralizados

Corpos com morfologia filoniana com 15 cm de espessura e 300 m de comprimento.

Paragénese

Quartzo, microclina micropertítica, albite, moscovite, apatite, zircão e rútilo, sendo frequente a ocorrência de lepidolite, montebrasite, natromontebrasite, topázio, cassiterite, minerais do grupo da columbite e microlite, ixiolite, tapiolite e lacroixite secundária.

Descrição macro textural (relacionamento geométrico com o encaixante)

Filões aplito-pegmatíticos litiníferos de Segura são exo-graníticos, subhorizontais, com direção NE-SW, com 15 cm de espessura e 300 m de comprimento instalados nas rochas do CXG (figura da página anterior).

Descrição textural da mineralização (calibre de ocorrência e libertação mineral)

Filões aplito-pegmatíticos litiníferos apresentam, no geral, textura hipidiomórfica granular subédrica. A lepidolite ocorre em cristais tabulares, subédricos, que substituem parcialmente a moscovite. A montebrasite apresenta-se em cristais subédricos (3x2 mm); a moscovite substitui a amblygonite-montebrasite. Os cristais de cassiterite são subédricos a euédricos, com dimensão de 6,2x2,1 mm e 18 x 5,6 mm, podem ser zonados (zonas claras e zonas escuras-enriquecidas em Nb e Ta) e englobam cristais de quartzo, moscovite e apatite; a cassiterite associa-se à moscovite. Na cassiterite foram observadas inclusões zonadas, subédricas a euédricas de ferrotapiolite (40 x 30 µm), ixiolite (30 x 15 µm) e microlite (80 x 30 µm); foram identificadas ainda na cassiterite exsoluções zonadas, subédricas, de ferrotapiolite, ferrocolumbite, ferrocolumbite manganífera e manganocolumbite, que apresentam dimensões de 300 x 600 µm.

Teores nos minerais úteis e acessórios

Foram obtidos para a lepidolite e moscovite magmáticas dos filões aplito-pegmatíticos litiníferos de Segura conteúdos em Li₂O de 4,35 e 0,38 wt%, e em F de 7,57 e 0,97 wt%, respetivamente. A lepidolite é enriquecida em Si, F, Rb, Rb/K, mas empobrecida em Al, relativamente à moscovite.

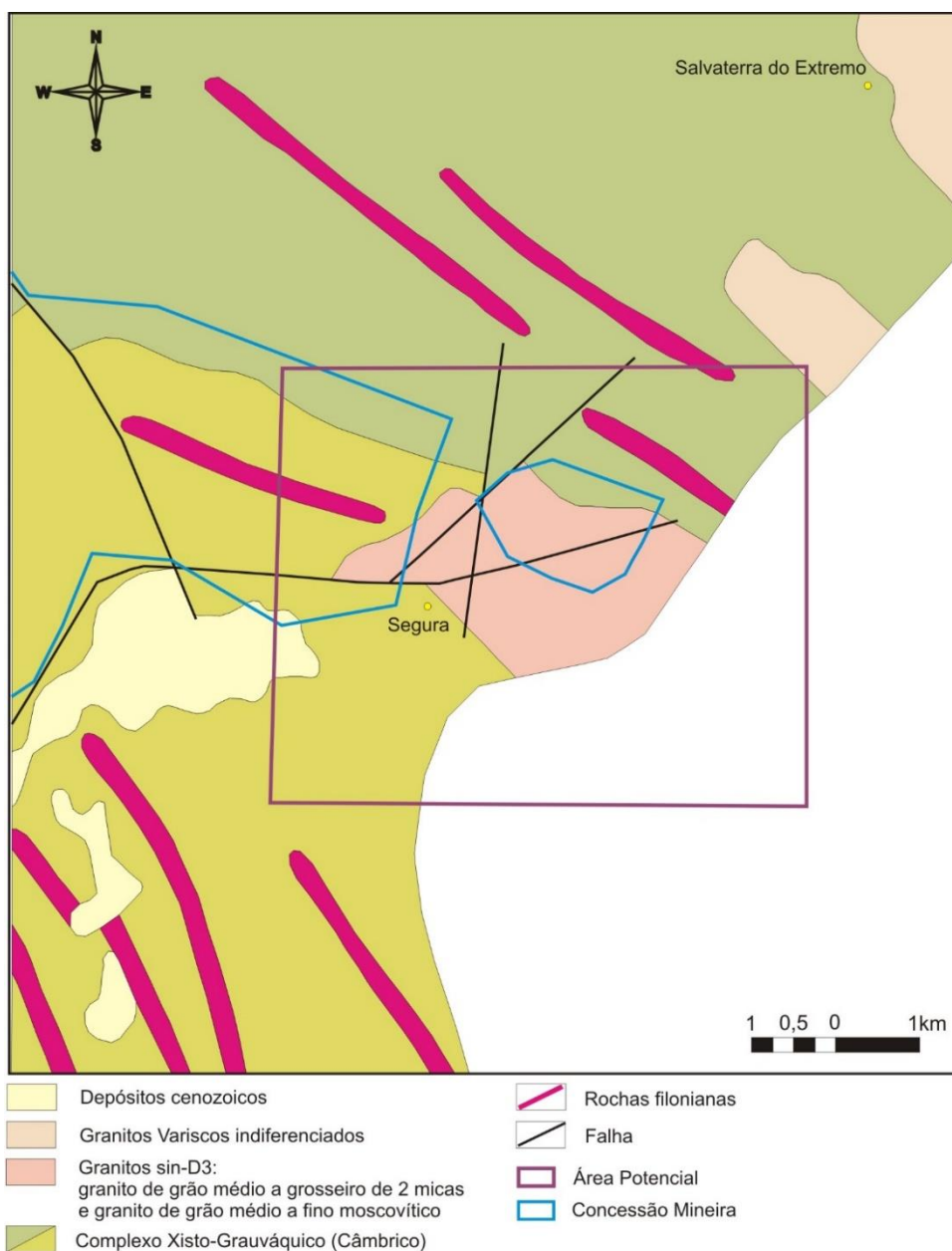
A montebrasite apresenta na sua composição deficiência em Al e distribuição heterogénea de Na e F.

A cassiterite analisada nestes filões possui $Nb > Ta$ e $Mn > Fe$; nos cristais zonados, as zonas escuras contêm teores de Nb e Ta mais elevados relativamente às zonas claras onde incrementam os teores em SnO_2 .

Análises realizadas às inclusões de ferrotapiolite, ixiolite e microlite e às exsoluções de ferrocolumbite, ferrocolumbite manganífera e manganocolumbite da cassiterite, revelaram maior abundância relativa em Sn, Ti, Sc e Mg.

O topázio apresenta teores em F relativamente baixos (12 - 16%).

Servidões Mineiras e Outras Condicionantes



Bibliografia

Antunes I. M. H. R., Neiva, A. M. R., Silva M. M. V. G., 2001. Phosphorus in minerals from granitic rocks and quartz veins from Segura, Central Portugal. Volume de actas do III Congresso Ibérico de Geoquímica / VII Congresso Geoquímica de Espanha M. Lago, E. Arranz y C. Galé (Editores), 317 – 320. (Zaragoza, Espanha).

Antunes I. M. H. R., Neiva, A. M. R., Silva M. M. V. G., 2003. Caracterização geoquímica de minerais de jazigos da região de Segura (Castelo Branco). In Livro de Homenagem ao Professor Doutor J. M. Cotelto Neiva: “A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos”, M. P. V. Ferreira (Editor). Coimbra, Vol. 2, p. 157-168.

Antunes I. M. H. R., Neiva, A. M. R., Silva M. M. V. G., 2007. Geochemistry of minerals of Li-bearing granitic pegmatites from Segura area, central Portugal. T. Martins & R. Vieira (Ed.) Memórias nº 8, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, p. 28 - 29. (Porto, Portugal).

Antunes I. M. H. R., Neiva, A. M. R., Silva M. M. V. G., Ramos, J.M.F, SILVA, P.B., 2009. Geochemistry of Li-bearing aplite-pegmatite veins from Cabeço Queimado and associated granitic rocks (Segura, Central Portugal). 4th Pegm 2009, Recife, Brasil.

Antunes I. M. H. R., Neiva, A. M. R., Silva M. M. V. G., Silva P. B., 2010. Mineralogia dos filões aplito-pegmatíticos litiníferos da região de Segura. Ciências Geológicas: Ensino, Investigação e sua História / eds. J. M. Cotelto Neiva... [et al.]. - Lisboa: APG, SGP, 2010. - Vol. I, Cap. I, p. 3-14.

Inverno, C., Ribeiro, M.L., 1980. Fracturação e cortejo filoneano nas Minas da Argemela (Fundão): Comunicações Serviços Geológicos de Portugal, Vol. 66, p. 185-193 (resumo em Inglês).

Leal Gomes, 2006. Análise paragenética das transições de estado e paroxismos evolutivos observados em sistemas pegmatíticos diversificados – Uso de indicadores estruturais, mineralógicos e geoquímicos expressos na Cintura Pegmatítica Centro-Ibérica. Análise paragenética das transições de estado e paroxismos evolutivos observados em sistemas pegmatíticos diversificados – Uso de indicadores estruturais, mineralógicos e geoquímicos expressos na Cintura pegmatítica Centro-Ibérica”. VII Cong. Nac. Geol. (J. Mirão & A. Balbino, eds.), Estremoz, p. 1169-1175.

Roda-Robles E., Pesquera, A., GIL-CRESPO, P.P., VIEIRA, R., Lima, A., Garate-Olave, I., Martins, T., J. Torres-Ruiz, J., 2016. Geology and mineralogy of Li mineralization in the Central Iberian Zone (Spain and Portugal). Mineralogical Magazine, 2016, Vol. 80(1), p. 103–126.

11. CONCLUSÕES

O lítio é o elemento metálico mais leve que se conhece e ocorre na natureza fazendo parte de diversas espécies minerais, sendo as mais comuns a espodumena, a lepidolite, a petalite, a amblygonite-montebrazite e a trifilite-litiofilite. Estes minerais estão geralmente associados a estruturas filonianas aplitopegmatíticas ou hidrotermais que se formam nos estágios finais de consolidação de magmas graníticos.

Desde a década de 1990 o Serviço Geológico nacional foi dando prioridade crescente às atividades de inventariação e de investigação mineral e caracterização tecnológica das ocorrências de minerais de lítio e de forma mais intensiva nos últimos 15 anos, procurando antecipar o aproveitamento estratégico desse tipo de minérios:

- Numa primeira fase, até ao ano 2000 e aproveitando a oportunidade de divulgar resultados de projetos internos de prospeção que decorriam nas regiões da Guarda – Seixo Amarelo/Gonçalo e de Barroso Alvão, foi publicada uma importante coletânea desses trabalhos num tomo especial da revista Estudo, Notas e Trabalhos; já nessa altura, embora ainda muito marcada pela utilização dos minérios de lítio apenas para o mercado interno da cerâmica, foram dados os primeiros passos para o demonstrar a importância de uma etapa tecnológica para beneficiação dos minérios de lítio conducente à produção de concentrados, como estratégia nacional para o aproveitamento integral desse importante recurso; esta estratégia foi na altura enquadrada dentro do então chamado “paradigma tecnológico”, em contraponto ao “paradigma do abastecimento” que até então norteava a definição de objetivos dos projetos públicos, no sentido de que os recursos primários devem ser explorados potenciando de forma maximizada todas as suas mais valias; mesmo para a indústria cerâmica reclamava-se a importância dessa etapa tecnológica como forma de oferecer ao mercado misturas quartzo-feldspáticas com teor de lítio de controlado, como forma de valorização do poder fundente dessas misturas para diminuir os consumos energéticos no processo cerâmico;
- Posteriormente, já em pleno advento do reconhecimento da importância dos compostos de lítio em aplicações tecnológicas mais avançadas, em 2011 o LNEG, a DGEG e a ADI, no âmbito do programa Ibero-Americano de desenvolvimento CYTED (IBEROEKA), promoveram a realização de um importante encontro em volta do tema “Valorização dos Pegmatitos Litíferos”, ao qual acorreram todos os grupos nacionais que investigam sobre os temas do Lítio e contou com a presença de especialistas estrangeiros, brasileiros, espanhóis e argentinos;
- Ambas as publicações ficaram a marcar a evolução do conhecimento geológico, mineiro e tecnológico do potencial litífero em Portugal e, por certo, terão contribuído de forma indelével para o crescimento do investimento em prospeção e pesquisa desse recurso, captando interesses internacionais, como se está a assistir no momento em que este relatório é apresentado publicamente.

Em termos metalogenéticos, a região norte e centro de Portugal enquadra-se na Província tungsteno-estanífera do NW da Península Ibérica mundialmente conhecida, caracterizada pela ocorrência de estruturas aplitopegmatíticas e hidrotermais que localmente se apresentam enriquecidas em minerais daqueles metais, bem como em minerais de lítio. Estas ocorrências estão geneticamente associadas a intrusões graníticas sin/tardi-tectónicas relativamente à terceira fase de deformação varisca, com idades compreendidas entre os 320 e os 290 milhões de anos.

Estão descritas 9 regiões com ocorrência de mineralizações de lítio em Portugal. Distribuem-se desde Caminha, no Alto Minho, até Idanha-a-Nova, na Beira Baixa e por esta ordem são apresentadas no presente relatório, pelo que essa ordenação não reflete qualquer hierarquia entre elas:

- Serra de Arga
- Barroso – Alvão
- Seixoso – Vieiros
- Almendra
- Barca de Alva – Escalhão
- Massueime
- Guarda (incluindo Seixo Amarelo – Gonçalo, Gouveia, Sabugal, Bendada e Mangualde)
- Argemela
- Segura

As estruturas mineralizadas estão encaixadas em rochas graníticas, como é o caso dos campos filonianos na região da Guarda, ou em rochas metassedimentares de idade Neoproterozoico a Silúrico para os restantes casos, embora em alguns se verifiquem ambas as situações (Serra de Arga, Argemela e Massueime). De um modo geral correspondem a:

- Estruturas aplitopegmatíticas tabulares, dispostas de modo sub-horizontal (soleiras) ou subvertical (diques);
- Em algumas situações particulares, as estruturas mineralizadas correspondem a filões quartzosos de natureza hidrotermal, caso de Argemela, ou de transição entre pegmatítica e hidrotermal, caso de Massueime;
- A espessura é muito variável, desde alguns centímetros a mais de uma dezena de metros, mas, em geral, rondando 1 metro;
- A extensão dos afloramentos destas estruturas é também muito variável, desde algumas dezenas de metros até mais de 1 km;
- A orientação destas estruturas é variável de região para região e mesmo dentro do mesmo campo filoniano, onde é comum uma distribuição local sobre a forma de enxames de filões; o contacto com as rochas encaixantes é geralmente brusco, com uma orla de metassomatismo de contacto muito reduzida, centimétrica a decimétrica.

Em termos metalogenéticos, as estruturas mineralizadas correspondem maioritariamente a pegmatitos com elementos da família LCT (Li, Cs, Ta), subtipos espodumena, petalite e lepidolite:

- As paragénese são variáveis de região para região e mesmo ao nível de cada um dos campos filonianos considerados:
 - de um modo muito genérico, os minerais principais correspondem a quartzo, ortoclase, albite, moscovite, biotite e minerais de lítio (espodumena, petalite, ambligonite e lepidolite);
 - também de modo muito genérico, como minerais acessórios conta-se a turmalina, berilo, granada, columbite-tantalite, cassiterite, entre outros, incluindo minerais de lítio quando não pertencentes à paragénese principal;
- Frequentemente os aplitopegmatitos apresentam-se zonados, sendo possível distinguir bandas em que a fácies aplítica ou a pegmatítica é predominante e também zonamentos ao nível da concentração dos minerais de lítio.

Quanto a recursos conhecidos nos diversos campos filonianos os dados existentes são escassos:

- Para a região de Barroso – Alvão são apresentadas 14 milhões de toneladas de minério litinífero com um teor médio de 1% Li_2O (correspondentes ao somatório de diversas estruturas aplitopegmatíticas), que podem ser integrados na categoria de Recursos Minerais Inferidos;
- Para o campo aplitopegmatítico de Seixo Amarelo – Gonçalo, na região da Guarda, foram estimadas 1,4 milhões de toneladas com teor médio de 0,42 % Li_2O classificáveis como Recursos Medidos;
- Para a região de Argemela, com um Recurso INFERIDO (parte superior do jazigo) de 20,1 milhões de toneladas com 0,4% Li_2O , estima-se, no entanto, a existência para todo o jazigo de mais de 200 milhões de toneladas de minério com teor de 0,4% Li_2O para as quais não existem ainda dados completos que as permitam classificar seguramente na categoria de Recurso Mineral.

Importa salientar que os teores apontados se referem a diversos tipos de minérios cujas especificidades próprias de cada um condicionam a rentabilidade de eventuais aproveitamentos para a produção de lítio.

Capítulo V

ATIVIDADES ECONÓMICAS DE REVELAÇÃO E APROVEITAMENTO

Compilado e organizado por

DGEG - março 2017

Correia Gomes

Vitor Duque

Martins Nunes



Em Portugal o investimento mineiro em prospeção, pesquisa e exploração de pegmatitos graníticos tem tido como objetivo principal a produção de quartzo, feldspato e suplementarmente o lítio. A ocorrência comprovada de petalite, espodumena, lepidolite e fosfatos de lítio, tem permitido encarar esses minerais como materiais cerâmicos como mais-valia para a produção de pastas cerâmicas, uma vez que o ponto de fusão se torna mais baixo na presença de uma percentagem de lítio, baixando o consumo energético.

As produções declaradas de feldspatos com lítio pelos concessionários são relativamente baixas, traduzindo-se em exploração associada na ordem das 20.000 toneladas por ano, de um conjunto de cinco empresas (FELMICA - Minerais Industriais, S.A., SOCIEDADE MINEIRA CAROLINOS, LDA., PEGMATÍTICA - Sociedade Mineira de Pegmatites, Lda., José Aldeia Lagoa & Filhos, S.A., Imerys Ceramics Portugal, S.A.)

A exploração e prospeção de recursos pegmatíticos em território português também deverão atender à ocorrência de quantidades importantes de metais, para além do lítio, designadamente, tântalo, nióbio e estanho em pegmatitos com reservas de materiais cerâmicos, sob a perspetiva de um aproveitamento integral do depósito e combinado de diversas substâncias.

Dos quadros que se apresentam neste capítulo consta a seguinte informação:

- a) Quadro 5.1 - processos iniciados na DGEG (em 2016, 2015 e antes de 2015), tendo ou não como objeto o lítio como substância mineral principal;
 - b) Quadro 5.2 - áreas potenciais definidas pela DGEG com base na *localização dos processos* DGEG;
 - c) Quadro 5.3 - distribuição dos pedidos de prospeção e pesquisa nas áreas potenciais dos processos DGEG, sendo ou não os minerais de lítio predominantes;
 - d) Quadro 5.4 - distribuição dos pedidos de concessão nas áreas potenciais dos processos DGEG;
 - e) Quadro 5.5 - distribuição dos contratos de prospeção e pesquisa nas áreas potenciais dos processos DGEG;
 - f) Quadro 5.6 - distribuição dos contratos de concessão nas áreas potenciais dos processos DGEG;
-

- g) Quadro 5.7 - condicionantes de ordenamento nas áreas potenciais dos processos DGEG;
- h) Quadro 5.8 - pedidos de prospeção e pesquisa (lítio como substância mineral principal)

Da informação disponível na DGEG, a partir de relatórios técnicos de cinco empresas, com direitos atribuídos de prospeção e pesquisa e de exploração, é possível estimar em recursos mineralizados de lítio, um total de (milhões de toneladas) 29,74 Mt@0,81% Li₂O, sendo 16,80 Mt@0,88% Li₂O classificados como inferidos, 12,30 Mt@0,68% Li₂O como indicados e 0,64 Mt@1,50 % Li₂O como medidos.

Neste contexto, apresenta-se o quadro seguinte com o movimento de processos na DGEG:

Total de Processos na DGEG (*)					Processos Considerando o Lítio como Substância Mineral Principal		
	Antes de 2015	2015	2016	Total	N.º	Investimento (m €)	Área (km ²)
Pedidos de Prospeção e Pesquisa	7	2	37	46	30	3818,9	2501,55
Pedidos de Concessão	0	0	13	13	1	Informação incompleta.	4,037
Contratos de Prospeção e Pesquisa	4	0	0	4	1	1242,5	14,968
Contratos de Concessão	28			28	1	Informação incompleta	5,337
Totais	39	2	50	91	33	5061,4	2525,892

Quadro 5.1. - Movimento dos processos na DGEG

(*) Tendo ou não o lítio como substância principal

O interesse pelo lítio revelou-se em 2016 com a entrada de 37 novos pedidos de prospeção e pesquisa.

Dos 46 requerimentos para a atividade de prospeção e pesquisa (tendo ou não como objeto o lítio como substância mineral), 30 visam a sua revelação como substância mineral principal, propondo-se um investimento de 3,8 milhões de euros para o período inicial de contrato (2 a 3 anos) e para uma área total de cerca de 2500 km².

A DGEG procedeu ao mapeamento das localizações das áreas (quadro 5.2. e mapa 5.1.) correspondentes aos pedidos e contratos (de prospeção e pesquisa e de concessão). Tendo como referência a informação geológica disponibilizada nos diferentes pedidos e contratos para o lítio, foi possível definir 11 "campos", que configuram a realidade das expectativas das empresas requerentes de direitos de prospeção e pesquisa e da atividade de revelação e aproveitamento de minerais de lítio, associados ou não a outros (p.ex, a quartzo e feldspato).

1	Arga
2	Sepeda – Barroso-Alvão
3	Covas do Barroso – Barroso-Alvão
4	Murça
5	Almendra
6	Penedono
7	Amarante – Seixoso-Vieiros
8	Massueime
9	Gonçalo – Guarda-Mangualde
10	Segura
11	Portalegre

Quadro 5.2. - Áreas correspondentes a Pedidos e Contratos



Mapa 5.1. – Localização de áreas correspondentes e Pedidos e Contratos

	Anterior a 2015	2015	2016	Minerais Preponderantes		Objeto			Investimento (m€)	Área (km ²)
				Fonte: UP	Fonte: Empresas	Lítio	Outros Metais	Quartzo, Feldspato com Lítio		
Pedidos de Prospecção e Pesquisa	7	2	37			31	11	4		
1 - Arga	3	0	4	Petalite, Lepidolite, Espodumena, Montebrasite	Petalite, Espodumena, Amblygonite- Montebrasite, Lepidolite	3	3	1	792,40	950,375
2 - Sepeda	0	0	3	Petalite, Lepidolite, Espodumena, Montebrasite	Petalite, Espodumena, Amblygonite- Montebrasite, Lepidolite	2		1	150,00	123,086
3 - Covas do Barroso	0	0	8	Petalite, Lepidolite, Espodumena, Montebrasite	Petalite, Espodumena, Amblygonite- Montebrasite, Lepidolite	8			968,00	792,586
4 - Murça	0	1	1			1	1			81,949
5 - Almendra	0	1	7	Petalite, Lepidolite, Espodumena, Montebrasite	Petalite, Espodumena, Amblygonite- Montebrasite, Lepidolite	7		1	419,00	191,837
6 - Penedono	0	0	4	Triphylite, Ferrisicklerite			4		204,50	867,899
7 - Amarante	1	0	2	Petalite, Espodumena, Montebrasite	Petalite e Lepidolite. Diversos minerais de alteração de Li (Eucryptite, Cookeite etc)	2	1		478,35	95,696
8 - Massueime	0	0	1	Montebrasite	Lepidolite, Amblygonite, Eucryptite	1		1	60,00	121,711
9 Gonçalo	0	0	5	Lepidolite, Amblygonite, Zinnwaldite, Ferrisicklerite	Lepidolite	5			685,00	416,401
10 - Segura	0	0	1	Lepidolite, Montebrasite	Lepidolite, Montebrasite	1			60,00	132,415
11 - Portalegre	2	0	0				2			387,500
Outros locais	0	0	1	Montebrasite Lepidolite		1			90,00	8,566

Quadro 5.3. – Distribuição dos Pedidos de Prospecção e Pesquisa nas áreas definidas pela DGEG

	Anterior a 2015	2015	2016	Minerais Preponderantes		Objeto			Área (km²)
				Fonte: UP	Fonte: Empresas	Lítio	Outros Metais	Quartzo, Feldspato com Lítio	
Pedidos de Concessão	0	0	13			10	0	3	
1 - Arga			5	Petalite, Lepidolite, Espodumena, Montebrasite	Petalite, Espodumena, Amblygonite-Montbrasite, Lepidolite	5			18,753
3 - Covas do Barroso			4	Petalite, Lepidolite, Espodumena, Montebrasite	Petalite, Espodumena, Amblygonite-Montbrasite, Lepidolite	4			9,470
9 Gonçalo			3	Lepidolite, Amblygonite, Zinnwaldite, Ferrisicklerite	Lepidolite			3	3,174
Outros locais			1	Montebrasite Lepidolite		1			4,037

Quadro 5.4. – Distribuição dos Pedidos de Concessão nas áreas potenciais dos processos DGEG

	Anterior a 2015	2015	2016	Minerais Preponderantes		Objeto			Área (km²)
				Fonte: UP	Fonte: Empresas	Lítio	Outros Metais	Quartzo, Feldspato com Lítio	
Contratos de Prospecção e Pesquisa	5	0	0			1	2	2	
2 - Sepeda	1			Petalite, Lepidolite, Espodumena, Montebrasite	Petalite, Espodumena, Lepidolite, Cookeite, Eucryptite	1			14,968
4 - Murça	1			Metalicos (não está direcionado para o lítio)			1		1,291
7 - Amarante	1			Petalite, Espodumena, Montebrasite	Petalite e lepidolite Diversos minerais de alteração de Li (Eucryptite, Cookeite etc)			1	112,935
Outros locais	2						1	1	29,790

Quadro 5.5. – Distribuição dos Contratos de Prospecção e Pesquisa nas áreas potenciais dos processos DGEG

	Anterior a 2015	2015	2016	Minerais Preponderantes	Objeto			Área (km²)
				Substâncias concessionadas	Lítio	Outros Metais	Quartzo, Feldspato com Lítio	
Contratos de Concessão	28	0	0		0	3	25	
1 - Arga	5			Quartzo e Feldspato com (Petalite e Espodumena)			5	2,023
3 - Covas do Barroso	2			Quartzo e Feldspato com (Espodumena, lepidolite)			2	8,462
5 - Almendra	1						1	1,169
6 - Penedono	3					3		44,602
7 - Amarante	2			Quartzo e Feldspato			2	0,251
8 - Massueime	1			Quartzo			1	2,236
9 - Gonçalo	14			Quartzo e Feldspato com (Lepidolite)			14	18,051

Quadro 5.6. – Distribuição dos Contratos de Concessão nas áreas potenciais dos processos DGEG

As condicionantes de ordenamento estão mencionadas como servidões administrativas por cada campo e que poderão condicionar o início e/ou decurso dos projetos de prospeção e pesquisa e/ou as futuras, eventuais, explorações (quadro 5.7.).

Áreas Potenciais		Condicionantes Ordenamento
1	Arga	PDMs; Sítio de importância comunitária (Serra d’Arga).
2	Sepeda	PDMs
3	Covas do Barroso	PDMs; Sistema Electroprodutor do Tâmega ; Sítio de importância comunitária (Alvão/Marão);
4	Murça	PDMs; Zona Especial de Proteção (Região Demarcada do Rio Douro)
5	Almendra	PDMs; Sítio de importância comunitária (Douro Internacional); Zona Especial de Proteção (Região Demarcada Rio Douro); PIOTADV - Alto Douro Vinhateiro
6	Penedono	PDMs; Zona Especial de Proteção (Região Demarcada do Rio Douro)
7	Amarante	PDMs; Sítio de importância comunitária (Alvão/Marão)
8	Massueime	PDMs
9	Gonçalo	PDMs; Área Protegida (Serra da Estrela)
10	Segura	PDMs; Zona Especial de Proteção (Tejo Internacional, Erges e Ponsul); Área Protegida (Tejo Internacional)
11	Portalegre	PDMs; Sítio de importância comunitária (São Mamede); Área Protegida (Serra de São Mamede)

Quadro 5.7. – Condicionantes de ordenamento nas áreas potenciais dos processos DGEG

O gráfico 5.1., baseado no quadro 5.8., representa a distribuição dos investimentos (m€), n.º de pedidosx100 e área (km²) requerida por campo litinífero.

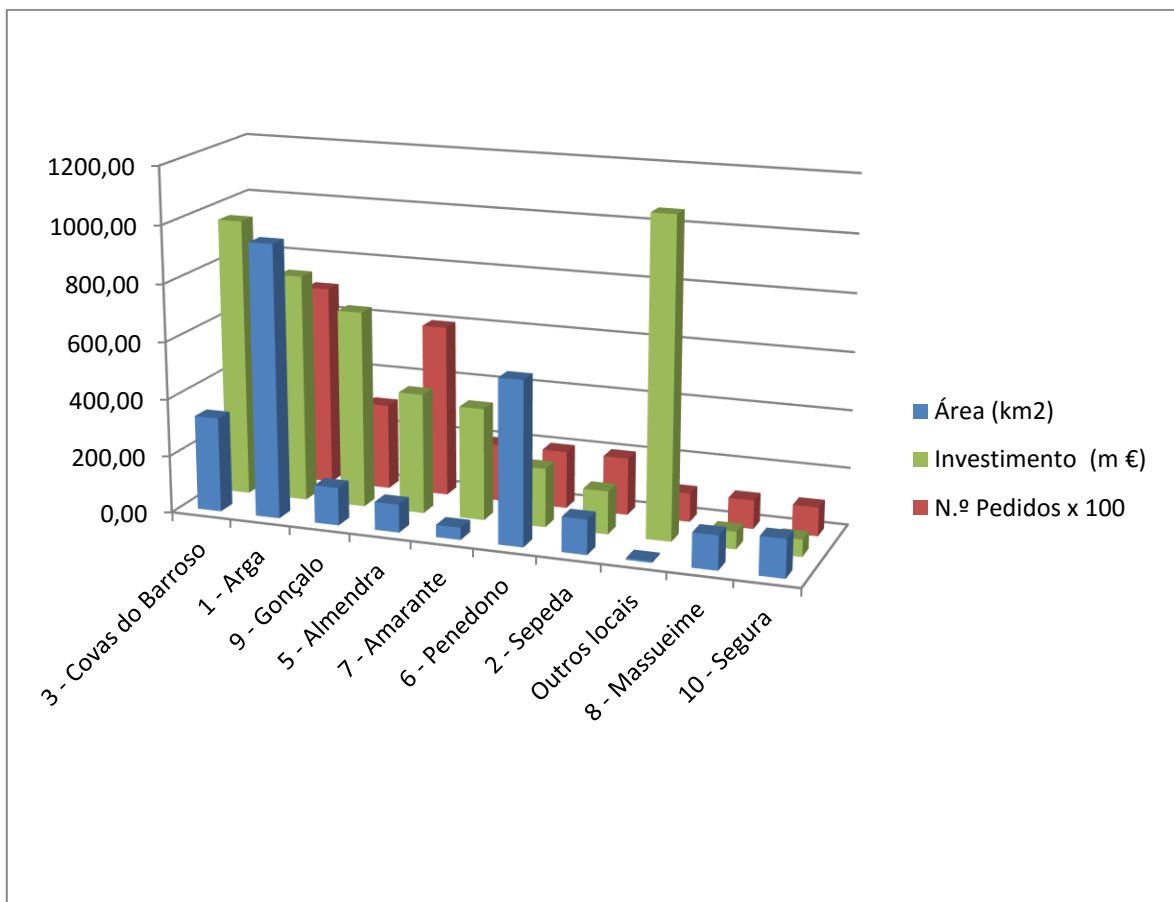


Gráfico 5.1. – Distribuição dos investimentos (m€)

O quadro 5.8, através do rácio (investimento €/n.º de pedidos/área (km²)), reflete o interesse predominante das empresas requerentes pelas cinco áreas assinaladas a verde (3 - Covas do Barroso; 1 – Arga; 9 – Gonçalo; 5 – Almendra; 7 – Amaranate). Para 23 pedidos apresentados para estas áreas, o valor do rácio é de 91,15 €, superior em 40% à média verificada para os minerais metálicos (65,42 €) na DSMP/DGEG e em 80% à média do rácio (50,89 €) para o total de 30 pedidos.

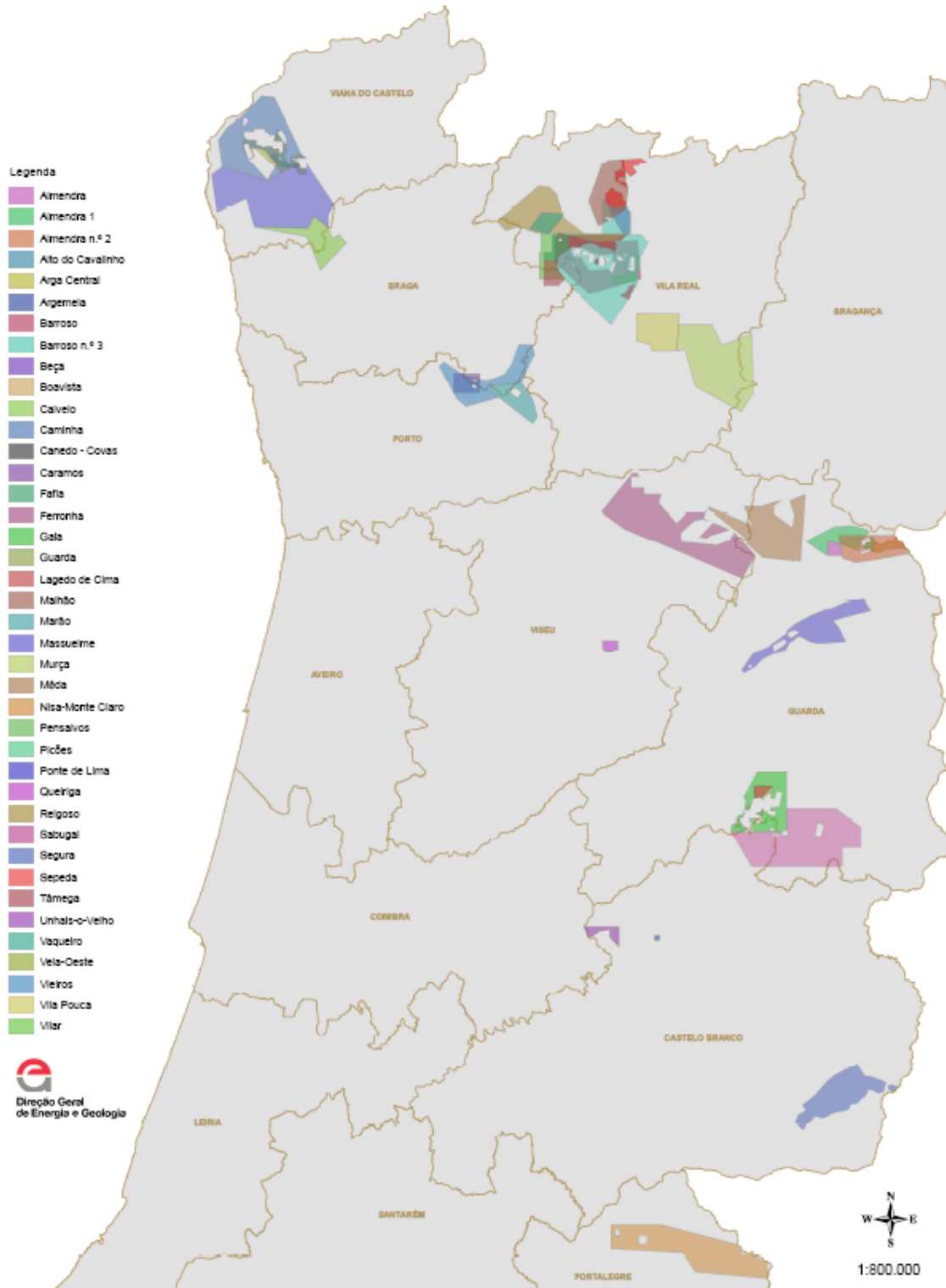
O conjunto de 23 pedidos e o valor de investimento inerente (3254,40 m€) correspondem, respetivamente, a 77% (n.º de pedidos) e 85% (investimento) dos totais.

Pedidos de Prospeção e Pesquisa (lítio como substância mineral principal)				
Localização (Mapa DGEG)	Minerais de Lítio	Área (km²)	Investimento (m €)	N.º Pedidos x 100
3 - Covas do Barroso	Petalite, Lepidolite, Espodumena, Montebrasite, Cookeite, Eucryptite	330,55	968,00	500
1 - Arga	Petalite, Lepidolite, Espodumena, Ambligonite- Montbrasite	950,38	792,40	700
9 - Gonçalo	Lepidolite, Amblygonite, Zinnwaldite, Ferrisicklerite	131,58	685,00	300
5 - Almendra	Petalite, Espodumena, Lepidolite, Ambligonite- Montbrasite	97,50	419,00	600
7 - Amarante	Petalite, Espodumena, Montebrasite, Lepidolite, Eucryptite, Cookeite	42,35	390,00	200
Sub-Totais		1552,35	3254,40	2300
6 - Penedono	n.i.	568,30	204,50	200
2 - Sepeda	Petalite, Lepidolite, Espodumena, Montebrasite, Cookeite, Eucryptite	121,065	150,00	200
Outros Locais (Argemela)	Montebrasite, Lepidolite	5,90	1100,00	100
8 - Massueime	Montebrasite, Lepidolite, Ambligonite, Eucryptite	118,853	60,00	100
10 - Segura	Lepidolite, Montebrasite	132,415	60,00	100
Totais		2501,55	3818,90	3000
Rácio: Investimento €/N.ºde pedidos/Área (km²)				
Valor médio (€) para 23 pedidos de prospeção e pesquisa (Li como substância mineral principal) em 5 campos, com investimento 300 < I (€) < 1000				91,15
Valor médio (€) para 30 pedidos de prospeção e pesquisa (Li como substância mineral principal) no total de 10 campos, com investimento 60 ≤ I (€) < 1000				50,89
Valor médio (€) verificado na DSMP para pedidos prospeção pesquisa de depósitos minerais metálicos				65,42

Quadro 5.8. – Pedidos de Prospeção e Pesquisa (lítio como substância mineral principal)

Acrescenta-se também um mapa 5.2., com a distribuição dos pedidos e contratos de prospeção e pesquisa elaborado pelos Serviços (DGEG-SIG).

Pedidos e Contratos de Prospecção e Pesquisa de Lítio



Mapa 5.2. – Localização dos Pedidos e Contratos de Prospecção e Pesquisa

Capítulo VI

VIABILIDADE TÉCNICA DA PRODUÇÃO DE CONCENTRADOS DE MINERAIS DE LÍTIO

Compilado e organizado por
LNEG - março 2017
M. Machado Leite



1 - INTRODUÇÃO

O elemento lítio (Gr. Lithos, stone) é o mais leve dos metais, com uma densidade cerca de metade da água. Não ocorre livre na natureza devido à sua alta reatividade. Na forma combinada encontra-se como componente menor em quase todas as rochas ígneas, é também um componente de muitas salmouras naturais (em valores de 150 a 3000 ppm) e de águas naturais minerais, todavia em concentrações muito baixas (inferior a 10 ppm em águas do património hidrológico nacional).

Os minerais de lítio mais importantes são a **Espodumena** - $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$, a **Lepidolite** - $\text{K}_2\text{Li}_3\text{Al}_4\text{Si}_7\text{O}_{21}(\text{OH},\text{F})_3$, a **Petalite** - $\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$, a **Amblygonite** - $(\text{Li},\text{Na})\text{Al}(\text{F},\text{OH})\text{PO}_4$ (neste mineral o lítio é substituído pelo sódio, sendo a **Natroamblygonite** o membro rico em sódio, mas também o flúor e o hidroxilo substituem-se mutuamente, sendo a **Montebrasite** o elemento extremo pobre em flúor) e a **Zinnwaldite** - $\text{KLiFe}^{2+}\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}\text{F}_{1.5}(\text{OH})_{0.5}$. Em tabela apresentada em páginas seguintes apresentam-se os teores em Li de cada um destes minerais.

Como o lítio tem o mais alto calor específico de qualquer elemento sólido é usado em aplicações que utilizem transferências de calor. Como metal tem sido aplicado como agente ligante na síntese de compostos orgânicos e tem aplicações nucleares. O Lítio é usado em vidros e cerâmicas especiais de elevada resistência ao choque. O cloreto e o brometo de Lítio são usados no fabrico de aparelhos de ar condicionado e em sistemas de secagem industriais. Outros compostos de Lítio são usados em baterias e lubrificantes.

O Lítio é considerado um metal do futuro devido às suas aplicações de elevada tecnologia, nomeadamente espaciais, eletrónicas e químicas. Vários autores reportam a distribuição dos consumos mundiais de lítio tal como referido na tabela seguinte [1]:

	Roskill, 2010	Roskill, 2012	USGS, 2013	USGS, 2014
Ceramics and glass	31%	30%	30%	35%
Batteries	23%	22%	22%	29%
Greases	9%	11%	11%	9%
Aluminum	6%	2%	1%	1%
Air treatment	6%	4%	4%	5%
Others	25%	31%	32%	21%

A produção mundial de lítio em 2014 e 2015 é referida em relatórios do USGS como tendo atingidos os valores de 31.000 t e 32.500 t, respetivamente.

O lítio é comercializado sob a forma de concentrado dos vários minerais de lítio, como de composto químico de lítio, normalmente carbonado, hidróxido ou cloreto, ou na forma metálica. Qualquer um destes mercados coloca exigências sobre o controlo de qualidade do teor em lítio dos produtos finais.

Independentemente do mercado que se pretende abastecer, a produção de concentrados, nas chamadas instalações de processamento mineral, é sempre o primeiro passo da cadeia de valorização tecnológica. Esse processamento tem por objetivo fundamental promover a concentração dos minerais de lítio num produto final chamado “concentrado”, expurgando outros minerais presentes. Este passo tecnológico é concretizado utilizando técnicas do processamento mineral (“mineral processing”), nomeadamente fragmentação (britagem e moagem) para promover a individualização dos minerais em partículas libertas e posteriores separações no domínio dos processos físicos para produção desses concentrados.

O mercado da cerâmica utiliza diretamente os concentrados minerais de lítio, que se apresentam como “matéria-prima” para essa indústria, dado ser conhecido que a adição de lítio às pastas cerâmicas e do vidro permite baixar os pontos de fusão, reduz o coeficiente de expansão térmica, baixa a viscosidade das pastas e permite eliminar o uso de outros produtos químicos indesejáveis. Estas vantagens conduzem à aplicação destas matérias-primas na vitrocerâmica, nas “fritas”, em recipientes para resistir a altas temperaturas, para além de outros usos em cerâmica onde a adição de lítio é usada para permitir maiores velocidades de arrefecimento nos fornos industriais e, portanto, maiores produtividades [4] e [6]. A utilização de minerais de lítio neste contexto não é despicienda, porquanto a redução das temperaturas de transformação cerâmica em cerca de 180-200°C traduz-se numa mais-valia importante, pela via da redução dos custos energéticos.

Este mercado trabalha com matérias-primas que não exigem teores de lítio muito elevados, mas valoriza como “qualidade” a receção continuada no tempo de materiais com teor constante. Genericamente, pode afirmar-se que há colocação para produtos que vão desde o simples “high Li content feldspar” (normalmente minérios de petalite, de teor em Lítio $< 0,23\% \text{Li}$ ($=0,5\% \text{Li}_2\text{O}$)), até aos “glass-grade spodumene” ($2,32\% \text{Li}$ ($=5\% \text{Li}_2\text{O}$)) e “high-grade spodumene” ($3,48\% \text{Li}$ ($=7,5\% \text{Li}_2\text{O}$)).

Quando não existe uma unidade de processamento mineral, ou esse processamento é muito insipiente, o único controlo de qualidade praticado é o que resulta da exploração seletiva das soleiras pegmatíticas, procurando minimizar a diluição com rocha encaixante. Até ao fim do séc. XX, o sector da cerâmica em Portugal foi abastecido neste contexto de baixo nível tecnológico e deficiente controlo de qualidade dos produtos disponibilizados no mercado, situação que não permitiu um adequado desenvolvimento da indústria mineral associada.

O encaminhamento dos produtos da exploração de minérios de lítio para a fiação da produção industrial dos compostos de lítio e do próprio metal é, por certo, uma maior mais-valia a que a economia nacional deve estar atenta, evitando-se que grandes exploração de produtos feldspáticos para a indústria cerâmica sejam realizadas sobre jazigos pegmatíticos especializados em metais raros,

como é o caso do lítio, situações em que a produção desses fundentes deve ser obtida como subproduto da valorização dos minerais portadores desses elementos raros.

A obtenção metalúrgica dos vários compostos de lítio e do metal exige partir de concentrados de teores mais elevados, como forma de reduzir os custos do processamento metalúrgico, dado que os custos energéticos são proporcionais à massa mineral portadora de lítio.

A partir deste momento faz sentido desenvolver uma reflexão sobre os conteúdos em lítio dos vários minerais portadores desse elemento, bem como dos respetivos teores médios nos minérios exploráveis, isto é, os teores médios de lítio nos jazigos que tornam a exploração economicamente viável, contexto que pode ser apreciado na tabela seguinte.

	Teor nos minerais	Teor Médio Li exploráveis (limiares)	Teor do Mineral no minério explorável	Teor Médio Li Concentrados	Teor do Mineral nos concentrados
Espodumena	3,73 %Li	0,2 a 1,5 %Li (0,8 %Li)	21%	3,25 %Li	87%
Lepidolite	3,58 %Li	0,23 a 2,0 %Li (1 %Li)	28%	1,5 a 2,5 %Li (2,5 %Li)	70%
Ambligonite	3,44 %Li	0,12 a 1 %Li (0,8 %Li)	23%	2,6 - 3,43 %Li (3 %Li)	87%
Montebrasite	4,74 %Li		17%		63%
Petalite	2,09 %Li	0,37 a 1,1 %Li (0,7 %Li)	33%	1,4 %Li	67%
Zinnwaldite	1,59 %Li	0,32 %Li	20%	0,96 a 1,3 %Li (1,2 %Li)	82%

Nota – valor médio entre parêntesis

- Na primeira coluna à esquerda são referenciados os minerais de lítio mais comuns na natureza e que ocorrem em vários jazigos Portugueses;
- A primeira constatação é que o lítio ocorre nos seus minerais em teores entre 1,6 e 3,7 %Li;
- Como os teores limiares de explorabilidade (abaixo dos quais a economicidade da exploração deixará de compensar os custos do processamento minero-metalúrgico) estão no intervalo [0,2 – 0,8] %Li, tal significa que a abundância dos minerais portadores de lítio nos minérios exploráveis se situa num intervalo [15% - 30%] dos respetivos minerais;
- Deve, pois, tomar-se em consideração que, do ponto de vista do processamento, os minérios de lítio apresentam uma relação minério/ganga muito favorável, quando comparada com a dos minérios metálicos tradicionais, estes em geral significativamente mais pobres.

Sabendo-se que o tratamento para extração do lítio dos seus minerais tem custos significativos (associados a tratamentos envolvendo temperaturas na ordem 800 °C e dissolução química), a metalurgia exige ser alimentada por concentrados de lítio de alto teor, o que implica que no processamento mineral sejam promovidas concentrações na ordem de grandeza média de 3 a 4 vezes (rácio entre a coluna 6 e a coluna 4), podendo chegar a 10 vezes quando partindo de minérios mais pobres.

O processamento tecnológico de minérios de lítio usados para promover o enriquecimento desejado, que nos parágrafos seguintes serão melhor explanados a propósito do processamento de minérios nacionais, assenta nos seguintes conceitos básicos:

1. Estudos Mineralógicos e Texturais – para caracterização das texturas em que ocorrem os minerais de lítio e, sobretudo, a relação geométrica da disseminação desses minerais no conjunto de todos os minerais da paragénese, estudos que serão decisivos para definição do(s) calibre(s) de libertação a partir dos quais é possível promover separações que conduzam aos enriquecimentos desejados;
2. Fragmentações – etapa destinada a promover a libertação dos minerais de lítio face aos minerais das gangas, desejavelmente com a menor produção possível de finos indesejáveis; do sucesso desta etapa dependerá a eficiência do processo seguinte de obtenção dos concentrados; em casos particulares, a que se deve estar atento, fragmentações discriminatórias podem viabilizar classificações seletivas que poderão melhorar a economicidade dos tratamentos;
3. Separações – que, utilizando propriedades que distinguem os minerais de lítio dos das gangas associadas, operaram separações físicas, nomeadamente:
 - 3.1. Densidade - separações gravíticas por meios densos podem ser excepcionalmente bem-sucedidas em processos de pré-concentração e para recuperação de outros minerais densos úteis (cassiterite, columbo-tantalite e outros);
 - 3.2. Propriedades óticas dos minerais – podem ser usadas em modernos processos de Escolha Eletrónica (electronic sorting) para promover pré-concentrações em estágios precoces da fragmentação grosseira, com vantagens de economia de custos energéticos e de deposição de estéreis;
 - 3.3. Molhabilidade pela água – é usada em Flutuação por Espumas que é o processo tecnológico por excelência para produção de concentrados de minerais de lítio, permitindo seletividades e recuperações compatíveis com as exigências industriais;
 - 3.4. Permeabilidade magnética – permite a utilização da Separação Magnética, quer para a produção de concentrados (caso de algumas micas litiníferas), quer, sobretudo, para a eliminação de impurezas.

A flutuação de silicatos com coletores fisicamente adsorvidos à superfície dos minerais é definida pelo “pzc” dos minerais envolvidos (point of zero charge – valor do pH correspondente à atividade intermédia do ião H^+ que, por hidrólise, não produz carga elétrica na superfície dos silicatos). Utilizando coletores aniónicos a adsorção preferencial ocorre a pH superior ao do “pzc”. Os silicatos, porém, também respondem à flutuação com reagentes que são adsorvidos quimicamente na interface mineral/água. Estes reagentes, que são conhecidos por formarem compostos quelatos com iões metálicos na rede dos silicatos, mostraram ser os coletores mais promissores. Os sistemas silicato-

coletor, envolvendo adsorção química, incluem vários reagentes e minerais, entre eles o caso da adsorção do oleato na Espodumena [11].

As características superficiais e o comportamento em flutuação dos minerais silicatados são também fortemente afetados pela dissolução dos minerais. Para baixos valores de pH ocorre a hidrólise dos silicatos, libertando-se catiões da sua estrutura e causando a subida do pH. Como estes catiões mostram uma elevada afinidade para a adsorção na interface mineral/água, podem inverter o potencial zeta, alterando o comportamento à flutuação com reagentes fisicamente adsorventes. No caso de interações químicas entre coletor e catião, os iões metálicos dissolvidos podem interagir com o coletor em solução e precipitar como complexos metal-coletor [11].

D.W. Fuerstenau and K. Moon (AIME Annual Meeting Chicago 1981) verificaram que na flutuação da Espodumena, o “pzc” ocorre a pH 2,5 e com coletor oleato (aniónico) a recuperação na flutuação exhibe 2 picos, um a pH=4 e outro a pH=8, sendo este último mais favorável. O maior pico que ocorre a pH=8 parece ser devido a adsorção química do lado dos catiões que mantêm a cadeia silicatada junta. O outro pico a pH=4 parece atribuir-se à hidrólise do ião férrico dissolvido da rede cristalina e sendo sabido que as espodumenas do Barroso exibem teores de 0,3% Fe, é de admitir que a hidrólise do ferro pode intervir no processo de coleta destes tipos de minerais silicatados [11].

2 - EXPERIÊNCIA ACUMULADA EM PORTUGAL

A experiência acumulada em Portugal no estudo da valorização tecnológica dos vários minérios de lítio conduziu à definição de estratégias e cenários de processamento muito ajustadas ao que tem vindo a ser noticiado como práticas adotadas na exploração dos jazigos mundiais mais emblemáticos, destacando-se desde já as seguintes constatações preliminares com implicações na definição dessas estratégias:

- O desempenho da Flutuação por Espumas é sensível ao teor da alimentação – quanto mais pobre for o minério tal-qual (inferior a 0,5 %Li) mais baixos são os teores dos concentrados;
- Se a exploração se efetuar sobre soleiras ou filões possantes, um desmonte seletivo capaz de fornecer um tal-qual de teor superior a 0,5 %Li, permitirá viabilizar o sucesso da Flutuação por Espumas;
- A valorização de jazigos mais complexos que não permitem lavras seletivas e/ou minérios pobres, será (economicamente) facilitada por uma etapa de Pré-Concentração a calibres grosseiros (granulação), quando a esses calibres ocorrer uma considerável libertação de gangas (do pegmatito ou da rocha encaixante) que possam de imediato ser retiradas do processo, com as consequentes vantagens de redução de custos energéticos de fragmentação, diminuição da produção de calibres ultrafinos e dos custos de deposição de estéreis e ou tratamentos associados. Esta mesma etapa permitirá garantir o enriquecimento do teor médio que alimentará os estágios seguintes de Flutuação, contribuindo para melhorar

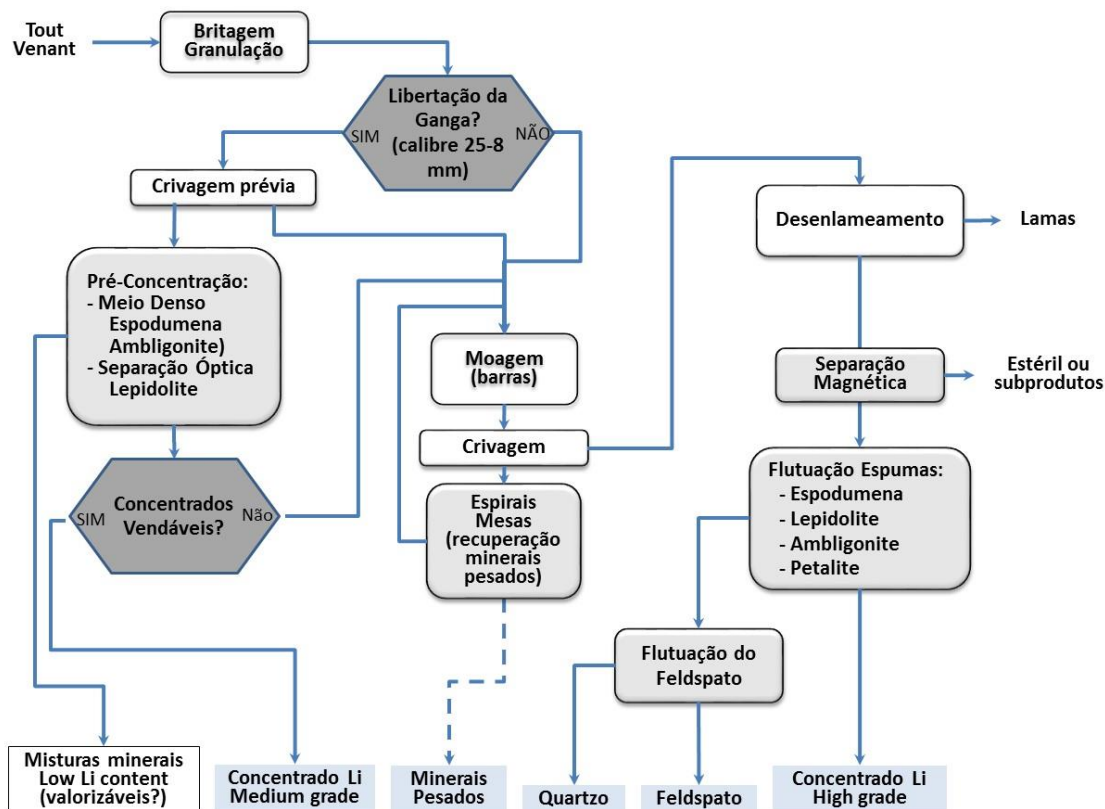
o seu desempenho, bem como gerar produtos intermédios, que poderão ser enriquecidos ou encaminhados para outras utilizações imediatas como subprodutos;

- A obtenção de concentrados de alto teor por Flutuação em Espumas (minerais de lítio acima de 80% dos constituintes minerais) exige moagem para até calibres da ordem de 300 – 150 μm ;
- Todavia, em algumas paragénese esse desiderato pode ter limitações que derivam da libertação insuficiente de oclusões micrométricas (em gamas $< 10 \mu\text{m}$) de outros minerais, como o quartzo e a albite, no interior de cristais maiores dos minerais de lítio, situação já observada em minerais como a espodumena e a lepidolite [7] em minérios portugueses;
- A viabilidade técnica da opção por um estágio de Pré-Concentração a calibres de granulação na gama 10-25 mm (como acima referido) estará sempre dependente das perdas em lítio associadas a partículas mistas que serão incorporadas no rejeito da operação; contudo, no caso dos minérios pegmatíticos, alguma disseminação de lítio nos rejeitos poderá não ser considerada uma perda efetiva, dado que esses produtos são valorizáveis como misturas cerâmica de quartzo+feldspato litinífero de qualidade (sucede por vezes que os impedimentos para esta valorização advêm da presença de outros elementos penalizantes do processos cerâmico, como é o caso do Fe contido em diferentes minerais).

Conclui-se, assim, que é cada vez mais frequente adotar-se uma estrutura de diagrama de processamento como descrita genericamente na figura da página seguinte:

- Britagem e Granulação;
- Pré-concentração realizada por Meio Denso ou Escolha Eletrónica;
- Utilização imediata dos pré-concentrados;
- ou Moagem para libertação dos minerais úteis, eventualmente acompanhada de recuperação de minerais pesados tecnológicos;
- Tratamento dos pré-concentrados por Flutuação após moagem para obtenção de concentrados de alto teor
- Separação Magnética para eliminação de penalizantes;
- Valorização dos rejeitados de Flutuação para obtenção de misturas cerâmicas;
- ou, no caso de minérios pegmatíticos, Flutuação para separação quartzo-feldspato para obtenção de produtos de elevada qualidade – feldspato cerâmico e farinha de sílica; quando economicamente possível, esta solução configurará um projeto de processamento mineral de resíduo quase-nulo, com valorização maximizada do recurso mineral primário.

DIAGRAMA GENÉRICO (conceptual)
PROCESSAMENTO MINERAL DE MINÉRIOS LITINÍFEROS



Adaptado de FAME - Flexible and Mobile Economic Processing Technologies¹ [7]

¹ FAME - Flexible and Mobile Economic Processing Technologies

Project that received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 641650



3 - ALGUNS CASOS DE ESTUDO EM PORTUGAL

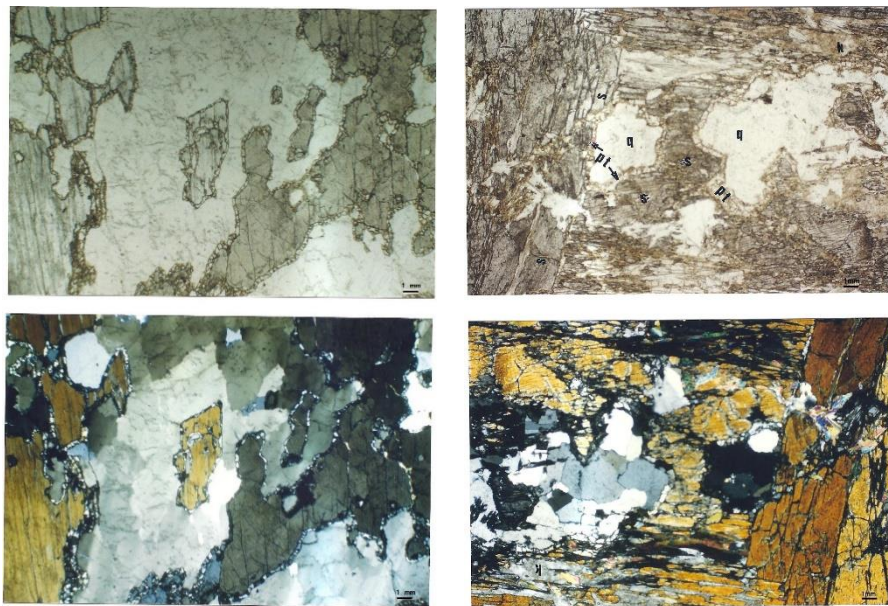
3.1 - Caso dos Minérios de Espodumena (Alto Barroso)

Nos anos 1998-2000 terão sido realizados em Portugal os primeiros estudos de processamento de minérios de espodumena, provenientes de um projeto de investigação geológica, geoquímica e de prospeção desenvolvido pelo então Instituto Geológico e Mineiro e a FCUP na região do Alto Barroso, Boticas, onde foram cartografadas e sondadas soleiras pegmatíticas mineralizadas nesse mineral.

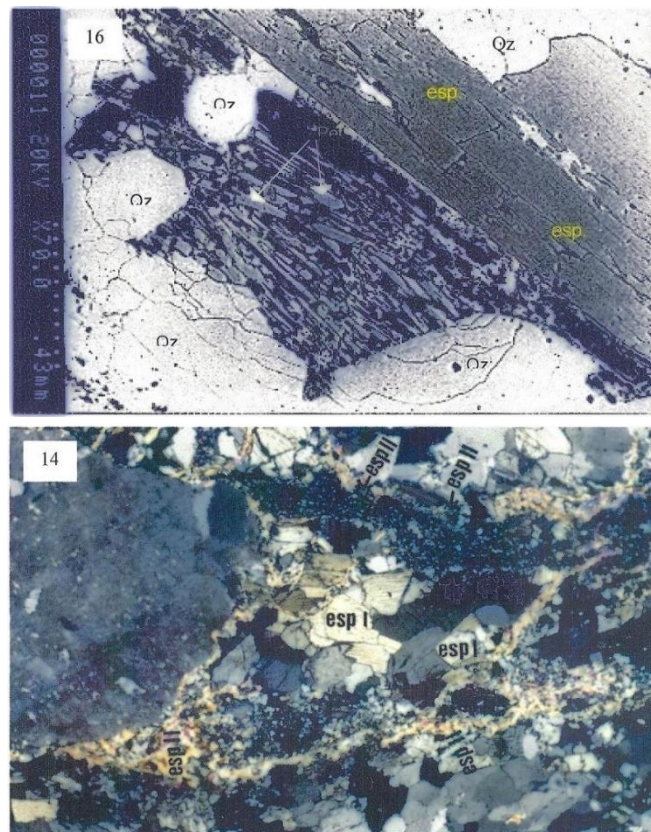
A descrição mineralógica dos aplitos refere constituição por quartzo microgranular e plagioclase de composição albítica, além de moscovite, com grãos a não ultrapassarem 2 mm sendo a albite em geral mais grosseira, raramente mineralizados em espodumena e outros minerais de lítio, enquanto as fases pegmatíticas francas estão mineralizadas em espodumena, sendo o quartzo, o feldspato potássico (microclina) e a albite em quantidades similares os minerais essenciais mas, enquanto os feldspatos podem aparecer facilmente em cristais centimétricos, tal é mais raro acontecer com o quartzo. A espodumena aparece essencialmente em duas dimensões correspondentes a duas gerações: a primeira, de dimensão superior a 0,5 mm até um máximo de 30 cm, tem carácter subédrico a euédrico; a segunda, de dimensão inferior a 0,5 mm está nitidamente associada à deformação, pois ocorre geralmente relacionada com pequenas zonas de cisalhamento [2]. Os autores do estudo mineralógico referem ocorrência de petalite e eucryptite e acessoriamente fosfatos da série ambligonmitemontebasite e outros. Nos 3 filões amostrados ocorrem os dois tipos de fácies: no filão Adagói a petalite é mais abundante que no filão de Veral, mas em ambos os casos parece ser posterior à espodumena; a primeira geração de espodumena no filão de Alijó ocorre sob calibres máximos ligeiramente menores que nos outros filões amostrados.



Aspecto macro textura da ocorrência de espodumena do Barroso



Aspetos da mineralização mostrando auréolas de petalite a rodear os cristais de espodumena
Em baixo, mesma imagem em nicóis cruzados (escala 1 mm) [2]



Petalite e quartzo a preencher os espaços vazios criados por prismas de espodumena [2]

O programa experimental intensivo de processamento mineral, foi conduzido nos Laboratórios do LNEG, em S. Mamede de Infesta, incidiu sobre 2 amostras provenientes de trabalhos de superfície realizados em duas zonas mineralizadas que foram designadas por Alijó (ALJ) e Adagó (ADG) – [6].

Os estudos incluíram:

- Caracterização mineralógica;
- Teste de 2 amostras, uma representando um minério pobre com 0,39 %Li e outra um minério mais rico com teor médio 0,66 %Li;
- Ensaio prévios de britagem e Classificação Granulométrica não apontaram para a viabilidade de qualquer enriquecimento por classificação seletiva a estes calibres;
- Ensaio de concentração em Líquidos Densos, a calibres de britagem e granulação, tirando partido da densidade Espodumena (= 3,3) ser superior às dos outros silicatos presentes, permitiram:
 - Obter concentrados na gama de 2,32 %Li;
 - Recuperações de lítio sempre abaixo de 50% para calibres inferiores a 5mm, com rendimentos ponderais na gama 20-30%;
 - Recuperações não superiores a 60%, mesmo a calibres na gama abaixo de 2mm;
- Ensaio de Flutuação por Espumas após moagem em moinho de barras até calibres 95% < 500µm ($K_{95} = 500 \mu\text{m}$), precedida de desenlameamento prévio a 75 µm, permitiram concluir que:
 - A Flutuação exige um elevado consumo de reagentes: entre 0,5 e 1,0 kg/t de coletores;
 - Do conjunto de coletores ensaiados, nomeadamente Medialan, Armac-T, ácido oleico e ácido nafténico, a mistura que conduziu ao compromisso melhor seletividade/recuperação foi a de ácido oleico + ácido nafténico e gasóleo como auxiliar de seletividade (1,5-3,5 kg/t);
 - uma Separação Magnética pode ser aconselhada para fazer baixar o teor em penalizantes do concentrado de flutuação.

Na tabela seguinte resumem-se os resultados desses ensaios

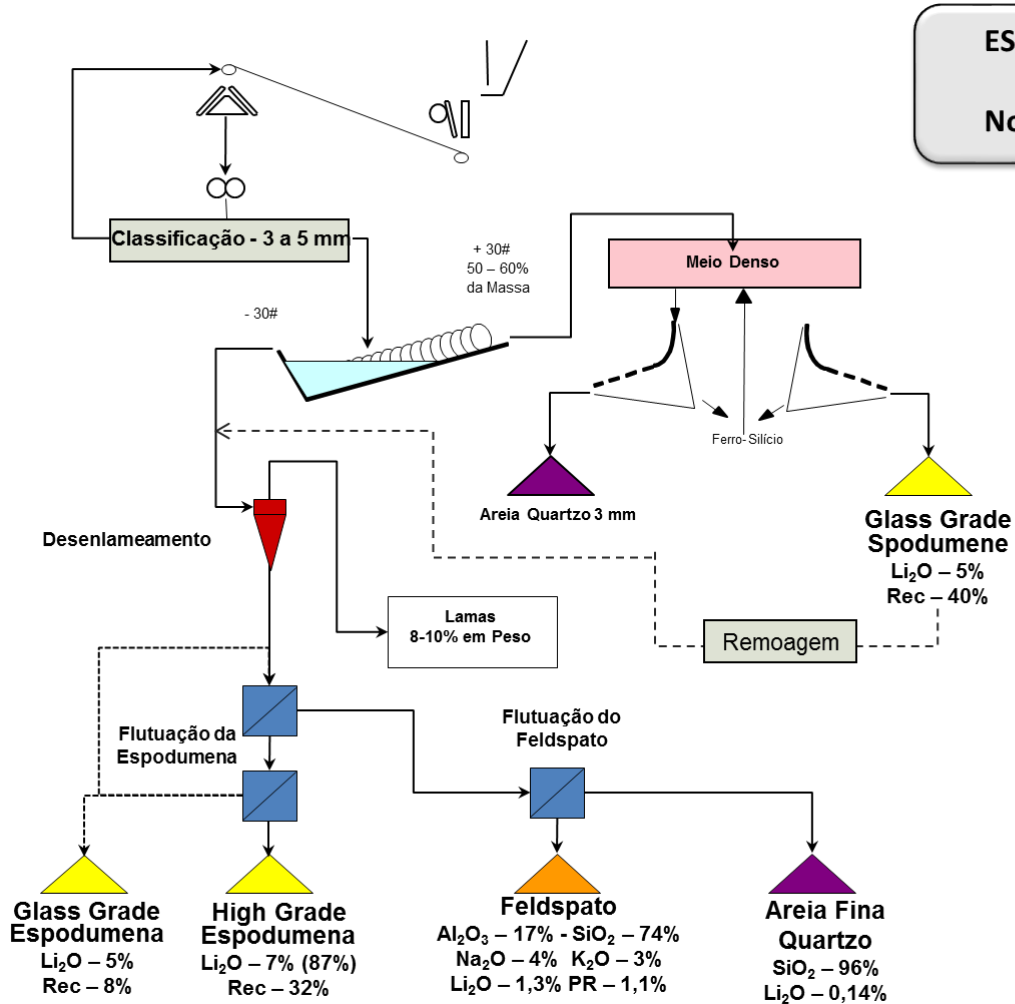
Flutuação	Minério Pobre	Minério Intermédio	Minério Rico
Alimentação	0,38 %Li	0,88 %Li	1,35 %Li
Concentrado	1,02 %Li	2,05 %Li	2,83 %Li
Recuperação	77%	60%	66%

- O desenlameamento prévio conduz a perdas em lítio da ordem de 15-17%;
- Alimentações pobres (~0,38 %Li) não permitem a obtenção de concentrados de alto teor; apuramentos sucessivos não foram bem-sucedidos, porque a relação de concentração aproxima-se rapidamente do valor unitário;

- É possível obter concentrados de classe “high grade spodumene” a partir de minérios de teor acima de 0,7 %Li e após um estágio de apuramento e sob recuperações 60% a 30% em função dos teores variarem entre 2,83 %Li e 3,58 %Li;
- Os afundados da Flutuação da Espodumena, sendo uma mistura de Quartzo e Feldspato foram submetidos a outro estágio para Flutuação do Feldspato, produzindo como afundado um material quartzoso;
- Um aspeto penalizante das amostras com espodumena ensaiadas, tendo em vista a sua utilização cerâmica, reside no seu teor em ferro total se situar na gama de 0,3% Fe₂O₃.

Estes resultados permitiram, à data, delinear um esquema geral para o processamento mineral [6] e [10]:

1. Após estágio de britagem e granulação, geralmente em circuito fechado com corte 3-5 mm, deve realizar-se uma classificação granulométrica prévia para retirar a fração fina que não pode ser introduzida no separador que realiza a pré-concentração, que no caso do Meio Denso se situa na gama 0,5-1mm; no caso dos minérios do Barroso não se vislumbra que diferenças de propriedades óticas possam ser usadas técnicas de Escolha Eletrónica, nem tão pouco esses sistemas baseados em transmissão de Raios-X (XRT);
2. Beneficiando de a espodumena ter uma densidade de 3,3 que contrasta com a das gangas associadas, a textura dos minérios do Barroso permite definir um estágio de Pré-Concentração utilizando Meio Denso (Heavy Media Separation), que pode ser regulado para:
 - Opção a. Obter um concentrado “glass grade” para colocação imediata no mercado, com teores na gama 2,32 %Li, com recuperações na gama de 40%
 - Opção b. Promover um enriquecimento menor, gerando concentrado na ordem de 0,93 %Li, de modo a diminuir as perdas e permitir alimentar a Flutuação com teor adequado;
3. (Re)Moagem seguida de hidrociclonagem para desenlameamento prévio e mistura com a fração < 1mm, para alimentar a secção de Flutuação por Espumas;
4. Flutuação por Espumas:
 - Regulada na gama de pH entre 8,5 e 9,5 e utilização de ácidos gordos emulsionados em gasóleo;
 - Produção de um concentrado “high grade” na gama de 3,25 %Li, obtido após um estágio de apuramento, para fornecimento da metalurgia do lítio;
 - Obtenção de um produto “Feldspato flutuado” com um bom conteúdo em alumina e álcalis e ainda um teor significativo em lítio
 - Aproveitamento de “areia quartzosa” com sílica acima de 96% e um valor residual em lítio.



Adaptado de Amarante et alia [5]

3.2 - Caso dos Minérios de Lepidolite (Gonçalo)

A região de Belmonte (Gonçalo – Seixo Amarelo) onde ocorrem soleiras aplitopegmatíticas mineralizadas em lepidolite tem sido intensamente estudada pelo LNEG e instituições anteriores, havendo vários relatórios sobre a aplicabilidade das técnicas de processamento mineral para valorização dos respetivos minérios, quer em cumprimento de objetivos da missão do serviço público, quer em resposta a pedidos de empresas. Os trabalhos de Farinha Ramos ([3] e [4]) são exemplos desse intenso investimento no desenvolvimento do conhecimento sobre essas mineralizações.

Segundo esse autor, nas soleiras sub-horizontais de aplitopegmatitos, a lepidolite ocorre como principal mineral de lítio, juntamente com ambligonite-montebrazite, petalite e rara espodumena, associada ao quartzo, albite, moscovite e feldspato potássico, como constituintes minerais principais e apatite, cassiterite, columbo-tantalite entre outros minerais secundários.

A lepidolite pode ocorrer em várias granulometrias, desde grosseria a muito grosseira (pegmatítica), nalguns casos em palhetas com 2 cm de diâmetro ou mais, mas também em granulado fino (aplítica) com dimensões de palhetas de 1-2 mm e ainda sob a forma de agregados de cristais microscópicos que apenas se individualizam com auxílio da lupa. Estas variedades mais finas normalmente formam horizontes bem definidos dentro da soleira, por vezes quase exclusivamente constituídos por lepidolite, pouca albite e quartzo e serão resultado da precipitação de fluídos pós magmáticos (hidrotermais) que penetram nas fraturas das próprias soleiras.

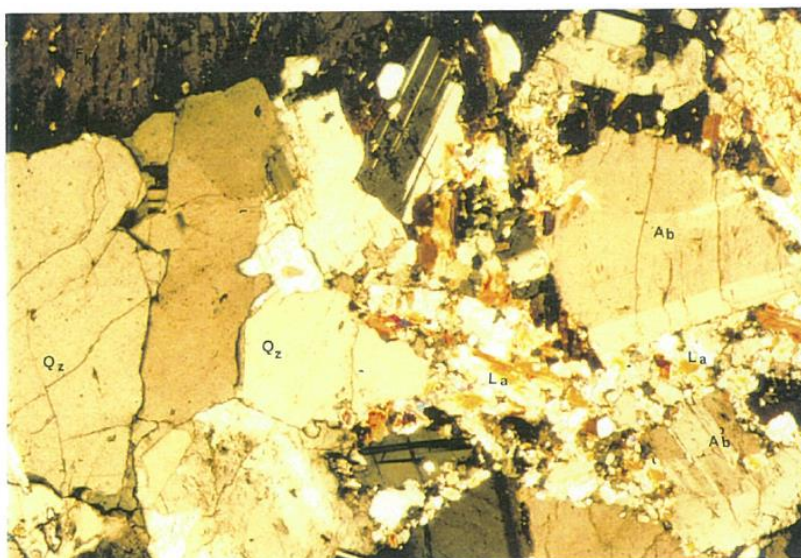
Nas figuras seguintes apresenta-se dois aspetos típicos da macro-textura da mineralização de lepidolite nos minérios de Gonçalo, a primeira mais “pegmatítica” e a segunda com disseminação “aplítica”.



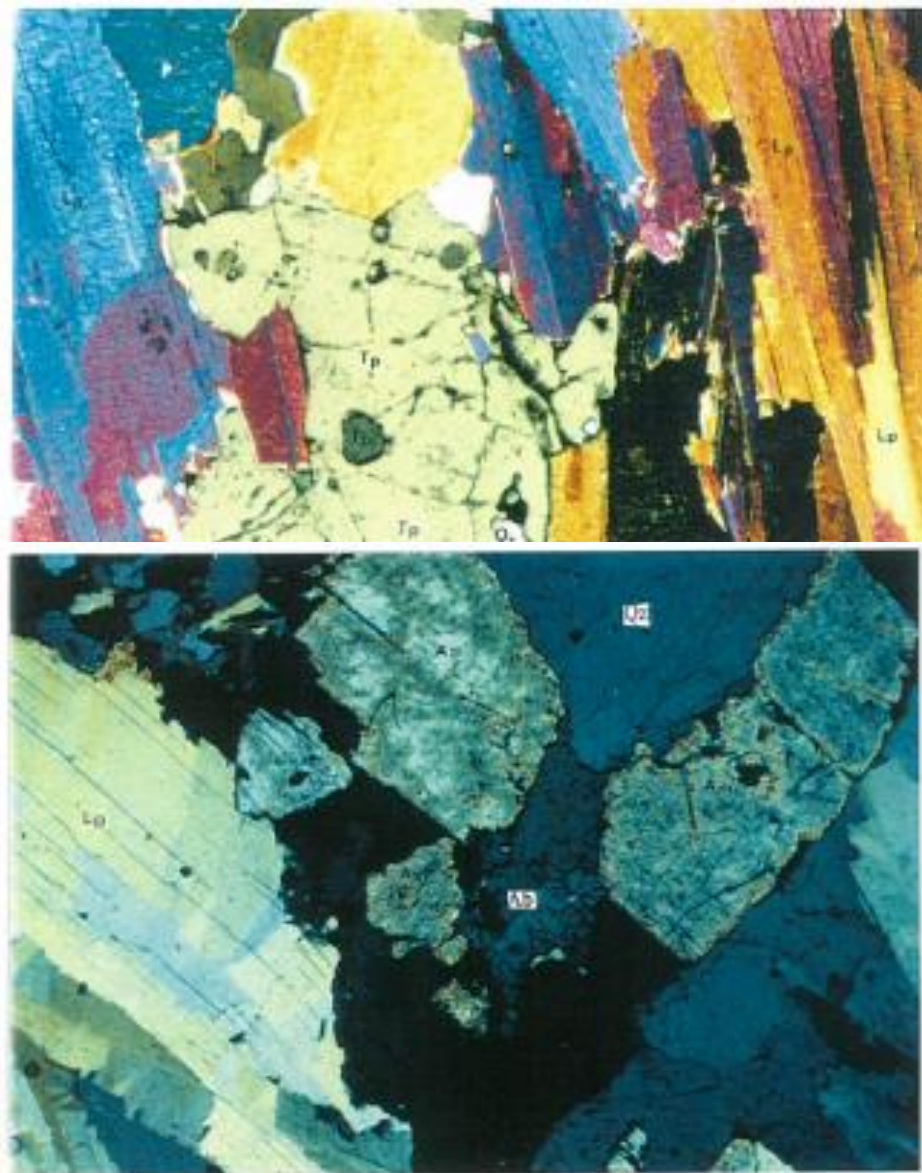
Em ambos os casos a lepidolite ocorre sob a forma de agregados de cristais mais pequenos, por vezes atingindo vários centímetros de largura.



Na foto seguinte é observável o aspeto da textura microscópica dos aplitopegmatitos litiníferos, sendo visível um mosaico de cristais de lepidolite fina “aplítica” penetrando e corroendo cristais de albite, quartzo e feldspato potássico, este também corroído pela albite e quartzo (nicóis cruzados e ampliação 208 vezes) – Ramos ([3] e [5]).



Nas duas estampas seguintes (nicóis cruzados) pode observar-se uma tendência para a lepidolite e o próprio quartzo corroerem outros minerais mais precoces (no primeiro caso, ampliação 208 vezes, um cristal de topázio e no segundo, ampliação 250 vezes, dois cristais de ambligonite-montebresite), formando agregados com texturas de interpenetração – Ramos ([3] e [5])



Os minérios de Gonçalo, da região de Belmonte, foram recentemente selecionados para investigação no âmbito de um projeto H2020, denominado FAME – Flexible and Mobile Economic Processing

Technologies², em conjunto com outros minérios de lítio europeus (FAME – [7]), quer em termos de caracterização mineralógica, quer de processamento de minérios.

Os desenvolvimentos obtidos até ao momento no âmbito desse projeto têm vindo a confirmar resultados anteriores no que diz respeito à aplicação da Flutuação por Espumas para obtenção de concentrados de Lepidolite para utilização metalúrgica, mas abriram uma importante componente de investigação para avaliar a aplicabilidade dos processos de separação eletrónica (Ore Sorting) por via ótica (Optical Sorting), método de separação já introduzido em Portugal por uma empresa que explora este tipo de minérios. As vantagens da introdução de um estágio de Pré-Concentração a calibres de granulação foram já acima enunciadas – obtenção de produtos intermédios, enriquecimento da alimentação destinada a ser tratada por Flutuação por Espumas e redução de custos de fragmentação e deposição de lamas.

No caso da Lepidolite de Gonçalo a técnica Optical Sorting pode ser usada porque a cor exibida pelo mineral permite distingui-lo das gangas associados. A opção por Meio Denso está fora de hipótese porque a Lepidolite não tem suficiente contraste de densidade com o quartzo e outros silicatos presentes no minério.

A aplicabilidade da Pré-Concentração aos minérios de Gonçalo foi intensamente estudada no âmbito do projeto (FAME [7]) através do desenvolvimento de uma metodologia própria baseada em análise de imagem de partículas fragmentadas para determinação de Histogramas de Teores, para sobre eles se estimar o desempenho da utilização de diferentes regulações da separação que realizar a pré-concentração desejada.

Com base nessa metodologia foram construídos cenários de afinação de separação ótica, estimando diferentes resultados para os concentrados, em condições de separação-limite, que se descrevem na tabela seguinte:

Estimativa (separação-limite) do desempenho de Separação Ótica sobre minérios de Gonçalo (FAME)

	Teor de Corte		
	Baixo	Médio	Alto
Separação Ótica	0,46 %Li	0,93 %Li	1,39 %Li
Rendimento Ponderal	50%	40%	29%
Teor Concentrado	1,72 %Li	2,09 %Li	2,28 %Li
Recuperação	88%	80%	70%
Teor Rejeitado	0,23 %Li	0,42 %Li	0,46 %Li

² Projecto FAME - Flexible and Mobile Economic Processing Technologies, já citado anteriormente

Posteriormente foram realizados ensaios em escala piloto industrial, nas instalações do fabricante de separadores óticos. Para um teor de corte na gama baixa foram obtidos concentrados com teores de 1,3 %Li sob recuperações de 50% e rendimentos ponderais de 40%, valores que não se afastam muito da previsão laboratorial, exceto na estimativa da recuperação, discrepância que abre uma margem de melhoria do processo industrial se o sistema eletrónico de separação utilizar sensores de maior resolução (FAME – [7]).

Uma Pré-Concentração com estas características permite nivelar o teor de alimentação às fases seguintes do processo (nomeadamente à Flutuação), tornando-o independente das naturais flutuações de teor do tout-venant extraído dos desmontes e origina um rejeitado que não será um estéril, mas sim uma mistura quartzo+feldspato ainda com um teor residual de 0,23 %Li, que lhe confere boas características para utilização em cerâmica.

Um fator a ter em consideração quando se avalia a aplicabilidade dos separadores eletrónicos para a etapa de pré-concentração de Lepidolite diz respeito à obrigatoriedade da classificação prévia se processar acima de 8-10 mm, dado que abaixo destes calibres a capacidade dos separadores baixa drasticamente, o que impede que a operação de pré-concentração incida sobre as frações granulométricas inferiores a esses valores.

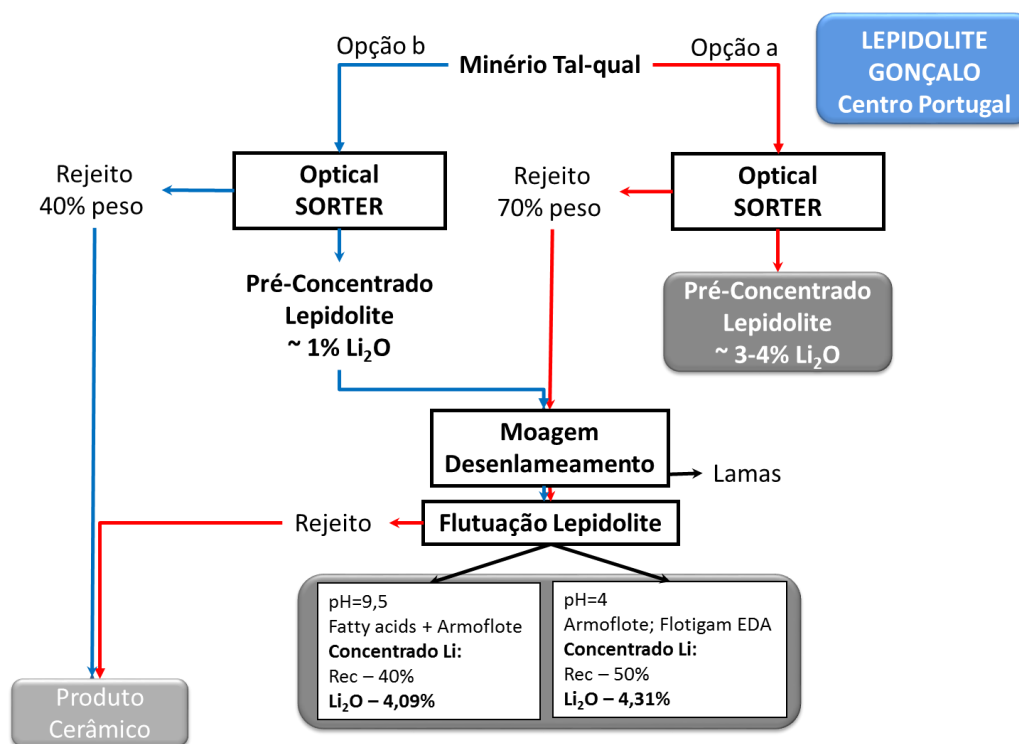
Seguindo as etapas genéricas anteriormente comentadas e descritas no diagrama genérico apresentado na introdução, os minérios com lepidolite dominante poderão ser valorizados através dos seguintes passos genéricos:

1. Britagem e granulação até aos calibres em que ocorra uma adequada libertação das gangas, em geral na gama 25-15mm;
2. Crivagem prévia da fração < 8mm, dado que calibres inferiores não são adequadamente tratados pelos Ore Sorters;
3. Pré-concentração por Optical Sorting para:
 - Opção a. Produção de um concentrado diretamente comercializável, inclusive para a metalurgia do lítio, se a textura do minério permitir obter teor suficiente;
 - Opção b. Garantir um enriquecimento prévio de modo a entregar à secção de Flutuação um material de teor acima de 0,46 %Li
4. O rejeitado da produção referida em 3. Opção a. poderá ser valorizado como subproduto cerâmico com expressivo conteúdo em lítio, ou adicionado à fração < 25-15mm que seguirá para moagem e continuação da recuperação de lítio por Flutuação por Espumas;
5. No caso 3. Opção b. o pré-concentrado será adicionado à fração < 25-15mm para continuação do processo por Flutuação por Espumas, enquanto que o rejeitado poderá ser valorizado como matéria-prima cerâmica com um valor de lítio residual;
6. Flutuação por Espumas em meio alcalino com coletores do tipo ácidos gordos, ou na gama de pH ácido com utilização de reagentes da família das aminas, gerando concentrados acima de 1,86 %Li (VI);

7. Embora até ao momento não sejam conhecidos relatórios de ensaios de separação Feldspato-Quartzo por Flutuação dos rejeitados da Flutuação da Lepidolite do jazigo de Gonçalo, essa hipótese tecnológica é conceptualmente possível e merece estudos dedicados.

Os cenários descritos configuram soluções tecnológicas que apontam no sentido do aproveitamento quase-integral do recurso mineral. A concretização de uma solução de resíduo nulo dependerá das características e da quantidade de material “fino” gerada no processo, para aferir das potencialidades de aplicação em domínios específicos.

No diagrama seguinte resumem-se as opções acima apresentadas e os conceitos que as suportam [8] e [10].



Adaptado de Amarante et alia [10]

Eventual recuperação de Subprodutos - é também sabido que as mineralizações pegmatíticas e aplíticas que ocorrem na região de Gonçalo são propícias à ocorrência de alguns minerais pesados, nomeadamente de estanho e por vezes tântalo. Estas mineralizações são irregulares, mas quando ocorre uma concentração localizada desses minerais, situação que é suportada pela metalogenia associada a esse tipo de jazigos, a sua recuperação pode tornar-se economicamente viável em termos de custos de produção.

Investigada esta situação em amostras de Gonçalo no âmbito do projeto FAME, pode afirmar-se que a amostra estudada não revelou tratar-se de uma dessas situações de concentração anormal, porquanto os teores médios encontrados se situaram na gama 0,035% Sn e de 0,005% para Ta e para Nb. Ensaios de recuperação apontaram para valores não superiores a 70% para o Sn e 35% para Ta e para Nb, devido aos calibres de ocorrência fina. (FAME – [7])

Estes resultados experimentais, quando confirmados por ensaios de processamento de amostras representativas das diferentes zonas do campo aplito-pegmatítico com Lepidolite da região de Gonçalo, permitirão projetar diagramas de processo enquadráveis no diagrama genérico inicialmente apresentado, em função da procura do mercado. Contudo a questão fundamental a encarar é o nível de investimento necessário para uma instalação de concentração hidrogravítica para recuperar minerais pesados:

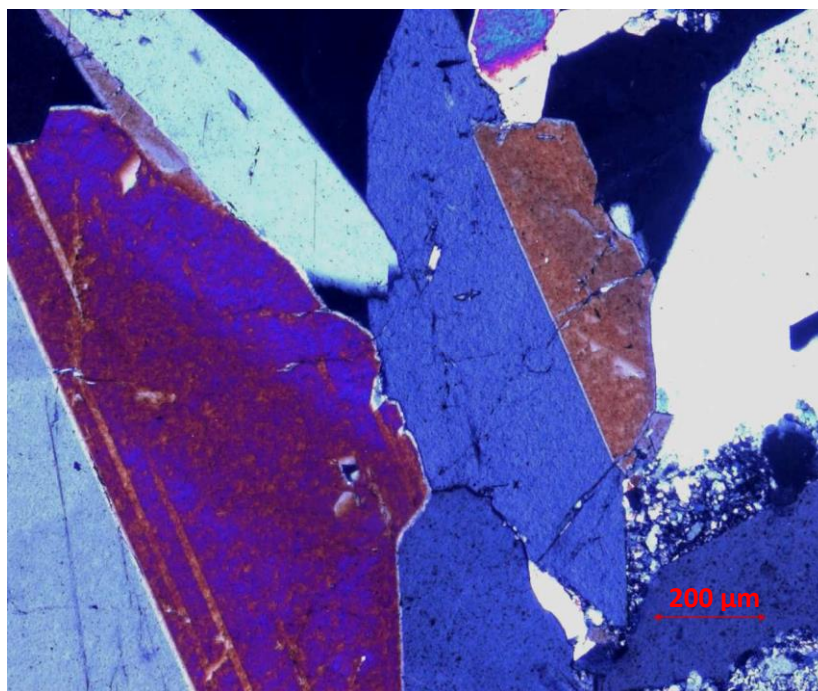
- Se o objetivo for a lavagem de toda a extração mineira, previamente ao estágio de Flutuação por Espumas, então será necessário um número significativo de mesas oscilantes, porventura combinadas com espirais em posição de desengrossamento, em particular em situações de exigência de maior capacidade de processamento;
- No caso de os estudos metalogenéticos confirmarem a possibilidade de ocorrências localizadas desses minerais pesados (vulgo “ore shoots”), então a instalação hidrogravítica apenas será chamada a atuar quando ocorrerem essas bolsadas de minério e, nesse caso, a capacidade instalada será substancialmente inferior e o investimento menor;
- Conjetura semelhante pode ser aplicada aos minérios com espodumena ou petalite dominantes.

3.3 - Caso do Minério de Amblygonite da Argemela

Os ensaios de processamento do minério com Amblygonite (fosfato de lítio), que ocorre no Jazigo da Argemela, realizados mais recentemente, foram desenvolvidos no âmbito de uma tese de mestrado realizada na FEUP em 2010 [9]. A amostragem foi realizada pelo próprio autor da tese, mas orientada pela empresa que na altura conduzia um projeto de prospeção e pesquisa na área.

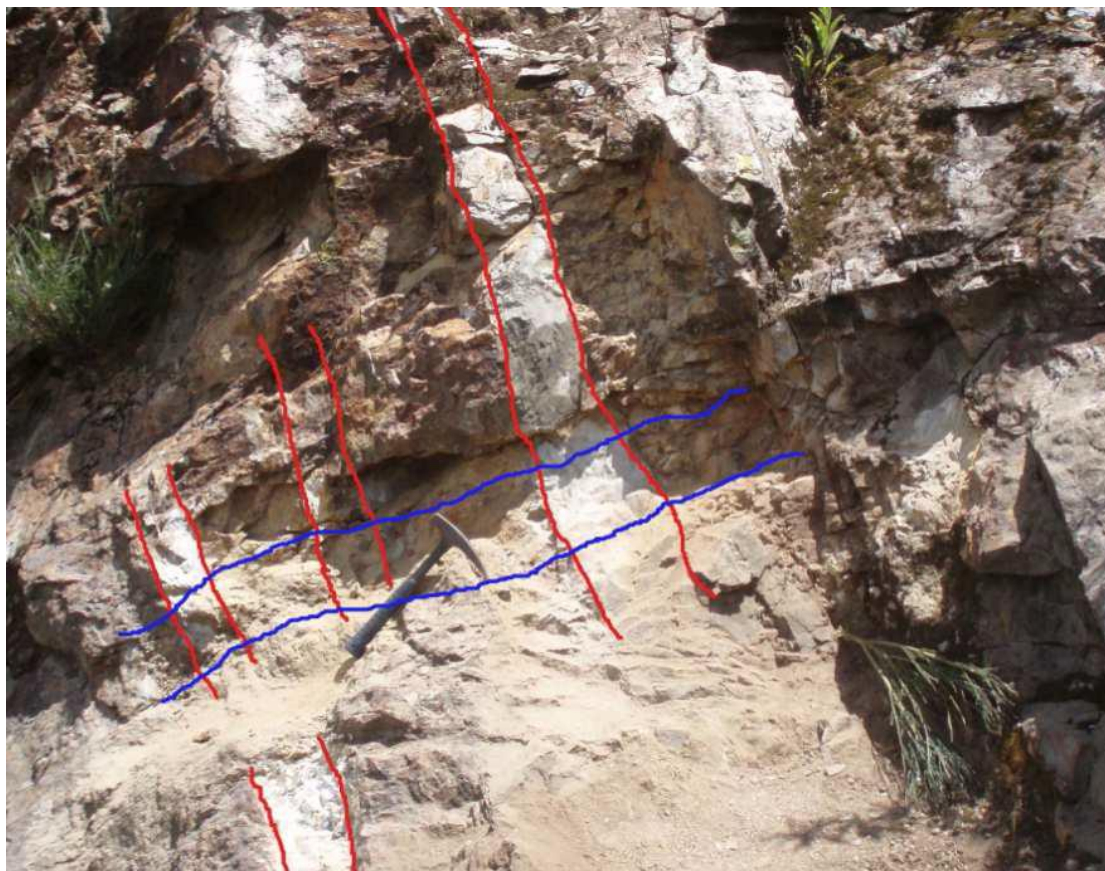
A amblygonite é a principal fase litinífera presente nos filões de quartzo. É o mineral mais precoce e apresenta-se em cristais, em geral bem desenvolvidos, maioritariamente centimétricos de cor branca a esverdeada. Na figura seguinte apresenta-se uma microfotografia, em nicóis cruzados, de cristais de amblygonite. À deposição de amblygonite seguiu-se uma primeira geração de quartzo, também em cristais centimétricos e um outro quartzo em cristais milimétricos. Nas zonas de contacto amblygonite - quartzo ocorre a maioria dos minerais posteriores da associação mineral, nomeadamente cassiterite que pode conter pequenas inclusões de columbite-tantalite. Mais tardiamente cristalizaram a mica branca e estanita. De registar que acessoriamente ocorrem vários sulfuretos, nomeadamente, arsenopirite, molibdenite, esfalerite, estanita, calcopirite, pirite e pirrotite.

A amblygonite é grosseira (>1cm) e é o mineral de lítio mais importante na Argemela [9]



Cristais de Amblygonite da Argemela – Noronha, J. [9]

Na foto seguinte apresenta-se um aspeto de uma frente de exploração antiga, em que ocorrem 3 estruturas mineralizadas (assinaladas a vermelho). Nesta zona foi retirada uma amostra em canal (marcada a azul) com o objetivo de simular a constituição de um minério tal-qual que porventura tivesse sido extraído dessa zona do jazigo, para sobre ela se realizarem os ensaios de processamento.



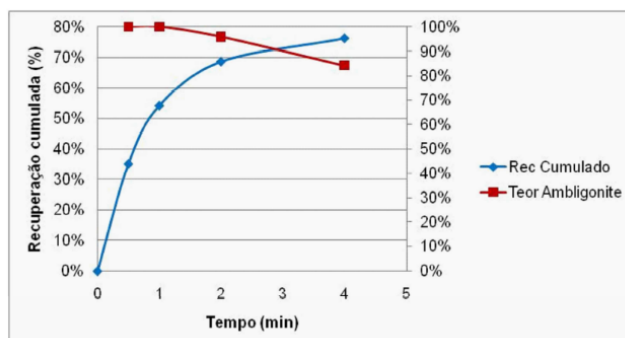
Frente de desmonte num Céu-aberto da Argemela – Noronha, J. [9]

O projeto visou o estudo da viabilidade técnica da valorização desse minério através da Flutuação por Espumas para obtenção de um concentrado de ambligonite.

Foi realizado um programa intensivo de ensaios cinéticos de Flutuação por Espumas a partir de material com teor médio de 1 %Li. Os resultados apresentados na figura seguinte [9], correspondentes à melhor configuração experimental, mostram que foi possível obter concentrados:

- de muito alto teor 3,8 %Li (valor compatível com a ocorrência no jazigo de Montebrasite, outro fosfato de lítio com conteúdo em lítio superior ao da Ambligonite) com recuperações de 35%;
- recuperando 76% quando os concentrados baixam para de 3,5 %Li.

Foram estudadas algumas condicionantes experimentais, tendo-se concluído pela necessidade de moagem até 300 μ m para libertação adequada da Ambligonite e verificado que a presença de calibres inferiores a 75 μ m influencia negativamente o processo, diminuindo a seletividade e, por conseguinte, o teor do concentrado e a recuperação. No entanto, no caso do minério da Argemela, o estágio de desenlameamento prévio desses calibres finos, embora necessário para garantir bons níveis de desempenho na Flutuação por Espumas, acarreta perdas entre 20% e 35% do conteúdo inicial em lítio, dificilmente recuperáveis por outra via.



Ensaio cinético de Flutuação por Espumas – eixo vertical direito, % Ambligonite (Noronha, J., [9])

Foi igualmente confirmado que os teores de partida muito abaixo de 1 %Li tornam o processo mais instável e sensível à dosagem de coletor, mas também que a otimização dessa dosagem não impede a possibilidade de obtenção de concentrados de teor elevado. Neste contexto, aplicando o conceito de “starving” de coletor (oposto ao de excesso) referido na literatura, o autor pesquisou a influência do consumo de reagente e identificou a presença de um mecanismo de flutuação imprópria (ou indevida) [9] e [10]: excesso de reagente coletor promove a flutuação de partículas de minerais ganga à medida que a polpa empobrece em Ambligonite, fenómeno distinto do de “flutuação falsa”, conotado com efeitos de arrastamento indiscriminado, normalmente preponderante nos calibres ultrafinos que têm dificuldade de colisão com as bolhas mas que são arrastados no filme aquoso que preenche os canais entre membranas das colhas no leito de espumas.

Sabendo-se da dependência do desempenho da Flutuação no teor de partida e que a estrutura de rede filoniana mineralizada em lítio do jazigo da Argemela não se adequa à implementação de um sistema de lavra seletiva (vide foto da página anterior), beneficiando da densidade de Ambligonite se da ordem de 3, foi laboratorialmente testada a aplicabilidade da separação por Meios Densos para realizar um desengrosso (pré-concentração) a calibre na gama 15-5 mm que, por eliminação de uma fração considerável de rocha encaixante estéril, promova o desejado enriquecimento em lítio, com o mínimo de perdas. Esses testes foram realizados utilizando Líquidos Densos para avaliar se existia contraste suficiente entre a densidade das gangas e a da Ambligonite [9]. Estes ensaios foram realizados sobre amostras colhidas em canal apresentado teor médio de 0,12 %Li, utilizando bromofórmio de densidade nominal 2,89, tendo-se obtido os resultados reportados na tabela seguinte.

Estimativa da Pré-concentração em Meios Densos (ensaio com Bromofórmio d=2,8) – Noronha, J., [9]

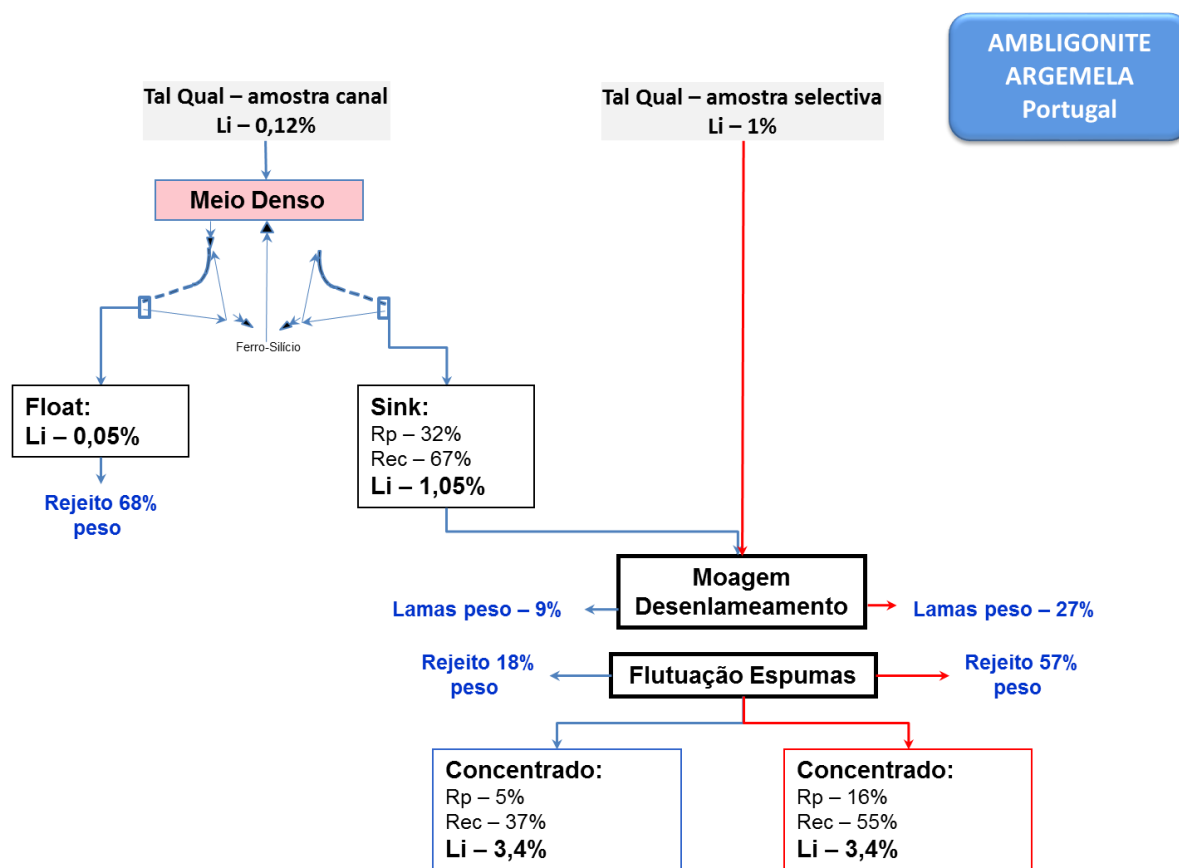
Meios Densos	Fração > 2mm	Fração [5, 2] mm
Alimentação	0,09 %Li	0,12 %Li
Afundado denso	0,28 %Li	0,49 %Li
Recuperação	66%	67%
Rendimento Ponderal	22%	16%

Os resultados permitem concluir que:

- Na gama [2,5] mm, o Desengrosso por Meios Densos permite obter um concentrado denso da ordem de 0,5 %Li, mas com perdas nunca inferiores a 30% do lítio contido;
- Contudo, como este estágio diminuirá a quantidade de material que será enviado à moagem (apenas o afundado do Meio Denso), diminuirá proporcionalmente a produção e finos e as perdas em lítio associadas ao Desenlameamento prévio da alimentação à Flutuação, bem como os custos associados à acomodação de estéreis finos em escombreira.

Uma alternativa à utilização de Meios Densos na operação de Pré-Concentração a calibres de britagem e granulação do minério da Argemela poderá ser a separação Ótica, aproveitando a coloração azulada da Ambligonite. Até ao momento não foram ainda reportados ensaios com esse tipo de separadores (Ore Sorters), havendo, contudo, indicações de que a empresa que atualmente promove o jazigo estará a testar esses métodos.

No diagrama de ensaios seguinte apresentam-se os parâmetros mais relevantes que caracterizam o comportamento do minério da Argemela ([9] e [10]) partindo de dois tores iniciais de tout-venant: um minério pobre na ordem de 0,12 %Li, calculado na base de uma amostra colhida em canal contínuo e um minério rico com cerca de 1 %Li, simulando o desmonte de uma zona mais densamente mineralizada.



Adaptado de Amarante et alia - [10]

Os aspetos mais importantes a reter são os seguintes:

- Concentrados de alto teor podem ser obtidos, independentemente do teor inicial;
- Minérios mais ricos permitem obter melhores recuperações globais;
- Minérios pobres podem ser enriquecidos por Meios Densos até valores adequados ao processamento por Flutuação por Espumas, todavia à custa de um decréscimo significativo da recuperação;
- A utilização de Meios Densos cria condições mais favoráveis para a deposição de rejeitados sob calibres mais grosseiros;
- Parte das perdas em lítio, quer na operação de pré-concentração, quer no deslameamento prévio podem estar relacionadas com fenómenos de metassomatismo na rocha encaixante, assunto que deve ser convenientemente estudado no jazigo da Argemela, porque esse tipo de disseminação do lítio é virtualmente irrecuperável.

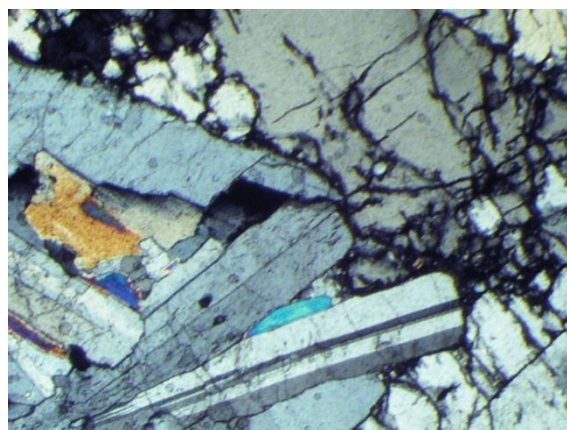
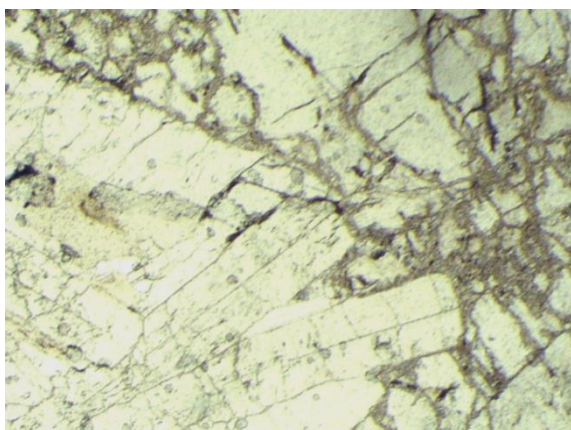
3.4 - Caso do Minérios de Petalite

Os jazigos de Petalite são economicamente importantes como fonte de metais raros, nomeadamente lítio, tântalo, céσιο e rubídio. Dificuldades de obtenção de produtos muito ricos em Petalite, relatadas na bibliografia, apontam para que na valorização dos jazigos deste mineral seja de considerar a hipótese de produção duma mistura de Petalite + Feldspato + Quartzo e Mica, com nome comercial HLF, matéria-prima para a produção cerâmica, exigindo apenas a remoção de impurezas para baixar o teor em ferro e beneficiando de um conteúdo em lítio interessante para reduzir o consumo de energia. É referido na literatura que os concentrados de Petalite são comercializados com um teor de 2,04 %Li.

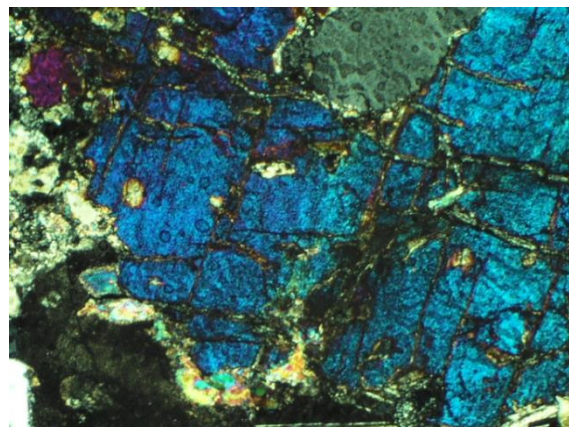
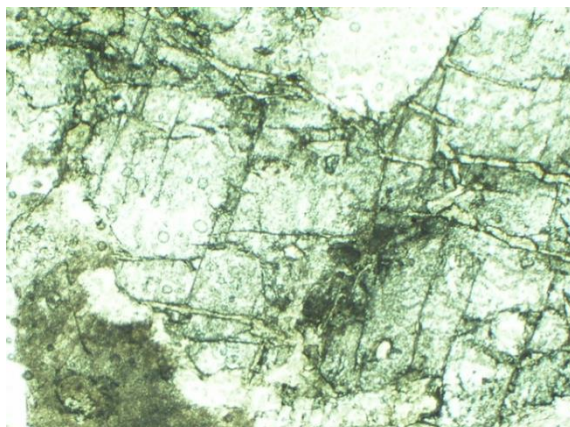
Estudos de microscopia de grãos à lupa, realizados nos laboratórios do LNEG (2004) evidenciaram amostras de natureza aplito-pegmatítica caracterizadas por apresentarem grandes cristais pegmatíticos tabulares de Petalite e de Feldspato potássico que chegam a atingir 2x4 cm, de cor branca a creme, os quais são envolvidos e corroídos por uma matriz de granulado mais fino constituída essencialmente por agregados de cristais de Albite, Quartzo Moscovite e outros. Esta matriz de granulado fino, em média 0,5-1mm, é constituída por Quartzo cinzento transparente, em grãos até 0,5mm, Feldspato sódico branco em agregados que envolvem os grãos de Quartzo e que não ultrapassam em geral 1 a 2mm. Palhetas de Moscovite ocorrem associadas ao Quartzo e à Albite, não tendo em geral mais do que 0,1mm.

A Petalite forma cristais e agregados de cristais, em geral desenvolvidos, por vezes com inclusões de quartzo ou feldspato e apresenta como característica principal a densa fracturação que afeta os cristais com fraturas muito abertas, por vezes preenchidas por Albite Moscovite, etc.

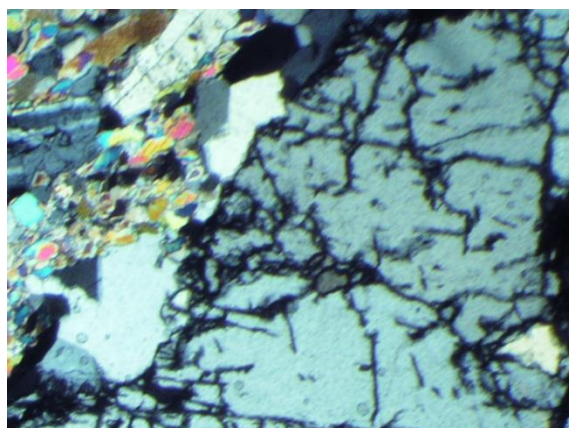
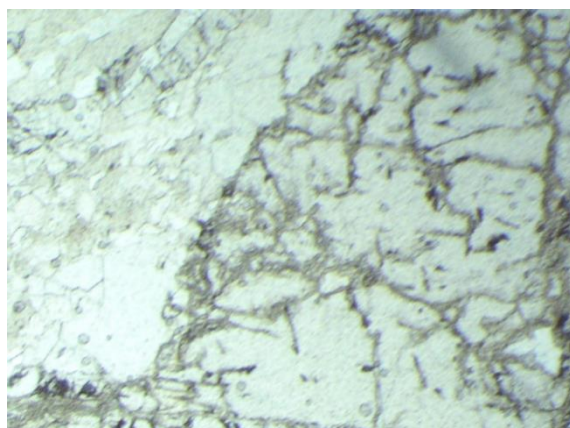
Uma estimativa visual permitiu constatar as seguintes percentagens médias nas amostras estudadas: Albite \cong 40-45%; Feldspato K \cong 20-25%; Moscovite \cong 5-10%; Petalite \cong 5-10 %; Quartzo \cong 15-20%; Amblygonite \cong 1%. Seguem-se aspetos microscópicos das texturas evidenciadas nas amostras estudadas.



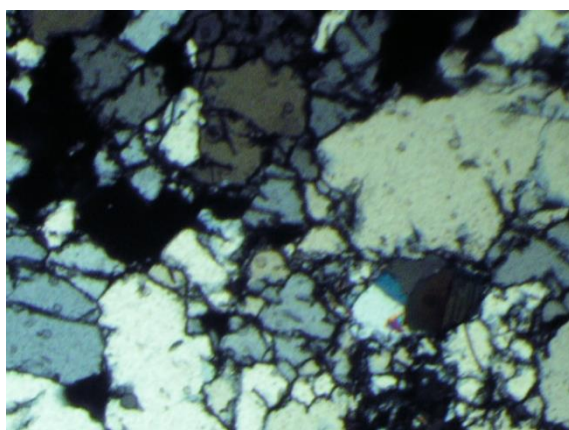
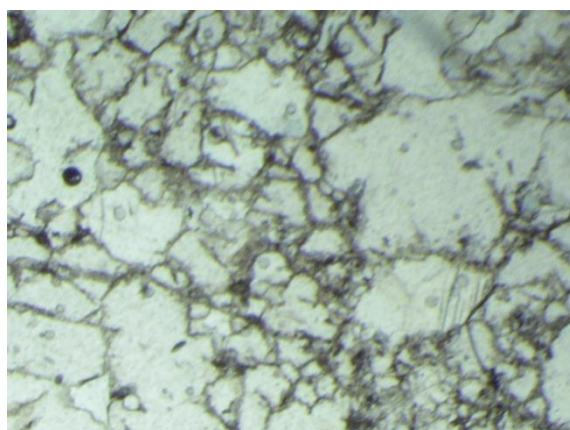
Outro aspecto da textura do aplitopegmatito. Bastonetes de albite, envolvidos por albite granular . Mega cristal de petalite fracturado e envolvido por grãos de petalite de pequena dimensão.Luz natural transmitida . Objectiva 2.5x. Figura da direita, mesmo aspeto em nicóis cruzados



Megacrystal de Petalite fortemente fracturado com fracturas abertas e por vezes preenchidas por mica tardia . Inclusão de quartzo no seio da petalite.Luz natural transmitida, objectiva 2.5x Figura da direita, mesmo aspeto em nicóis cruzados



Megacrystal de petalite fortemente fracturado envolvido por quartzo, albite e moscovite. Luz natural, objectiva 2.5x Figura da direita, mesmo aspeto em nicóis cruzados



Outro aspeto da textura do aplitopegmatito. Cristais de Petalite com diversos calibres. Luz natural transmitida, objetiva 2.5x. Figura da direita, mesmo aspeto em nicóis cruzados

Em 2000 foram realizados estudos no LNEG que se destinaram a determinar as condições de tratamento de um minério de Petalite da Zona a Norte de Gondiaes, Ribeira de Pena [11].

Os ensaios foram efetuados em amostras colhidas no âmbito de um projeto (SAPIENS) entre o anterior IGM e a Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. As amostras foram analisadas e apresentaram teores como expresso na tabela seguinte, sendo que as amostras mais ricas também possuem Espodumena.

Caracterização das Amostras com Petalite.

Amostra - Indicações da colheita de campo	% Li
73 - filão com Espodumena e Petalite	1,10
91 - filão rico em Petalite	0,82
101 - filão medianamente rico em Petalite	0,49
103 - filão pobre em Petalite	0,50

Os estudos mineralógicos descritos, não apontam para a possibilidade de ocorrerem fragmentações discriminatórias que permitam beneficiar das conseqüentes separações seletivas. Com efeito, a distribuição de teores ao longo da escala granulométrica não aponta para a existência de fenómenos desse tipo. Apenas se poderá admitir a existência de uma tendência para os minerais portadores de penalizantes ferrosos se concentrarem preferencialmente nas classes inferiores a 75µm, após fragmentação graúda, como se pode verificar na tabela seguinte:

Distribuição de teores de Li e Fe pelas classes granulométricas.

Calibres, µm	Distribuição %	%Li	Fe₂O₃, %
2000/600	43,3	0,98	
600/210	26,6	1,02	0,137
b210/75	20,1	0,72	0,165
- 75	10,0	0,65	1,200

Também, a densidade da Petalite de apenas 2,4 e uma cor que não evidencia contraste face ao quartzo e ao feldspato, os seus minérios não são passíveis de pé-concentração porque não são aplicáveis as separações por Meios Densos, nem as separações por Escolha Ótica.

Assim os estudos laboratoriais foram conduzidos essencialmente para avaliar a aplicabilidade da Flutuação por Espumas, seguindo o esquema habitual [11]:

- Moagem em barras até se atingir 95~% do material a calibre inferior a 500µm, condição obrigatória para aplicação do processo;
- Flutuação precedida por um desenlameamento a 75µm, originando perdas em peso de aproximadamente 20%;

- Utilização de petróleos sulfonados, aminas e ácidos gordos, sendo estes últimos emulsionados em gasóleo e em meio alcalino os que conduziram a melhores resultados;
- Elevado consumo de reagentes;

A configuração experimental de reagentes que mostrou melhores resultados permitiu obter um concentrado de 1,40 %Li (cerca de 67% Petalite) a partir de uma alimentação de 0,91 %Li, ou seja, operando uma Relação de Concentração não superior a 2, sob uma recuperação de apenas 13%!

O desenlameamento prévio originou uma perda adicional não contabilizada no valor de recuperação acima indicado.

Ensaio de Flutuação por Espumas

Desenlameamento	0,60 %Li	15% lamas (peso)
Fração < 500 µm desenlameada		
Alimentação	0,91 %Li	
Concentrado	1,40 %Li	67% Petalite
Recuperação	31%	
Rendimento Ponderal	8,6%	

Os ensaios então conduzidos não mostraram ser possível atingir a meta inicialmente pretendida de 1,86 %Li (cerca de 88% Petalite) nos concentrados e mesmo o valor de 1,4 %Li foi obtido sob uma recuperação de lítio muito baixa (31%). Por outro lado, confirmou-se também neste caso que partindo de alimentações mais pobres a Flutuação tem desempenho inferior.

Ensaios de Separação Magnética

Sabendo-se do interesse no mercado da cerâmica por produtos do tipo HLF (high lithium feldspar), foi pesquisada a hipótese de obtenção de um produto feldspático de elevado teor em Lítio e sem penalizantes ferrosos, usando para o efeito separação magnética de alta intensidade via seca.

A aplicação dessa técnica de separação baixa o teor em ferro apenas para 0,12% Fe₂O₃, com teores em lítio na gama de 0,74-1,02 %Li (35% - 48% de Petalite).

4 - CONCLUSÕES

Com base nesta pequena resenha sobre as tecnologias de processamento aplicáveis a minérios de lítio portugueses, apresentam-se as seguintes conclusões principais:

- Os minérios de lítio portugueses são tecnologicamente valorizáveis, através da aplicação simples ou combinada de processos de separação por Meios Densos, Separação Ótica e Flutuação por Espumas, existindo evidência experimental sobre a aplicação dessas tecnologias a todos os tipos de minérios litiníferos nacionais para produzir concentrados destinados a:
 - Indústria dos compostos de lítio, produzindo concentrados de minerais de lítio de alto teor;
 - Indústria cerâmica, garantindo “constância” de teor;
- A valorização de estruturas mineralizadas pouco “possantes” depende da viabilidade técnica de uma operação de pré-concentração a calibre grosseiro (10 mm) que permite rejeitar rocha encaixante em estádios precoces do diagrama de processamento;
- A experiência mostrou que, em certos casos, não foi possível obter concentrados de flutuação de teor tão próximo do valor estequiométrico dos minerais quanto o desejável, porque em algumas paragéneses ocorrem oclusões micrométricas (em gamas < 10 µm) de outros minerais, como o quartzo e a albite, no interior de cristais de minerais de lítio de maiores dimensões, levando a que nos concentrados sejam recolhidas partículas ainda por libertar na totalidade;
- Os efeitos de metassomatismo na rocha encaixante conduzem, em geral, à disseminação de lítio no encosto das estruturas mineralizadas. Esta situação deve ser acautelada porque empola os resultados das análises químicas e pode conduzir a valores de recuperação do lítio menos encorajadoras que, nesse caso, são atribuíveis a ineficiências do processamento tecnológico
- Finalmente, deve assinalar-se que o atraso verificado na adoção de tecnologias de processamento para valorização de minérios de lítio, através da produção de concentrados de alto teor, não se deve a qualquer desconhecimento das tecnologias aplicáveis ou a quaisquer outros aspetos menos positivos dos minérios de lítios nacionais, mas sim a condicionantes de mercado que, até muito recentemente, terão inviabilizado ou tornado menos atrativos os respetivos investimentos.

5 - BIBLIOGRAFIA

- [1] Dinh, Thi Thu Hien (2015). Processing of Vietnamese lithium ores to process LiCl. PhD thesis at Freiburg in Breisgau, Germany.
- [2] Farinha, J.A., Lima, A. e Campos, A. (2000). Estudo dos filões aplitepegmatíticos litiníferos da Região do Barroso Alvão (Norte de Portugal). ENT, IGM, Tomo 42, 2000, pp. 3-49.
- [3] Farinha Ramos, J. M. (2000). Mineralizações de metais raros de Seixo-Amarelo-Gonçalo (Breve nota). ENT, IGM, Tomo 42, 2000, pp. 67-160.
-

- [4] Farinha Ramos, J. M. (1998). Mineralizações de Metais Raros de Seixo Amarelo-Gonçalo. Tese de Doutoramento, FCUL.
- [5] Amarante, M.M., Botelho de Sousa, A. e Machado Leite, M.R., (1999). Processing a spodumene ore to obtain lithium concentrates for addition to glass and ceramic bodies. *Minerals Engineering*, Vol 12, nº 4, pp. 433-436.
- [6] Amarante, M.M., Botelho de Sousa, A. e Machado Leite, M.R., (2000). Ensaios de beneficiação de espodumenas em amostras do Alto Barroso. *ENT*, Tomo 42, 2000, pp. 51-65.
- [7] FAME - Flexible and Mobile Economic Processing Technologies (2016). EU H2020 research and innovation programme under great agreement nº 641650. Vários Relatórios confidenciais.
- [8] Amarante, M.M., Botelho de Sousa, A. e Machado Leite, M.R., (2002). Estudo de beneficiação de lepidolites do jazigo de Alvarrões (FELMICA). Relatório LNEG, 01/PMP/02, UCTM.
- [9] Noronha, J.L.A. (2010). Viabilidade técnica da valorização de um minério de Ambligonite da Argemela através de Flutuação por Espumas. Tese de Mestrado em Engenharia de Minas e Geo-Ambiente, FEUP, 2010.
- [10] Amarante, M.M., Noronha, J.L.A., Botelho de Sousa, A. e Machado Leite, M.R., (2011). Processamento tecnológico dos minérios de lítio: alguns casos de estudo em Portugal. In Valorização de Pegmatitos Litíferos, publicação conjunta DGEG/LNEG/ADI/CYTED (IBEROEKA).
- [11] Amarante, M.M., Botelho de Sousa, A. e Machado Leite, M.R., (2004). Processamento de Minérios de Lítio. Contribuição para a Valorização Tecnológica de Espodumenas e Petalites. Projeto POCTI/CTA/39659/2001, Multidisciplinary studies to promote the spodumene pegmatite-aplite veins as lithiferous molten for the Ceramic Industry. Relatório LNEG Nº 01/PMP/04, de 24 fevereiro de 2004.
-

Capítulo VII METALURGIA DO LÍTIO

Compilado e organizado por

LNEG - março 2017

Carlos A. Nogueira



O processamento metalúrgico inclui todas as etapas industriais que permitem a produção de um metal ou composto metálico (uma “commodity”, ou seja, um produto transacionável com um valor comercial de mercado e que serve de base para a produção de outros produtos) a partir de um minério ou concentrado mineral. No caso do lítio, o produto final é usualmente o carbonato de lítio (Li_2CO_3) ou alternativamente o hidróxido de lítio (LiOH). Estes são os produtos que alimentam as indústrias que utilizam o lítio, nomeadamente no fabrico de eléctrodos de baterias de iões-Li e no fabrico de sais e outros compostos para as diferentes aplicações. Deve salientar-se que o lítio na sua forma metálica também se fabrica, mas a sua utilização é relativamente rara. Ao contrário do que por vezes é sugerido em algumas fontes de informação, a principal utilização do lítio, as baterias, não o utiliza na forma metálica, mas sim em compostos de lítio em formas oxidadas (de valência monopositiva).

Neste capítulo faz-se a apresentação dos principais processos metalúrgicos aplicados aos minerais de lítio, bem como dos desenvolvimentos mais recentes ao nível da investigação, e ainda dos novos projetos metalúrgicos em fase final de demonstração/validação e com perspectivas de implementação.

1. Salmouras e minerais de rocha: comparação de processos

A extração de lítio a partir de minerais de rocha foi praticamente interrompida há cerca de 25-30 anos devido à exploração alternativa de salmouras. As salmouras são concentrações salinas de iões alcalinos e alcalino-terrosos dissolvidos, essencialmente na forma de lagos salgados (“salares”, expressão de origem hispânica), e outras de origem geotérmica ou anexas a campos de petróleo (estas menos comuns). A razão do sucesso da exploração das salmouras, em detrimento dos minerais de rocha, é basicamente de origem económica. A observação das diversas etapas de processamento (Figura 1) permite facilmente entender essas razões. A extração dos minérios tem início com as operações de mineração, seguindo-se o processamento mineralúrgico (concentração física) com a produção de um concentrado. Como os minerais portadores de lítio são tipicamente muito refratários, as operações metalúrgicas passam quase sempre por etapas de tratamento térmico, com ou sem adição de reagentes, a temperatura elevada, com vista à transformação em formas mais reativas. Dá-se assim a transformação química do lítio contido no mineral numa forma solúvel em meio aquoso, usando reagentes apropriados, permitindo então a sua extração, separação e purificação por operações hidrometalúrgicas até à produção do composto de lítio final. Nas salmouras, o lítio já se encontra dissolvido em água, pelo que todas as etapas anteriores são desnecessárias, procedendo-se

a operações de concentração (vulgarmente usando energia solar) até obter um sal rico em lítio, seguindo-se depois a separação e purificação.

Devido à sua maior simplicidade, os processos de recuperação de lítio a partir de salmouras têm custos de produção menores, como é indicado na Figura 2(a). Para efeitos comparativos, também são apresentadas estimativas dos custos operacionais do processamento de argilas com lítio (e.g hectorite). O custo de produção de carbonato de lítio a partir de pegmatitos como a espodumena pode atingir 5000 US\$/t CLE (carbonato de lítio equivalente), comparado com pouco mais de 2000 US\$/t CLE no caso das salmouras (Chagnes e Swiatowska, 2015). Estes custos devem ser usados com precaução porque dependem muito da composição da matéria-prima, da localização e dos preços locais da energia e dos reagentes químicos. Exemplificando, os custos de produção a partir das salmouras do Salar de Atacama (Chile) são um pouco superiores a 2000 US\$/t CLE, enquanto para o salar de Hombre Muerto (Argentina) já podem atingir mais de 4000 US\$/t CLE. Apesar desta variabilidade, os valores indicados são uma boa base de partida para a comparação pretendida.

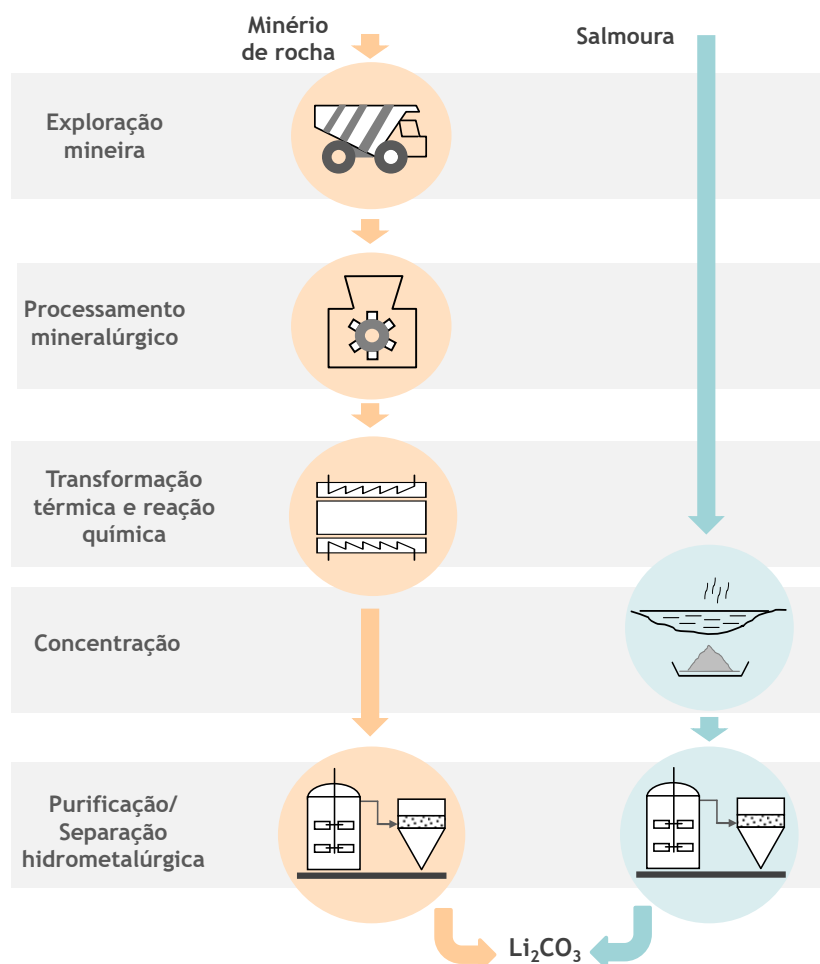


Figura 1. Comparação dos processos de recuperação de lítio de minérios de rocha e de salmouras: etapas fundamentais.

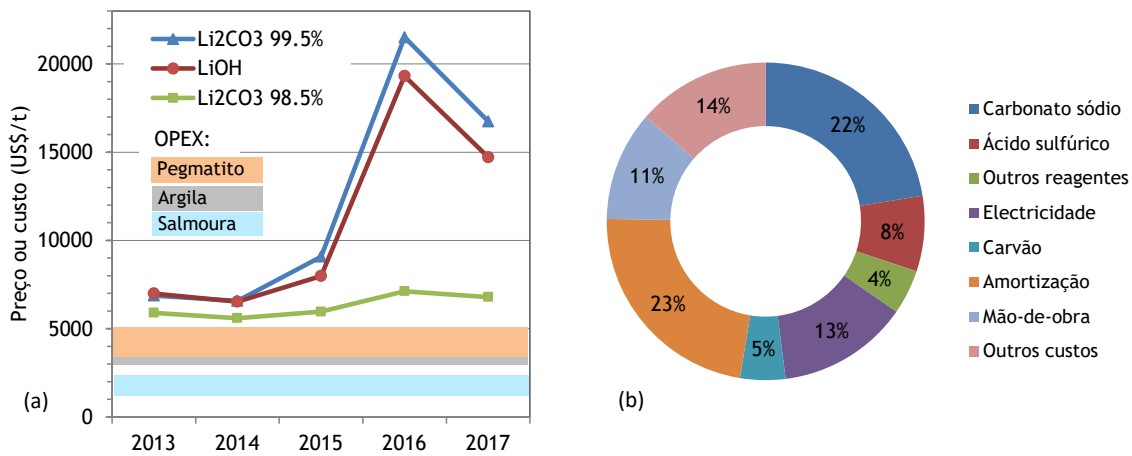


Figura 2. Preços de compostos de lítio e custos de produção. (a) Preços das principais “commodities” no mercado e valores indicativos dos custos operacionais (OPEX) por tipo de recurso; (b) Distribuição dos custos de produção de Li₂CO₃ - processo de conversão química a partir de espodumena com 6% Li₂O (exclui o custo do concentrado de espodumena).

Na Figura 2(a) também é apresentada a evolução dos preços de mercado dos principais compostos de lítio, verificando-se um elevado crescimento desde 2015, o que permite antecipar um menor risco na implementação dos processos de extração de lítio a partir dos minerais de rocha. Os dois tipos de carbonatos de lítio especificados correspondem a produtos de diferente pureza, sendo o de >99.5% o que é comercializado para a produção de elétrodos de baterias (designado de “*battery grade*”) enquanto o de >98.5% (“*technical/industrial grade*”) é comercializado para aplicações menos exigentes. O preço do hidróxido de lítio acompanha o preço do Li₂CO₃ (>99.5%), porque a sua utilização é essencialmente no mesmo tipo de produtos.

Na produção de compostos de lítio a partir de concentrados de pegmatitos, os principais fatores de produção que afetam os custos são os reagentes químicos (34%), a energia (elétrica e carvão, 18%) e a amortização (23%) (Hocking et al., 2016), tal como ilustrado na Figura 2(b). Esta distribuição de custos exclui a contribuição do preço do concentrado. Se considerarmos o custo desta matéria-prima, este pode representar cerca de 70% do custo global de produção, sendo os restantes 30% os custos tipificados na Figura 2(b). Dois aspetos devem ser realçados: primeiro, os custos com os reagentes têm uma contribuição superior aos da energia, ao contrário do que por vezes se supõe; segundo, a contribuição das amortizações é bastante significativa, devido ao elevado capital investido. Neste último ponto, merece referenciar que os investimentos típicos dos processos de produção de carbonato de lítio a partir de minerais de rocha se estimam em cerca de 10000-12000 US\$/t CLE, fora da China, enquanto na China o mesmo tipo de investimento poderá ser de apenas 6000 US\$/t CLE, para capacidades de produção elevadas (capitais estes que apenas se referem à instalação de conversão química do concentrado, portanto excluindo o processamento mineiro e mineralúrgico). Se adicionarmos cerca de 1400 US\$/t CLE de capital referente às operações de extração mineira e produção de concentrados, obtém-se um capital global de cerca de 11400-13400 US\$/t CLE. Em comparação, o investimento para a produção de carbonato de lítio a partir de salmouras (incluindo

todas as fases) estima-se em cerca de 16000 US\$/t CLE, sendo, portanto, superior ao investimento necessário para processar os minerais de rocha. A principal diferença de custos entre os dois tipos de recursos, que torna o processamento das salmouras mais económico, é essencialmente na operação e não no investimento.

2. Descrição dos processos metalúrgicos clássicos

Os minérios e concentrados de pegmatitos podem ser tratados segundo processos cuja base já foi desenvolvida há algumas décadas (Margarido et al., 2014), e que foram aplicados particularmente à espodumena, antes do desenvolvimento da extração de lítio a partir das salmouras. A Figura 3 ilustra de forma simplificada os dois processos principais utilizados (ditos “clássicos”), os quais continuam a ser basicamente semelhantes aos processos atualmente existentes, com alguns rearranjos e melhorias.

O processo de ustulação com cal é bastante simples e pode adaptar-se à produção de carbonato de lítio ou hidróxido de lítio. A fase de transformação termoquímica do mineral ocorre a elevada temperatura (próximo de 1000°C) e na presença de um agente químico, o calcário, que se transforma em cal e reage com o silicato, formando-se óxido de lítio. Este composto reage facilmente em meio aquoso, pelo que numa operação de lixiviação com água dissolve-se o lítio (na forma do seu hidróxido, solúvel) obtendo-se uma solução que após purificação permite precipitar o carbonato de lítio (por adição de Na_2CO_3) ou alternativamente obter hidróxido de lítio por evaporação e cristalização. Uma desvantagem deste processo reside na agregação dos minerais em presença da cal, que ocorre no tratamento térmico, o que dificulta o prosseguimento da reação e também o escoamento do material.

O processo de calcinação e digestão ácida foi o que obteve maior sucesso e aplicação industrial, julgando-se ser ainda hoje o que é utilizado no processamento da espodumena, nomeadamente na China. Os concentrados são transformados termicamente, na gama de temperatura 900-1100°C, ocorrendo uma transformação de fases com obtenção de β -espodumena, uma espécie muito mais reativa quimicamente do que a espodumena natural (fase α). O concentrado transformado reage então com ácido sulfúrico numa etapa de digestão ou cura, formando-se sulfato de lítio que se solubiliza por lixiviação com água. Neste processo ocorrem vários passos de purificação, porque a reação com o ácido envolve a dissolução de mais impurezas, como o alumínio, o ferro, o manganês e o magnésio. Após precipitação em várias etapas com cal e carbonato de sódio, a solução obtida, rica em lítio, é acondicionada e obtém-se o carbonato de lítio em mais uma operação de precipitação. Neste processo é ainda possível obter um subproduto, o sulfato de sódio (sal de Glauber), o que poderá acrescentar vantagens económicas ao processamento, mas tal depende da composição da matéria-prima e das exigências de pureza deste sal no mercado.

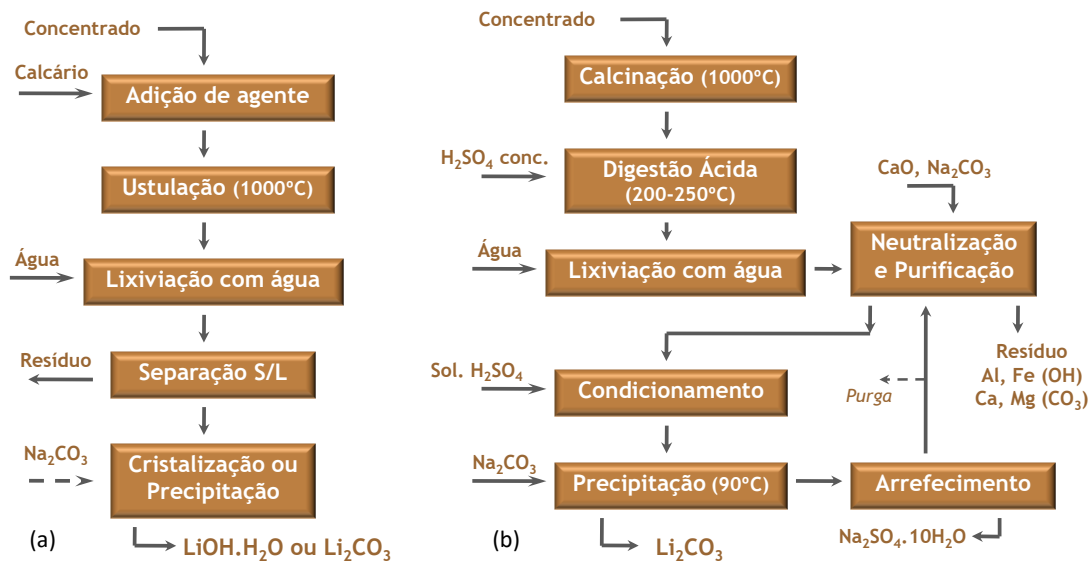


Figura 3. Processos metalúrgicos de produção de carbonato de lítio ou hidróxido de lítio a partir de concentrados de pegmatitos. (a) Processo de ustulação com cal; (b) Processo de calcinação e digestão sulfúrica.

Como já foi referido, os processos anteriores foram estudados e validados para minérios ou concentrados de espodumena. Contudo, estudos já realizados revelaram que outros pegmatitos, nomeadamente com petalite e lepidolite, podem ser processados de forma semelhante. Relativamente à lepidolite, já foi estudada há cerca de 2 décadas a aplicação do processo de digestão ácida a minérios portugueses, estudos esses que foram então desenvolvidos no ex-LNETI (depois INETI e atualmente LNEG). Foi demonstrado que a calcinação da lepidolite conduz à formação da mesma fase, a β -espodumena, pelo que o processamento subsequente será em tudo semelhante. A principal diferença reside na operação de calcinação. A lepidolite contém elementos voláteis, nomeadamente o flúor, que se liberta às altas temperaturas, exigindo um tratamento de gases adicional para a sua imobilização. O flúor também é corrosivo o que obriga a cuidados especiais relativamente aos materiais de construção dos fornos. Outro fator que torna o processamento da lepidolite mais desvantajoso é o seu teor em lítio, normalmente mais baixo do que o da espodumena, facto que tem implicações nos custos de produção. No caso da espodumena, pode considerar-se que um concentrado contendo 2.8% Li (equivalente a 6% Li₂O) é adequado para alimentar um processo de conversão metalúrgico. Pelo contrário, dificilmente se conseguem obter concentrados de lepidolite com o mesmo teor em lítio. A lepidolite é, contudo, um minério de lítio a ter em conta como recurso importante deste metal, mas cuja exploração irá sempre depender dos condicionalismos do mercado.

Um outro mineral de lítio passível de aproveitamento é a amblygonite, um fosfato. Desconhece-se qualquer aplicação industrial para a extração de lítio de minérios de amblygonite. Contudo, foram estudadas, já há bastante tempo, formas para o seu tratamento metalúrgico e que são descritas na literatura (Nogueira, 1991). Os processos propostos também utilizam uma decomposição térmica e extração com ácido sulfúrico, e posterior produção de carbonato de lítio. Pode ainda produzir-se fosfato de sódio como produto secundário.

3. Novos desenvolvimentos e novos projetos

3.1 Desenvolvimentos científicos recentes

Após cerca de duas décadas em que o lítio e seus minerais não revelaram muito interesse para os mercados nem nas áreas da investigação científica, tem vindo a observar-se nos anos mais recentes um interesse crescente neste tema. A investigação tem sido centrada em propostas de novos processos ou melhorias dos existentes. De acordo com o exposto nas secções anteriores, as principais áreas-alvo da investigação devem concentrar-se no processamento de minerais de rocha, objetivando a melhoria da sua competitividade relativamente às salmouras. Destacam-se as seguintes áreas de intervenção:

- Diminuição da temperatura e do tempo de transformação nos tratamentos térmicos;
- Eliminação da etapa do tratamento térmico, por alteração do sistema reacional ou por substituição da forma de promoção da reatividade dos minerais;
- Redução do consumo de reagentes químicos;
- Otimização dos fluxos processuais das etapas de purificação, minimizando perdas e maximizando recuperações;
- Recuperação de subprodutos para aumentar o valor económico dos processos.

Relativamente à espodumena, os trabalhos publicados recentemente envolvem diferentes alternativas de reação, mas sempre sob o mineral após transformação térmica. Apesar da conversão $\alpha \rightarrow \beta$ ser conhecida há muito tempo, continua a estudar-se essa transformação visando encontrar melhores combinações temperatura/tempo para melhorar a eficiência energética (Salakjani et al., 2016). Contudo, temperaturas menores que 950°C são inefetivas. Relativamente a reações alternativas, podem destacar-se alguns trabalhos de investigação recentes. Num deles estuda-se a ustulação por cloração (Barbosa et al., 2014), mas este processo foi aplicado à β -espodumena, admitindo-se por isso que previamente se havia realizado uma operação de calcinação, pelo que em termos energéticos não se antecipa nenhuma vantagem nesta opção. Num outro processo, utiliza-se uma lixiviação sob pressão com carbonato de sódio, também num mineral já transformado termicamente (Chen et al., 2011). Este tipo de processo de lixiviação carbonatante já havia sido estudado há muitos anos para a espodumena (Garcia e Torma, 1986) e para a lepidolite (Nogueira, 1991), sendo agora retomada a sua investigação. Também se identificou um estudo envolvendo a petalite, aplicando um processo de calcinação a 1100°C seguido de digestão com H₂SO₄ (Sitando e Crouse, 2012), que é muito idêntico ao processo clássico utilizado para a espodumena, demonstrando-se assim que para os dois tipos de minerais se podem aplicar processos similares.

A maioria dos trabalhos de investigação recentemente publicados envolve minérios de lepidolite (e também de zinnwaldite), dado que o conhecimento relativo a estes minerais é claramente menor do que o da espodumena. Estes trabalhos propõem essencialmente um tratamento térmico (850-950°C) com adição de um reagente sulfatante, de forma a permitir, num só passo, a formação de sulfato de lítio (ustulação sulfatante), que é depois facilmente solubilizado numa operação de lixiviação com água. A adição de misturas de reagentes é habitual, funcionando uns como doadores de sulfato e outros como fonte de cálcio, sendo este último utilizado para imobilizar o fluor na forma de CaF₂, evitando a sua emissão nos gases. Estes processos de ustulação com sais podem ser um pouco mais

eficientes em termos energéticos porque a temperatura de operação é normalmente menor que 900°C e os tempos de reação são vulgarmente pequenos.

Como exemplos destes estudos, a ustulação de lepidolites usando sulfureto de ferro ou sulfato de ferro, com mistura de CaO, foi proposta, mostrando-se possível obter lítio em formas solúveis de sulfatos (Hien-Dinh et al., 2015; Luong et al., 2014). O principal agente estudado na ustulação sulfatante foi, contudo, o sulfato de sódio, utilizado com ou sem misturas com outros agentes (Luong et al., 2013, Yan et al., 2012a, Yan et al. 2012b). Exemplos destas misturas são os sulfatos de sódio e potássio, com CaO como aditivo, e a mistura de Na₂SO₄ e CaCl₂. Num trabalho de investigadores portugueses, estudou-se com sucesso a utilização de misturas de gesso (CaSO₄.2H₂O) e Na₂SO₄ na ustulação sulfatante de lepidolites, objetivando reduzir os custos com os reagentes (Vieceli et. al, 2017a). A ustulação cloretante com NaCl/CaCl₂ foi também proposta (Yan et al., 2012c). A maioria destes processos consegue atingir rendimentos de recuperação de lítio acima de 85%, mas raramente superiores a 95%.

A mesma tipologia de processos de ustulação foi proposta para o mineral zinnwaldite, num caso utilizando uma mistura de sulfato/hidróxido de cálcio (Kondás e Jandová, 2006) e noutros casos com calcário (Jandová et al. 2009; Vu et al. 2013).

Também têm sido desenvolvidos processos reativos que evitam a calcinação a altas temperaturas. Neste âmbito, propôs-se a moagem de lepidolite em moinho planetário com reação química simultânea usando sulfureto de sódio como aditivo (Lee, 2015). Num trabalho recente publicado por investigadores portugueses, propõe-se também um processo de ativação mecânica da lepidolite, por moagem de alta energia, seguida de digestão com ácido sulfúrico (Vieceli et al., 2017b). Este processo de ativação mecânica, que evita a calcinação, já estava referenciado para a espodumena através de trabalhos publicados por investigadores russos (Kotsupalo et al., 2010).

3.2 Projetos metalúrgicos industriais em desenvolvimento

O crescente interesse nos recursos de lítio tem viabilizado o desenvolvimento de processos industriais para a produção de compostos de lítio a partir de minerais de rocha. São várias as empresas que têm anunciado a intenção de realizar investimentos na área metalúrgica. Descrevem-se aqui três casos, por serem aqueles em que se identificaram intenções consolidadas, nomeadamente ao nível da execução de projetos de engenharia e ações de demonstração pré-industrial (testes piloto): Nemaska, Lithium Australia e Keliber.

A informação disponível para cada um dos casos em análise é bastante díspar, sendo em alguns casos fornecida informação relevante sobre os processos e sobre a economia dos mesmos, noutros, porém desconhecem-se pormenores a todos os níveis.

Nemaska

A empresa canadiana Nemaska Lithium Inc. explora os depósitos de espodumena da região de Watabouchi e desenvolve um projeto de recuperação metalúrgica do lítio por hidrometalurgia (instalações projetadas para a região de Salabery-de-Valleyfield, Quebec) (Met-Chem Canada, 2014).

A intenção da empresa é produzir simultaneamente hidróxido de lítio e carbonato de lítio. A visão da empresa é o aumento do interesse estratégico do hidróxido de lítio como fonte alternativa ao carbonato para matéria-prima no fabrico de elétrodos de baterias de iões-Li. A instalação foi projetada para alimentar 214 kt/ano de concentrado de espodumena com um teor de 6% Li_2O (2.8% Li), e produzir 28 kt/ano de $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ e 3.3 kt/ano de Li_2CO_3 . O processo (Figura 4) baseia-se na calcinação do concentrado de espodumena (1050°C) seguido de digestão com H_2SO_4 a 200°C (processo clássico).

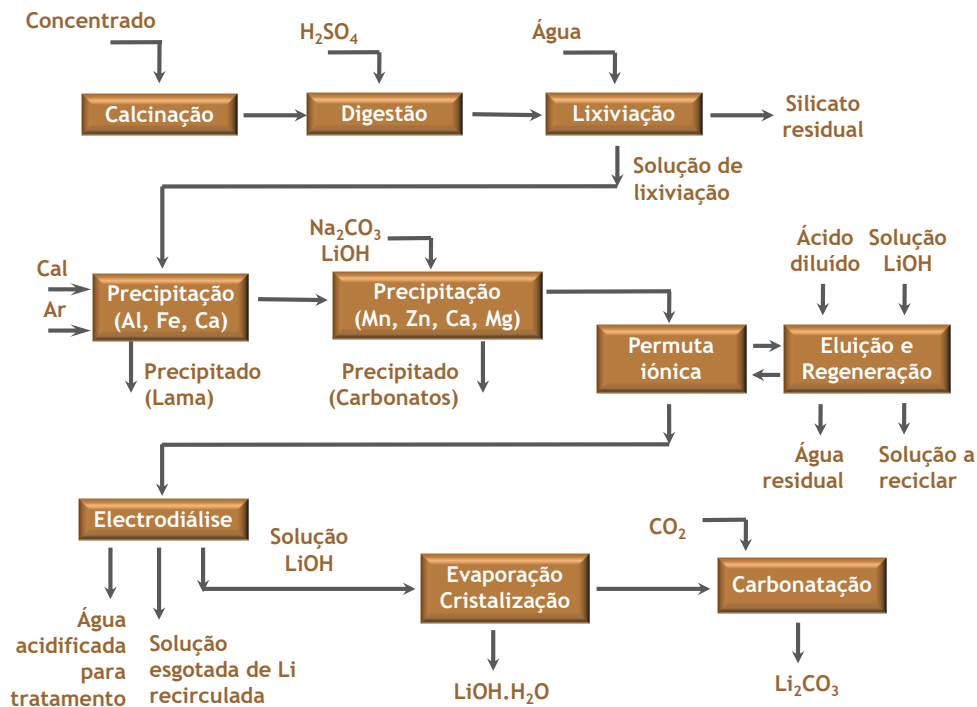


Figura 4. Processo hidrometalúrgico da Nemaska Lithium Inc.

A principal inovação são as operações de purificação, particularmente a permuta iónica, e a produção de um licor de LiOH por eletromembranas. A solução de lixiviação contendo sulfato de lítio e impurezas é conduzida a um processo de purificação em três etapas: (a) neutralização com cal com formação de precipitados de hidróxidos metálicos e gesso; (b) precipitação com carbonato e formação de um novo precipitado; (c) afinação final por permuta iónica. O licor obtido, bastante puro em lítio, é então introduzido numa operação de eletrodialise em células divididas por membranas. Nesta operação produz-se uma solução concentrada de hidróxido de lítio de onde se recupera o principal produto final, os cristais de hidróxido de lítio monohidratado, numa operação de evaporação e cristalização. A solução esgotada, ainda contendo algum lítio, é de seguida carbonatada com CO_2 , produzindo-se carbonato de lítio, o outro produto deste processo.

O investimento previsto na construção da instalação hidrometalúrgica (capital fixo) é aproximadamente 278 M US\$, equivalente em termos unitários a 5285 US\$/t CLE ou a 1300 US\$/t concentrado. Relativamente aos custos operacionais, estimam-se em 1308 US\$/t CLE (excluindo o preço do concentrado). Este valor global é da ordem de grandeza das estimativas gerais apresentadas

na secção 1 (5000 US\$/t CLE ou 1300 US\$/t CLE, respetivamente contabilizando ou não os custos do concentrado). No projeto Nemaska os custos dos reagentes químicos estimam-se em cerca de 22% dos custos operacionais, enquanto a contribuição da energia elétrica é também próxima de 22%. Desta última, os custos com a operação de eletrodiálise contribuem com quase 80% do total da energia elétrica. Esta opção justifica-se pelo facto da energia elétrica nesta zona do Quebeque ser relativamente barata.

Lithium Australia

A empresa Lithium Australia (anteriormente denominada Cobre Montana) está a desenvolver um projeto de extração de lítio, anunciando uma tecnologia inovadora de processamento metalúrgico que não necessita da etapa de calcinação prévia a alta temperatura. De acordo com fontes desta empresa, esta tecnologia irá permitir diminuir os custos de processamento dos minerais de rocha até ao mesmo nível das salmouras. A empresa anuncia um processo de que pretende ser proprietária, denominado SiLeach. Contudo, no momento ainda não há conhecimento público deste processo. A pouca informação disponibilizada apenas permite antecipar que se utiliza uma mistura de ácido sulfúrico com uma substância halogenada. A título puramente especulativo, a utilização de fluoretos poderá ser uma possibilidade, dado que se conhece o poder reativo desta espécie com os silicatos. O uso em simultâneo de H_2SO_4 poderá ser explicado pela utilização de uma fonte mineral contendo fluor, gerando-se ácido fluorídrico “in-situ” o que permitiria reduzir os custos com os reagentes. Contudo, a utilização de outros halogéneos, que não o fluoreto, poderia também ser possível. Sem mais informação, técnica e económica, deve manter-se uma certa reserva relativamente a esta opção processual.

Segundo indicações da empresa, o processo SiLeach já foi testado e demonstrado para vários minerais de lítio podendo ser aplicado a todos os silicatos comerciais contendo este metal. Para além deste processo, a empresa também anuncia um outro denominado LieNA, em meio cáustico e que diz poder ser aplicado à espodumena. Pormenores relativamente a este processo também não são públicos.

Keliber – processo Outokumpu

A Keliber Oy, empresa mineira finlandesa, desenvolve a sua atividade na extração de minérios de espodumena de depósitos da região da Ostrobothnia Central. A empresa tem demonstrado intenção de alargar a sua atividade a várias ocorrências minerais da região e tem um projeto já elaborado de produção metalúrgica de carbonato de lítio (Isohanni, 2015).

O processo foi desenvolvido pela empresa de engenharia Outokumpu Oy e encontra-se esquematizado na Figura 5. Trata-se de uma versão do processo de lixiviação em autoclave com carbonato de sódio, já conhecido há bastantes anos (vd. descrição feita na secção 3.1) mas agora fornecido a um nível industrial.

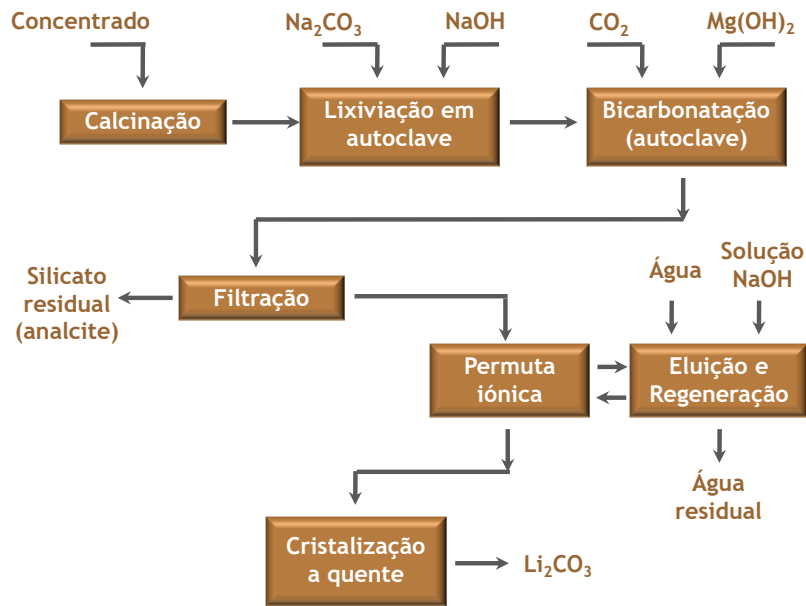


Figura 5. Processo da Outokumpu para os concentrados da Keliber.

Este processo é muito interessante na medida em que permite a formação do carbonato de lítio diretamente na principal reação química de ataque do mineral. Não dispensa, contudo, o pré-tratamento térmico a alta temperatura (1030°C, neste caso) para a conversão $\alpha \rightarrow \beta$ espodumena. A lixiviação carbonatante é realizada sob pressão, em autoclave, em meio alcalino, a uma temperatura de 220°C, gerando-se carbonato de lítio como produto da reação. Segue-se uma etapa de bicarbonatação, borbulhando dióxido de carbono, que permite transformar o lítio numa forma solúvel (bicarbonato). Esta operação também é realizada sob pressão, mas a uma temperatura próxima do ambiente (~30°C). A adição de hidróxido de magnésio nesta fase destina-se a precipitar o íão fosfato eventualmente presente em solução. A solução obtida é separada do resíduo insolúvel (essencialmente formado por analcite) por filtração, sendo de seguida purificada por permuta catiónica usando uma resina quelante, que possibilita remover da solução alguns íões multivalentes, que de outra forma contaminariam o produto final. Esta fase é inovadora, porque os trabalhos anteriormente desenvolvidos utilizando este processo não introduziam esta fase de purificação por permuta iónica. Ela, contudo, justifica-se dada a exigência de pureza para alguns produtos de lítio, nomeadamente os destinados ao fabrico de eléctrodos para baterias. A etapa subsequente é a cristalização do carbonato de lítio, a quente, que permite libertar o CO_2 dissolvido e assim transformar o bicarbonato em carbonato.

Este processo, baseado em reações químicas sob pressão, necessita de um elevado grau de controlo operacional. Além disso, os investimentos em reatores sob pressão são muito superiores quando comparados com os reatores que funcionam à pressão atmosférica. Em oposição, como o processo é muito seletivo, as operações de purificação são claramente mais simples e menos exigentes, envolvendo menos operações e um menor consumo de reagentes.

O processo da Keliber prevê uma alimentação à instalação metalúrgica de cerca de 63 kt/ano de concentrado de espodumena com 4.5% Li_2O (2.1% Li), produzido a partir do tratamento de cerca de 260-300 kt/ano de minério. A produção nominal de carbonato de lítio prevista é de 6 kt/ano, com

pureza superior a 99.5%. A empresa prevê que o valor desta produção nominal possa ser alargado para 9 kt/ano.

O investimento previsto pela Keliber é de cerca de 152 M€ (investimento base), equivalente em termos unitários a 25330 €/t CLE ou a 2413 €/t concentrado. Estes valores correspondem ao investimento e à operação conjunta das instalações de mineração, de beneficiação (concentração física) e de metalurgia. Estes valores são claramente superiores aos anteriormente apresentados para o projeto da Nemaska, mas não são diretamente comparáveis porque os da empresa canadiana correspondem apenas às operações metalúrgicas. Os custos processuais médios anuais estimados são de 24 M€/ano (381 M€ custos totais, sem amortizações, em 16 anos de tempo de vida útil), ou em termos unitários, 4000 €/t CLE. Ao contabilizarmos as amortizações, podemos estimar um custo anual médio de 5500 €/t CLE. Relativamente à estimativa da distribuição de custos, realça-se o papel muito importante da amortização que representa 40% do total dos custos operacionais, sendo a contribuição dos reagentes e da manutenção de cerca de 19% cada. A contribuição da energia neste processo é de cerca de 8%.

4. Lítio secundário: reciclagem de baterias

O interesse crescente no lítio, essencialmente motivado pela mobilidade elétrica, leva não só à necessidade da pesquisa dos seus recursos primários e do desenvolvimento de processos extrativos mais eficientes, como também deve focar-se na implementação de um sistema de economia circular. No caso das baterias, a principal aplicação atual e futura do lítio, a reciclagem é assim fundamental. A reciclagem de baterias é, contudo, complexa, devido à presença de uma grande variedade de substâncias, componentes e compostos químicos que constituem estes dispositivos. Para uma melhor compreensão, justifica-se uma apresentação muito resumida da constituição das baterias de iões-Li.

As baterias de iões-Li são dispositivos eletroquímicos (células galvânicas) frequentemente constituídos por um cátodo de um óxido misto de metais de transição trivalentes e lítio, um ânodo de grafite, e um eletrólito composto por um sal de lítio dissolvido num solvente orgânico (um carbonato de alquila). Os iões Li^+ difundem-se entre o cátodo e o ânodo durante os ciclos de carga/descarga, alterando os estados de oxidação dos metais de transição (no cátodo) e da grafite (no ânodo). A utilização de solventes orgânicos nos eletrólitos constitui um problema de segurança destas baterias, por serem potencialmente inflamáveis, o que pode causar danos em caso de curto-circuito ou outras anomalias. Contudo, os eletrólitos aquosos até agora estudados não permitem o mesmo tipo de desempenho, pelo que de momento não há alternativas viáveis aos solventes orgânicos (Goodenough e Kim, 2010).

A grande vantagem deste tipo de células secundárias é o elevado potencial (3.5-4.0 V), quando comparado com outras células do mercado, tipicamente com potenciais um pouco superiores a 1 V. As elevadas capacidades mássicas e volumétricas de energia são outras excelentes características das baterias de iões-Li. Os cátodos mais utilizados têm sido baseados na estrutura em camadas alternadas (Goodenough e Kim, 2010), sendo a mais comum a fase LiCoO_2 , mas recentemente esta tem sido substituída por outras fases alternativas do tipo $\text{Li}(\text{Ni},\text{Co},\text{Mn})\text{O}_2$, com estrutura semelhante, essencialmente motivadas pela utilização de metais alternativos ao cobalto, o qual é relativamente

raro e caro. Neste âmbito, foi proposto e aplicado outro tipo de cátodo com diferente estrutura (de olivina), o fosfato de ferro e lítio, LiFePO_4 , bastante estável e menos problemático em termos de segurança, mas com pior desempenho eletroquímico. Outro tipo de materiais catódicos propostos são as espinelas do tipo LiMn_2O_4 (Ellis et al., 2010). Quanto aos ânodos, basicamente utilizam-se pós de grafite, ocupando os íons de lítio posições intercaladas entre os planos da estrutura da grafite. Têm sido propostos outros materiais anódicos, mas ainda não foram aplicados, como os nanotubos de carbono e compósitos destes com silício (Casas e Li, 2012; Nitta et al., 2015).

Para além dos elétrodos, as baterias contêm folhas metálicas de suporte e de condução (cobre e alumínio), algumas substâncias poliméricas (separador dos elétrodos, agentes agregantes e isolantes), invólucros metálicos (aço, normalmente) e plásticos. Relativamente à composição química, uma bateria de dispositivo portátil pode conter cerca de 15-25% Co-Ni-Mn, 2-3% Li, 7-10% Cu, 5-10% Al, 20-30% Fe, 12-17% grafite e cerca de 10% de compostos orgânicos e polímeros.

O elevado teor de metais de transição, alguns com bastante valor económico como o cobalto e o níquel (preços médios de mercado de 22-33 US\$/kg e 8-15 US\$/kg, respetivamente, nos últimos dois anos), confere às baterias esgotadas um interesse acrescido para empresas metalúrgicas que operam no ramo destes metais. Contudo, o menor valor económico do lítio torna-o menos atrativo para estas empresas, que habitualmente não o recuperam. Resulta daqui uma perda de lítio nos circuitos de reciclagem.

A reciclagem de baterias de íons-Li pode assim realizar-se através de dois tipos de filosofia de tratamento: (1) através de empresas metalúrgicas especializadas em determinados metais (Co, Ni) e que já operam há muitos anos com outras matérias-primas e/ou resíduos, ou (2) através de empresas recicladoras dedicadas à reciclagem de baterias. Quanto ao tipo de processo, utilizam-se processos físicos que envolvem desmantelamento/desativação, fragmentação e separação física, e posteriormente processos pirometalúrgicos ou hidrometalúrgicos (Swain, 2017; Zeng et al., 2014; Chagnes e Swiatowska, 2015).

Nos processos pirometalúrgicos ocorre a fusão das baterias (frequentemente em conjunto com outros materiais contendo o mesmo tipo de metais) a alta temperatura, recuperando-se o níquel e o cobalto na fase metálica, sendo o lítio eliminado na escória. O níquel e o cobalto são depois separados e refinados. As elevadas temperaturas atingidas nestes processos permitem eliminar a matéria orgânica com sucesso, através de combustão completa. Nestes processos, normalmente não é necessário nenhum tipo de pré-tratamento das baterias. A empresa Umicore (uma grande unidade metalúrgica europeia, na Bélgica), opera um processo deste tipo. Também nos Estados Unidos a Xstrata tem um processo de fusão similar. Em ambos os casos, o lítio é escorificado e não é objeto de recuperação, embora na Umicore se esteja a avaliar a possibilidade de recuperar este metal a partir da escória.

Nos processos hidrometalúrgicos, as etapas de pré-tratamento e fragmentação são sempre necessárias. A primeira dificuldade relaciona-se com a presença de materiais orgânicos. Desta forma, utilizam-se frequentemente operações de fragmentação em atmosferas controladas (com gases inertes), impedindo assim a ignição provocada pelo aquecimento durante o processo mecânico. Uma alternativa para o mesmo fim são os processos criogénicos, prévios à fragmentação.

Durante a fragmentação, o material dos elétrodos, fortemente aderente às películas metálicas de Al e Cu que os suportam, pode não libertar com a necessária eficiência. Utilizando processos de pirólise

e destilação, podem decompor-se alguns materiais poliméricos, permitindo a desagregação dos pó dos elétrodos, e ao mesmo tempo recuperar os solventes do eletrólito. Também podem ser usados, nesta fase, processos de dissolução dos compostos orgânicos usando solventes apropriados. Subsequentemente, através de processos físicos (e.g. separação magnética, densimétrica e fílmica), podem separar-se alguns componentes metálicos, como o aço, o cobre e o alumínio. O material fino, rico nos pó dos elétrodos, poderá então ser processado por hidrometalurgia para recuperar os metais de transição e o lítio. Este processamento envolve a dissolução dos metais em meios ácidos e a posterior separação (do Co, Ni e Li) por operações de precipitação seletiva. Este tipo de tratamento é utilizado no processo Recupyl, de origem francesa (Saloojee e Lloyd, 2015). As baterias são fragmentadas atmosfera de CO₂, que por um lado permite as condições de segurança e ao mesmo tempo transforma o lítio (não ligado) no respetivo carbonato, que é dissolvido em água e depois precipitado e recuperado. Os materiais sólidos fragmentados são então separados fisicamente, sendo as frações metálicas separadas e valorizadas. Os pó dos óxidos metálicos são lixiviados com ácido sulfúrico e a solução resultante é sujeita operações de purificação – cementação do cobre, oxidação e precipitação do óxido de cobalto (III) hidratado – e a solução purificada, contendo o lítio restante, é re-enviada para a etapa de precipitação do carbonato de lítio.

Convém ainda referir que os processos atuais tratam essencialmente baterias portáteis. No caso das baterias de veículos elétricos e híbridos, a fase inicial de desmontagem e desativação deverá decorrer com procedimentos específicos. Os tipos de cátodo, ânodo e eletrólito são, contudo, do mesmo tipo, pelo que após as etapas iniciais o tratamento físico e metalúrgico será semelhante ao utilizado nas baterias portáteis.

Devido à complexidade da composição das baterias de íões-Li, o seu processamento em fim-de-vida não é economicamente viável *per-si*, sendo uma atividade financiada pelo pagamento de uma eco-taxa por parte dos utilizadores finais. Há muito espaço para o desenvolvimento de novas soluções e processos, pelo que a investigação científica tem aqui um papel muito relevante a desempenhar. A recuperação do lítio deverá ser um fator fundamental no desenvolvimento de novos processos, de forma a permitir no futuro a aplicação de modelos de economia circular a este metal.

5. CONCLUSÕES

A metalurgia do lítio corresponde aos processos e operações industriais que permitem produzir um composto de lítio, com valor no mercado, a partir das suas fontes minerais ou dos concentrados obtidos na beneficiação mineralúrgica. O produto metalúrgico final mais comum é o carbonato de lítio, sendo o hidróxido de lítio uma alternativa. Por isso, a produção, os custos e os rácios técnicos e económicos são frequentemente expressos por unidade de carbonato de lítio equivalente (CLE).

As duas principais fontes minerais de lítio são as salmouras (essencialmente, lagos salgados) e os minerais de rocha, principalmente silicatos como a espodumena, a lepidolite e a petalite. Em termos comparativos, pode realçar-se:

- Desde há várias décadas predomina a extração de lítio a partir de salmouras, devido ao menor custo operacional, comparativamente com a extração a partir de minerais duros.

- Embora os custos de produção variem de acordo com a região, com os teores e com outros fatores produtivos, podem indicar-se como custos de produção os valores típicos seguintes que explicam a opção metalúrgica dos últimos anos:
 - 2000 US\$/t CLE para produção a partir de salmouras;
 - 5000 US\$/t CLE para produção a partir dos minerais de rocha;
- A procura crescente de lítio no mercado tem permitido o lançamento de alguns projetos para a extração a partir de minerais de rocha, procurando soluções inovadoras que permitam reduzir os custos de produção.

Ao observar os processos de fabrico correspondentes aos dois tipos de fontes minerais, compreende-se que as diferenças nos custos resultam da complexidade relativa desses processos: enquanto o lítio nas salmouras já está numa forma solúvel em água, necessitando apenas de operações de concentração (evaporação, vulgarmente usando energia solar) e purificação, nos minerais de rocha há que realizar uma série de operações de mineração, concentração física, conversão térmica e reação química, até conseguir obter o lítio numa forma solúvel. Há, pois, neste caso, custos acrescidos nos consumos de reagentes químicos (vulgarmente o custo mais importante) e de energia.

Os processos clássicos de processamento metalúrgico, já testados laboratorialmente para alguns minérios de jazigos Portugueses, são:

- Processo de calcinação seguida de digestão ácida;
- Processo de ustulação com cal.

As principais características destes processos são:

- Normalmente alimentados por concentrados com teores na gama 4.5-6% Li₂O;
- Conversão térmica a alta temperatura (> 900°C). Nos desenvolvimentos recentes tem-se procurado diminuir a temperatura do processo de conversão ou mesmo tentar eliminar essa etapa;
- Consumo de vários reagentes químicos (ácidos, neutralizantes, agentes precipitantes). Desenvolvimentos recentes vão no sentido de gerir melhor os consumos, quer por alteração ou melhoria dos processos reativos, quer pela introdução de operações unitárias que visam uma gestão mais eficiente dos fluxos processuais.

Têm sido publicitados novos projetos para a recuperação metalúrgica do lítio a partir de minerais de rocha, nomeadamente no Canadá, na Austrália e na Finlândia.

Com a procura crescente do lítio, a reciclagem de produtos em fim-de-vida, nomeadamente das baterias de íões-Li, é fundamental para a implementação de um sistema de Economia Circular do lítio. Esta abordagem tornar-se-á estratégica com a crescente procura por veículos elétricos. Atualmente a maioria dos processos de reciclagem deste tipo de baterias estão mais focados na recuperação de outros metais (como o cobalto e o níquel), mas os processos futuros terão que encarar a recuperação do lítio como um objetivo prioritário.

Bibliografia

- Barbosa, L. I., Valente, G., Orosco, R. P., and González, J. A., 2014. “Lithium extraction from β -spodumene through chlorination with chlorine gas”, *Minerals Engineering*, 56, 29–34.
- Casas, C., Li, W., 2012. “A review of application of carbon nanotubes for lithium ion battery anode material”, *Journal of Power Sources*, 208, 74-85.
- Chagnes, A., Swiatowska, J. (eds.), 2015. *Lithium Process Chemistry*, Elsevier, Amsterdam.
- Chen, Y., Tian, Q., Chen, B., Shi, X., Liao, T., 2011. “Preparation of lithium carbonate from spodumene by a sodium carbonate autoclave process”, *Hydrometallurgy*, 109, 43–46.
- Ellis, B.L., Lee, K.T., Nazar, L.F., 2010. “Positive electrode materials for Li-ion and Li-batteries”, *Chemistry of Materials*, 22, 691–714.
- Garcia, H., Torma, A.E., 1986. “Sodium carbonate pressure leaching of a New Mexico complex spodumene ore”, *Light Metals’86*, 1001.
- Goodenough, J.B., Kim, Y., 2010. “Challenges for rechargeable Li batteries”, *Chemistry of Materials*, 22, 587-603.
- Hien-Dinh, T. T.; Luong, V. T., Gieré, R., and Tran, T., 2015. “Extraction of lithium from lepidolite via iron sulphide roasting and water leaching”, *Hydrometallurgy*, 153, 154–159.
- Hocking, M., Kan, J., Young, P., Terry, C., Begleiter, D., 2016. “Industry – Lithium” 101, Report, Deutsche Bank Markets Research, M&M - Other Metals.
- Isohanni, M., 2015. “Workshop on Raw Materials in the Juncker Plan”, EC, Brussels, 20 May 2015.
- Jandová, J., Vu, H. N., Belková, T., Dvorák, P., Kondás, J., 2009. “Obtaining Li_2CO_3 from zinnwaldite wastes”, *Ceramics – Silikáty*, 53(2), 108–112.
- Kondás, J., Jandová, J., 2006. “Lithium extraction from zinnwaldite wastes after gravity dressing of Sn-W ores”, *Acta Metallurgica Slovaca*, 12, 197–202.
- Kotsupalo, N.P., Menzheres, L.T., Ryabtsev, A.D., Boldyrev, V.V., 2010. “Mechanical activation of α -spodumene for further processing into lithium compounds”, *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 44(4), 503-507.
- Lee, J., 2015. “Extraction of lithium from lepidolite using mixed grinding with sodium sulfide followed by water leaching”, *Minerals*, 5(4), 737–747.
- Luong, V. T., Kang, D. G., An, J. W., Kim J. M., Tran, T., 2013. “Factors affecting the extraction of lithium from lepidolite”, *Hydrometallurgy*, 134-135, 54–61.
- Luong, V. T., Kang, D. J., An, J. W., Dao, D. A., Kim, M. J., Tran, T., 2014. “Iron sulphate roasting for extraction of lithium from lepidolite”, *Hydrometallurgy*, 141, 8–16.
- Margarido, F., Vieceli, N., Durão, F., Guimarães, C., Nogueira, C.A., 2014. “Minero-metallurgical processes for lithium recovery from pegmatitic ores”, *Comunicações Geológicas*, 101, Especial II, 795-798.
-

- Met-Chem Canada, 2014. “Feasibility Study on the Whabouchi Lithium Deposit and Hydromet Plant”, NI 43-101 Technical Report, Prepared for Nemaska Lithium Inc.
- Nitta, N., Wu, F., Lee, J.T., Yushin, G., 2015. “Li-ion battery materials: present and future”, *Materials Today*, 18, 252-264.
- Nogueira, C.A., 1991. “Extracção de lítio de recursos nacionais”. Provas de acesso a Assistente de Investigação (Tese), LNETI, Lisboa.
- Salakjani, N.K., Singh, P., Nikoloski, A.N., 2016. “Mineralogical transformations of spodumene concentrate from Greenbushes, Western Australia. Part 1: Conventional heating”, *Minerals Engineering*, 98, 71–79.
- Saloojee, F., Lloyd, J., 2015. “Lithium Battery Recycling Process”, Desktop Study DB-074-RP-001-A0, CM Solutions (PTY) LTD.
- Sitando, O., Crouse, P. L., 2012. “Processing of a Zimbabwean petalite to obtain lithium carbonate”, *International Journal of Mineral Processing*, 102-103, 45–50.
- Swain, B., 2017. “Recovery and recycling of lithium: a review”, *Separation and Purification Technology*, 172, 388–403.
- Vieceli, N., Nogueira, C.A., Pereira, M.F.C., Durão, F.O., Guimarães, C., Margarido, F., 2017a. “Optimization of lithium extraction from lepidolite by roasting using sodium and calcium sulfates”, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 38(1), 62-72.
- Vieceli, N., Nogueira, C.A., Pereira, M.F.C., Dias, A.P.S., Durão, F.O., Guimarães, C., Margarido, F., 2017b. “Effects of mechanical activation on lithium extraction from a lepidolite ore concentrate”, *Minerals Engineering*, 102, 1–14.
- Vu, H., Bernardi, J., Jandová, J., Vaculíková, L., Goliáš, V., 2013. “Lithium and rubidium extraction from zinnwaldite by alkali digestion process: Sintering mechanism and leaching kinetics”, *International Journal of Mineral Processing*, 123, 9–17.
- Yan, Q., Li, X., Wang, Z., Wu, X., Guo, H., Hu, Q., Peng, W., and Wang, J., 2012a. “Extraction of valuable metals from lepidolite”, *Hydrometallurgy*, 117-118, 116–118.
- Yan, Q., Li, X., Wang, Z., Wu, X., Wang, J., Guo, H., Hu, Q., and Peng, W., 2012b. “Extraction of lithium from lepidolite by sulfation roasting and water leaching”, *International Journal of Mineral Processing*, 110-111, 1–5.
- Yan, Q., Li, X., Wang, Z., Wang, J., Guo, H., Hu, Q., Peng, W., and Wu, X., 2012c. “Extraction of lithium from lepidolite using chlorination roasting-water leaching process”, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 22(7), 1753–1759.
- Zeng, X., Li, J., Singh, N., 2014. “Recycling of spent lithium-ion battery: a critical review”, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 44, 1129–1165.
-

Capítulo IX ANÁLISE “SWOT”

**Compilado e organizado por:
Março 2017**

 **Assimagra**
Recursos Minerais
Luís Martins


ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA
EXTRACTIVA E TRANSFORMADORA
Francelina Pinto

No presente capítulo é apresentada uma análise e enquadramento do aproveitamento económico do potencial mineral Português no metal Lítio, utilizando a ferramenta de gestão estratégica vulgarmente conhecida por Análise “SWOT”, cuja sigla inglesa refere os quatro indicadores que referem as principais condições de contexto – Ponto Fortes, Oportunidades, Pontos Fracos e Ameaças.

Esta análise foi construída com base nos pontos mais relevantes discutidos em todos os restantes capítulos constantes do presente Relatório.

Pontos Fortes	Pontos Fracos
<ul style="list-style-type: none">• Potencial mineral, com vários e extensos campos filonianos aplito-pegmatíticos hospedeiros de vários minerais de lítio.• Elevada atratividade para investimentos no sector mineiro, devido ao quadro legal, suporte institucional e excelente infraestrutura, materializada em várias dezenas de pedidos para prospeção e pesquisa e exploração de recursos minerais litiníferos.• Know-how elevado na prospeção, caracterização, exploração e processamento de recursos minerais litiníferos em instituições de investigação e universitárias e em empresas.• Boas práticas, apontadas internacionalmente, na inclusão dos recursos geológicos e nas atividades com eles relacionadas nas políticas e planos de ordenamento do território.• Os minérios de lítio portugueses são tecnologicamente valorizáveis, existindo evidência experimental sobre a aplicação dessas tecnologias a todos os tipos de minérios litiníferos nacionais para produzir concentrados destinados a:<ul style="list-style-type: none">- Indústria dos compostos de lítio, produzindo concentrados de minerais de lítio de alto teor;- Indústria cerâmica, garantindo “constância” de teor.	<ul style="list-style-type: none">• Desigualdade no grau de conhecimento existente sobre as várias jazidas, suportado nomeadamente por dados robustos, em especial em profundidade, que se reflete numa deficiência acentuada numa estimativa de recursos/reservas à escala nacional e que decorre da redução do investimento público e da quase total inelegibilidade dos custos de sondagens nos programas de financiamento da atividade de I&D, nacionais e europeus.• Debilidades crescentes nos recursos humanos e financeiros das instituições governamentais relacionadas com o sector mineiro.• Processo burocrático demasiado longo na decisão da atribuição de direitos de prospeção e pesquisa e de exploração de recursos geológicos.• Lacunas na ligação entre as unidades de I&DT melhor posicionadas para caracterizar e valorizar os recursos minerais litiníferos e na ligação entre elas e as empresas.• Falta de capacidade empresarial para explorar e processar lítio (metal), o qual tem sido quase exclusivamente incluído na extração e beneficiação de matérias primas minerais para a indústria cerâmica.• Falta de incentivos às empresas do sector, sem qualquer benefício fiscal e/ou relacionados com a redução de custos energéticos, numa atividade de risco que necessita de investimentos avultados, mas geradora de emprego e riqueza.

Oportunidades	Ameaças
<ul style="list-style-type: none">• Desenvolvimento de um programa de “fomento mineiro”, destinado a avaliar os recursos minerais litiníferos do País, numa ótica de valorização total do recurso aplito-pegmatítico com produção zero de resíduos.• Implantação de uma Unidade Experimental Minero-Metalúrgica com o objetivo de desenvolver conhecimento e testar tecnologias para toda a cadeia de valorização dos recursos minerais litiníferos.• Constituição de uma Unidade Piloto de Demonstração de carácter declaradamente industrial, que terá como objetivo primordial demonstrar a viabilidade económica da cadeia de valor. Se os resultados económicos vierem a mostrar-se promissores, esta Unidade de Demonstração evoluirá para uma fase de investimento industrial.• Aplicação do conceito de cluster e de economia circular, que englobe toda a cadeia de valor acrescentado do recurso primário e reciclagem, tendo também em consideração a possibilidade de introduzir recursos secundários nos processos.	<ul style="list-style-type: none">• Falta de programas financeiros específicos que impeçam o desenvolvimento das “Oportunidades”.• Esterilização de importantes recursos minerais litiníferos, devido a decisões erradas em políticas e planos de ordenamento do território.• O dinamismo e a experiência de cooperação interempresas, se não forem fortemente encorajados, podem comprometer a viabilidade de um projeto de produção de carbonato e/ou hidróxido de lítio à escala de todo o País, potenciando a criação de projetos individuais não económicos.• Legislação ambiental desadequada à exploração e processamento de minerais de lítio.• Contestação social desajustada e desinformada que provoque decisões políticas incoerentes e injustas.