

PORTUGAL ROTA DAS PIRITES NA FAIXA PIRITOSA IBÉRICA



Rota da pirite no sector português da Faixa Piritosa Ibérica, desafios para um desenvolvimento sustentado do turismo geológico e mineiro

J.X. Matos ⁽¹⁾; L.P. Martins ⁽²⁾; J.T. Oliveira ⁽²⁾; Z. Pereira ⁽³⁾; M.J. Batista ⁽²⁾; L. Quental ⁽²⁾

Departamento de Geologia Económica, Departamento de Geologia

Laboratório Nacional de Energia e Geologia – Laboratório de Geologia e Minas

R. Frei Amador Arrais 39 rc, 7801.902 Beja, Portugal ⁽¹⁾; Ap. 7586 2721-866 Alfragide, Portugal ⁽²⁾; R. Amieira, 4465-965 S. Mamede Infesta, Portugal ⁽³⁾

joao.matos@ineti.pt; placido.martins@ineti.pt; tomas.oliveira@ineti.pt; zella.pereira@ineti.pt; joao.batista@ineti.pt; lidia.quental@ineti.pt

Resumo

Mundialmente famosa pelos seus jazigos de sulfuretos maciços a Faixa Piritosa Ibérica (FPI) é hoje uma região mineira europeia marcada por projectos de excelência, como Neves Corvo, mas também por inúmeras minas abandonadas com um impacto ambiental negativo. Com cinco mil anos de mineração, a FPI possui um importante espólio mineiro do período Calcolítico, da época romana e dos séculos XIX e XX. O património geológico é também de grande interesse científico, quer pelos jazigos e sistemas hidrotermais, quer pelas sequências estratigráficas vulcânicas e sedimentares do Paleozóico Superior da Zona Sul Portuguesa.

A exploração dos jazigos de pirite, óxidos de manganês e ferro e filões de cobre, antimónio, chumbo e bário, fomentou no séc. XIX o desenvolvimento económico do Alentejo e da Andaluzia e o crescimento das suas sociedades transfronteiriças, através do nascimento das redes ferroviárias e energéticas, mas também do incremento dos cuidados de saúde, do ensino, do corporativismo e do sindicalismo. A FPI é hoje um território de conhecimento, com uma crescente actividade mineira e de prospecção. O LNEG-LGM tem contribuído para o desenvolvimento sustentado de uma rede de património mineiro, a rota da pirite, que contempla entre outras as minas de São Domingos, Aljustrel, Lousal, Caveira e Neves Corvo.

Palavras-chave: Faixa Piritosa Ibérica, património geológico e mineiro, reabilitação de minas.

Abstract

Worldwide famous by its massive sulphide deposits the Iberian Pyrite Belt (IPB) is an European mining region characterized by mining projects of excellence as Neves Corvo but also by abandoned mines with negative environmental impact. 5000 years of mining are reflected by a significant mining heritage from Calcolithic to Roman times and XIX and XX centuries extractive activities. The IPB present a significant scientific geological heritage represented by the ore deposits and associated hydrothermal systems and by the South Portuguese Zone Upper Palaeozoic volcanic and sedimentary stratigraphic sequences.

The IPB mining of the massive sulphide deposits, manganese and iron oxides and Cu, Sb, Pb and Ba dikes promoted the economic development of the Alentejo and Andalusia south Iberian regions. Mining activities improved in the XIX century the railway and power line networks, but also the increase of health care, education, corporative and union associations. Today the IPB is a knowledge territory where mining and exploration activities are being increased. The LNEG-LGM contributes to the improvement of a mining network - the pyrite route, were several Portuguese mines are considered like São Domingos, Aljustrel, Lousal, Caveira and Neves Corvo.

Key-words: Iberian Pyrite Belt, geological and mining heritage, mine rehabilitation.

1 – O LNEG-LGM e o desenvolvimento do turismo geológico e mineiro na Faixa Piritosa Ibérica

Desde finais da década de 90 o LNEG-LGM, então Instituto Geológico e Mineiro, tem vindo a desenvolver várias acções de valorização do património geológico e mineiro da Faixa Piritosa Ibérica (FPI), com o intuito de promover o turismo temático geo- eco- mineiro [27-29,31-33,35]. Esta actividade permitiu i) - apoiar em 1999 o Parque Mineiro Cova dos Mouros (mina de Ferrarias, Alcoutim) empresa privada pioneira na musealização de minas em Portugal; ii) - efectuar vários programas Geologia no Verão nas minas de Lousal, Aljustrel e São Domingos; iii) - co-organizar com o município de Mértola a exposição dedicada à comemoração dos 150 anos da Mina de São Domingos; v) - colaborar no Projecto Descida à Mina do Lousal da Fundação Frederic Velge (SAPEC/CM Grândola); vi) - implantar circuitos geo- eco- mineiros nas minas de Aljustrel, São Domingos e Ferrarias, sustentados pela cartografia geológico-mineira destes sítios.

As excelentes características geológicas e paisagísticas do Alentejo conferem-lhe um potencial enorme em termos turísticos, possibilitando a criação de um *cluster* de turismo mineiro e/ou de natureza. Através de projectos Interreg, de financiamento comunitário, foi possível integrar o trabalho desenvolvido com vários programas em curso em outros países europeus. Em 2005 foi concluído o projecto ITUR (Interreg IIIA) dedicado ao fomento do turismo geo- eco- mineiro no sul de Portugal e Espanha, numa perspectiva sustentável e transfronteiriça. O ITUR envolveu a participação de entidades como a CCDR Alentejo, os municípios de Mértola e de Aljustrel, a Região de Turismo Planície Dourada, o Parque Cova dos Mouros, a Diputación de Huelva e a Mancomunidad Cuenca Minera e permitiu estabelecer as bases de cooperação regional a nível da Faixa Piritosa cujo território abrange em Portugal o Alentejo e o Algarve e, em Espanha a Andaluzia [33,35]. Através deste projecto fomentou-se a promoção conjunta da FPI e o renascer do interesse pela cultura milenar dos seus povos mineiros. Nasce também a necessidade de se criar uma rede transfronteiriça de centros mineiros que em Portugal é representada pelos vários projectos museológicos existentes como o Parque Mineiro da Cova dos Mouros, o Museu Municipal de Aljustrel, o Museu Mineiro do Lousal, gerido pela Fundação Frederic Velge, e a Casa do Mineiro de São Domingos, gerida pelo município de Mértola [3,18,28,31-35,61,63,70]. Os laços interinstitucionais criados com o ITUR fundamentaram o estabelecimento de parcerias

regionais e o desenvolvimento de acções comuns como a promoção da FPI nos circuitos turísticos nacionais, nomeadamente na rota Lisboa – Algarve.

Através do projecto European Network of Mining Regions (ENMR - Interreg IIIC, 2007), foi possível inserir a FPI numa rede europeia de regiões mineiras que partilham os mesmos desafios de desenvolvimento sustentado, sobretudo quando a actividade mineira cessa, por motivos económicos ou por esgotamento de reservas e após décadas de actividade extractiva, se iniciam longos períodos de inactividade. No âmbito do ENMR promoveu-se o debate sobre o desenvolvimento da FPI entre os actores regionais, através de workshops participados pelas empresas mineiras e de prospecção, pelas universidades, pelos municípios, pelas entidades regionais dedicadas ao ambiente, indústria, economia e turismo e pelas organizações não governamentais (ONG's). Neste debate realizado à escala regional salientou-se o papel do turismo temático associado a áreas mineiras como actividade com impacto social e económico positivo, quer a nível local, quer a nível regional.

A *Rota da Pirite*, contemplada agora no projecto RUMYS, permite afirmar cada vez mais a Faixa Piritosa como um espaço peninsular transfronteiriço, comum ao Alentejo, ao Algarve e à Andaluzia, território profundamente marcado por uma actividade mineira milenar. Os corredores *São Domingos- Corte Pinto-Chança- Vuelta Falsa- Paymogo, Pomarão- Herrerias-Tharsis e Alcoutim- San Lucar* assumem-se como os elos de ligação entre os dois povos ibéricos, definindo-se como futuras rotas turísticas para o SW peninsular [31,33,35].

O esforço de promoção do património geológico e mineiro da Faixa Piritosa, a realizar em Portugal e Espanha, pode vir a sustentar num futuro próximo a candidatura da Faixa a património da humanidade e/ou Geoparque o que terá certamente um impacto social muito positivo, possibilitando às comunidades mineiras a preservação dos saberes e viveres acumulados ao longo de décadas de labor mineiro.

2 – A Faixa Piritosa Ibérica

Mundialmente famosa pelos seus jazigos de sulfuretos maciços a FPI é hoje uma região mineira europeia marcada por projectos de excelência, como Neves Corvo, mas também por inúmeras minas abandonadas com um impacto ambiental negativo. Com cinco mil anos de mineração, a FPI possui um importante espólio mineiro do período Calcolítico, da época romana e dos séculos XIX

e XX. O património geológico é também de grande interesse científico, quer pelos jazigos e sistemas hidrotermais, quer pelas

sequências estratigráficas vulcânicas e sedimentares do Paleozóico sup. [4,49-51, ref. inc.].

Localizada na região SW da Península Ibérica, a FPI inclui-se na Zona Sul Portuguesa (ZSP), uma das unidades geotectónicas principais do Orógeno Varisco (ver Fig. 1). A FPI é constituída por um substrato detrítico basal, o Grupo Filito-Quartzítico (GFQ) (Frasniano - Fameniano Superior), constituído por filitos, siltitos, quartzitos e quartzovaques e por um Complexo Vulcano-Sedimentar (CVS), de idade Fameniano Superior-Viseano Superior, que se lhe sobrepõe. Este complexo é constituído predominantemente por vulcanitos félsicos, básicos e intermédios, intercalados numa sucessão terrígena variada formada por xistos escuros, siltitos, x. siliciosos, x. borra-de-vinho, jaspes e chertes. A assinatura geoquímica dos vulcanitos é claramente bimodal, relacionada com distensão crustal. Sobre o CVS depositaram-se sedimentos turbidíticos de fácies *flysch* com vários quilómetros de espessura representados pelas formações de Mértola (Viseano Superior), Mira (Serpukoviano - Baskiriano Inferior) e Brejeira (Bashkiriano - Moscoviano) com idade decrescente de NE para SW, constituindo o Grupo do *Flysch* do Baixo Alentejo (GFBA) [4,10,16,31,46,49,50,52-54,68,69 ref. inc.]. A geometria da FPI desenha um largo arco com cerca de 300 km de comprimento e 30 a 60 km de largura que se estende desde Sevilha até à região de Marateca-Águas de Moura. Em ambos os extremos da Faixa as rochas paleozóicas estão cobertas por sedimentos, constituindo o soco das bacias terciárias de Guadalquivir (Espanha) e Sado (Portugal). A FPI pode dividir-se em dois ramos principais [50, ref. inc.]: um Ramo Sul com estruturas tectónicas anticlinaliais enraizadas onde a sucessão estratigráfica GFQ/CVS/GFBA se mantém, em termos gerais, na sua ordem normal ou afectada por cavalgamentos restritos aos flancos inversos das dobras; um Ramo Norte estruturalmente muito complexo, caracterizado por diversas escamas tectónicas envolvendo quartzitos e xistos do GFQ e vulcanitos e sedimentos do CVS. A continuação deste último ramo para NW, sob os sedimentos cenozóicos da Bacia do Sado, foi comprovada através de sondagens de prospecção de sulfuretos, efectuadas nesta bacia [53,54, ref. inc.]. A deformação da ZSP produziu dobras com direcção NW-SE, clivagens e cavalgamentos vergentes para SW [68-69]. O metamorfismo regional da ZSP aumenta com a aproximação das áreas interiores do orógeno varisco, de SW para NE, desde a fácies zeolítica

no extremo sul, passando pelas fácies prenhite-pumpeleite e prenhite-pumpeleite/xistos verdes na Faixa Piritosa até à fácies dos xistos verdes na Formação Pulo do Lobo [40,50, ref. inc.].

3 – Actividade mineira na Faixa Piritosa Ibérica do séc. XXI

A presença de cerca de 90 jazigos de sulfuretos maciços polimetálicos associados ao CVS da FPI, confere-lhe um estatuto de província metalogenética de classe mundial [4,10,31,35,50,52,53,64 ref. inc.]. Neste contexto destaca-se a mina de Neves Corvo, com teores muito elevados em Cu, Sn e Zn. A dimensão dos jazigos de sulfuretos maciços da FPI varia entre centenas de Mt (Aljustrel, Neves-Corvo, Rio Tinto, Tharsis, Aznalcollar - Los Frailes, Sotiel - Migollas) e 1 Mt (Chança, Montinho,...). Associado aos jazigos de sulfuretos maciços e de Mn da FPI identifica-se um metamorfismo hidrotermal (precoce em relação ao metamorfismo regional), resultante da circulação convectiva de água do mar através das rochas vulcânicas e sedimentares que sofreram acentuada lixiviação e troca iónica.

A exploração dos jazigos de sulfuretos maciços, de óxidos de manganês e de ferro e ainda de filões de cobre, antimónio, chumbo e bário, fomentou no séc. XIX o desenvolvimento económico do Alentejo e da Andaluzia e o crescimento das suas sociedades transfronteiriças, através do nascimento das redes ferroviárias e energéticas, mas também do incremento dos cuidados de saúde, do ensino, do corporativismo e do sindicalismo. A FPI é hoje um território de conhecimento, com uma crescente actividade mineira e de prospecção geofísica e geoquímica. A descoberta de um segundo "Neves Corvo" constitui o principal objectivo estratégico para as equipas de geólogos e de geofísicos que laboram na FPI pois a probabilidade de tal acontecer continua a ser elevada, sobretudo no lado português onde se conhecem apenas 9 jazigos de sulfuretos maciços (de NW para SE: Lagoa Salgada, Caveira, Lousal, Salgadinho, Montinho, Aljustrel, Neves Corvo, S. Domingos e Chança, ver Fig. 1) [35,50]. Porém, o facto do CVS se encontrar oculto em áreas muito amplas, coberto quer por sedimentos paleozóicos do GFBA, quer por sedimentos terciários das bacias do Sado e do Guadalquivir, aumenta o grau de incerteza na prospecção de sulfuretos. À semelhança do que ocorreu na descoberta de jazigos como Neves Corvo em 1977 e Lagoa Salgada em 1992, a realização de projectos de prospecção baseados em modelos geológicos e metalogenéticos de risco, mas tecnicamente coerentes, pode revelar-se um êxito [35,50,52,53,64, ref. inc.]. Actualmente aplicam-se de forma integrada várias

técnicas de geofísica e de geoquímica, com apoio de sistemas de informação geográfica tridimensionais de forma a se sustentar a realização de novas sondagens mecânicas. A existência de um banco de dados significativo sob responsabilidade do LNEG-LGM¹ possibilita às empresas um acesso muito rápido ao estado da arte de cada sector da FPI [35]. Parte do trabalho a realizar pelas equipas de projecto consiste na reavaliação da vasta informação existente e na reinterpretação dos modelos geológicos já conhecidos de modo a que se definam os horizontes-guia portadores das mineralizações sulfuretadas. Através da datação de formações sedimentares por microfósseis e da caracterização física e química das rochas vulcânicas tem sido possível efectuar um melhor controlo estratigráfico das unidades geológicas do CVS [50, ref. inc.]. Outra linha de investigação dedica-se ao estudo detalhado da história geológica de cada jazigo, nomeadamente dos factores favoráveis ao seu enriquecimento em metais (e.g., deformação varisca e alpina, zonamento hidrotermal, enriquecimento supergénico) e à investigação de minérios com elevado teor em metais preciosos (Au, Ag) e em metais de alta tecnologia (e.g., In, Se, Co).

O excelente perfil logístico da FPI em redes de transporte, de energia e de comunicação constitui um factor significativo para o investimento em prospecção. A proximidade da província relativamente às metalurgias e consumidores europeus constitui também uma clara vantagem no mercado global. Depois de um período de fraca actividade mineira ocorrido nos anos 90, onde a actividade extractiva ficou confinada apenas à mina de Neves Corvo. A subida do preço dos metais em 2004 proporcionou o reinício de projectos mineiros e o incremento de outros como Aljustrel (Portugal) e Aguas Teñidas e Las Cruces (Espanha) [35, ref. inc.]. A existência de uma legislação favorável à actividade extractiva

permite encarar com algum optimismo o desenvolvimento sustentado da actividade prospectiva e mineira na FPI durante o séc. XXI. A excelência do projecto mineiro de Neves Corvo, desenvolvido pela Somincor (Grupo Lundin Mining), tem conduzido à descoberta sistemática de novas reservas de minérios complexos estimando-se no final de 2004 que existiam ainda por explorar cerca de 27,5Mt com 5,54% de Cu, 0,44Mt

com 2,85% Sn e 50,4Mt com 5,99% de Zn [55]. A actividade extractiva desenvolvida pela empresa concessionária da mina salienta-se ainda pelo respeito pelas normas ambientais mais exigentes sendo um bom exemplo de *green mining* [14,35]. Numa região subdesenvolvida como o Baixo Alentejo, esta mina contribui em cerca de 4,2% para o peso na estrutura do emprego regional (CCDR Alentejo 2005).

Através do projecto pan-europeu ENMR concluiu-se, em meados de 2007, uma análise de tipo *SWOT* às potencialidades das áreas mineiras do Alentejo e em particular da FPI. A abordagem efectuada permitiu identificar quatro sectores empresariais onde o desenvolvimento de projectos de ID&T deve continuar a ser encarado como um objectivo prioritário, nomeadamente [35]: i) - Extracção de minérios de cobre, de zinco, de estanho, de ouro e de prata; ii) - Prospecção de jazigos minerais de ouro, de cobre, de zinco, de prata, de níquel, de crómio e de platinóides; iii) - Recuperação ambiental de áreas mineiras afectadas por drenagem ácida e por contaminação por efluentes mineiros; iv) - Dinamização do turismo temático associado a áreas mineiras. Estas políticas de desenvolvimento regional foram debatidas e acordadas entre diversas entidades, sendo essenciais ao crescimento sustentado desta região mineira.

4 – Áreas mineiras abandonadas na Faixa Piritosa Ibérica, um passivo ambiental difícil de resolver

A reduzida dimensão e baixo teor da maioria dos jazigos da FPI conduziu ao encerramento da quase totalidade das minas, caracterizando-se actualmente a província como uma região mineira maioritariamente em fase *post-mining*. Porém, no passado, a existência de numerosas ocorrências de minérios de cobre, ferro e manganês na FPI foi certamente determinante no modo de vivência das populações residentes, tendo existido mineração desde o Calcolítico e durante a ocupação por tartéssios, fenícios e cartagineses [3,18,26,27,31,35,51,52

¹ O LGM possui uma considerável base de dados sobre a FPI, nomeadamente sobre cartografia geológica, sondagens (mais de 650, correspondentes a mais de 218km de perfuração), resultados analíticos de rochas, minérios, escombrelas, solos e sedimentos, valores de gravimetria, magnetometria, sísmica, polarização induzida, magneto-telúrico, métodos electromagnéticos, radiometria e densidades de testemunhos. O banco de dados é oriundo de projectos próprios e privados, referentes a mais de 55 contratos de prospecção realizados com o Estado desde 1965, correspondentes a um investimento superior a 100M€.

ref. inc.]. Na época romana foram intensamente explorados vários jazigos de sulfuretos da Faixa Piritosa como São Domingos, Aljustrel e Caveira em Portugal e Rio Tinto e Tharsis, em Espanha, sobretudo na sua parte mais superficial, marcada pela existência de amplos *chapéus de ferro*. Os povos árabes pouco se dedicaram à actividade extractiva antes preferindo negociar em entrepostos (caso de Mértola) os concentrados de metais extraídos pelas populações autóctones. No seguimento da revolução industrial do séc. XIX reinicia-se a exploração de sulfuretos extraindo-se grandes volumes de minério com vista à obtenção de cobre, pirite e enxofre. Em Portugal, a lavra operada em São Domingos, Aljustrel, Caveira e Chança estende-se posteriormente, durante o início do séc. XX, às minas de Lousal e Montinho situadas no sector NW da FPI.

Além das massas de pirite ocorrem ainda na Faixa depósitos de ferro e manganês estratiformes e mineralizações filonianas tardi a pós-variscas de cobre, antimónio, chumbo e bário. Enquanto que estes jazigos foram explorados na sua maioria na segunda metade do séc. XIX, a extracção de óxidos de ferro e manganês decorreu até à passada década de setenta. A mina do Cercal [8,26,35] foi a última exploração deste tipo em Portugal, tendo encerrado em 2001 a extracção de minério nos jazigos Serra da Mina e Rosalgar, na sequência do fecho da siderurgia do Seixal, localizada a sul de Lisboa, único cliente da empresa.

Ao contrário das explorações modernas como Neves Corvo, os projectos mineiros desenvolvidos no séc. XIX e até ao terceiro quartel do séc. XX caracterizavam-se por serem ineficazes relativamente à diminuição do impacto da indústria extractiva no meio ambiente [35]. Com o abandono das áreas mineiras, após o fim da extracção, as poucas infra-estruturas de protecção ambiental revelaram-se rapidamente ineficazes devido a falta de manutenção e crescente abandono. Este cenário, comum à generalidade das minas abandonadas portuguesas, traduz-se por um passivo ambiental negativo, sobretudo ao nível das redes hidrográficas, nos sectores situados a jusante dos focos poluentes. Em 2002 o Instituto Geológico e Mineiro, actual LNEG-LGM, concluiu um estudo de diagnóstico ambiental das áreas mineiras portuguesas, o qual incidiu também sobre dezenas de minas da FPI [26,35,41,42,45, ref. inc.]. A maioria das minas diagnosticadas nesta província metalogenética (ver tabela I e Figura 2) encontra-se numa situação de total abandono, testemunhando com as suas ruínas períodos não muito distantes em que a actividade extractiva se desenvolvia afincadamente. A quase totalidade das explorações mineiras abandonadas

estudadas não possui estruturas adequadas que minimizem o seu impacto ambiental, como consequência directa da ausência de programas de manutenção e de monitorização após o seu processo de fecho. O vazio de responsabilidades que entretanto se formou após o encerramento de cada mina, torna hoje difícil a aplicação do princípio do poluidor/pagador, cabendo ao Estado, através da empresa EDM, a resolução do passivo ambiental herdado [5,13,14,35,38,58,59,62,66, inc.ref.]. À excepção da mina de Neves Corvo, todas as explorações mineiras do sector português da FPI apresentam impactes ambientais significativos, sobretudo ao nível da rede hidrográfica. A ribeira de São Domingos, afluente dos rios Chança e Guadiana, e as ribeiras do Roxo, de Corona e de Grândola, afluentes do rio Sado, constituem os cursos de água que se encontram mais afectados pela drenagem não controlada de efluentes ácidos provenientes respectivamente das áreas mineiras de São Domingos e de Aljustrel, Lousal e Caveira. Os troços da rede hidrográfica situados a jusante destes centros mineiros encontram-se afectados em vários quilómetros com águas de pH ácido (2,5 a 4) e elevada condutividade. Os sedimentos recolhidos em São Domingos apresentam teores significativos em Pb, As, Sb, Cu, Zn, Fe, Ag (V, Cr). Na ribeira da Água Forte, situada a NE de Aljustrel foram analisados sedimentos anómalos em Pb, Zn, Cu, As, Sb, Fe, P, Cr e V [1,5,6,15,20,35 ref. inc.]. Contudo, este impacto nos ambientes fluviais não é tão marcado como o verificado em Espanha, em parte devido à existência de algumas estruturas de retenção de materiais finos nas minas portuguesas (ex. São Domingos, Lousal, Aljustrel), em parte devido ao clima seco do Alentejo e consequente fraco caudal observado nos cursos de água durante grande parte do ano. Por outro lado, alguns elementos químicos potencialmente geradores de risco ambiental como o Pb, não apresentam uma significativa mobilidade para o meio aquoso (ex. Pb em resíduos sólidos na mina de São Domingos) [1,20].

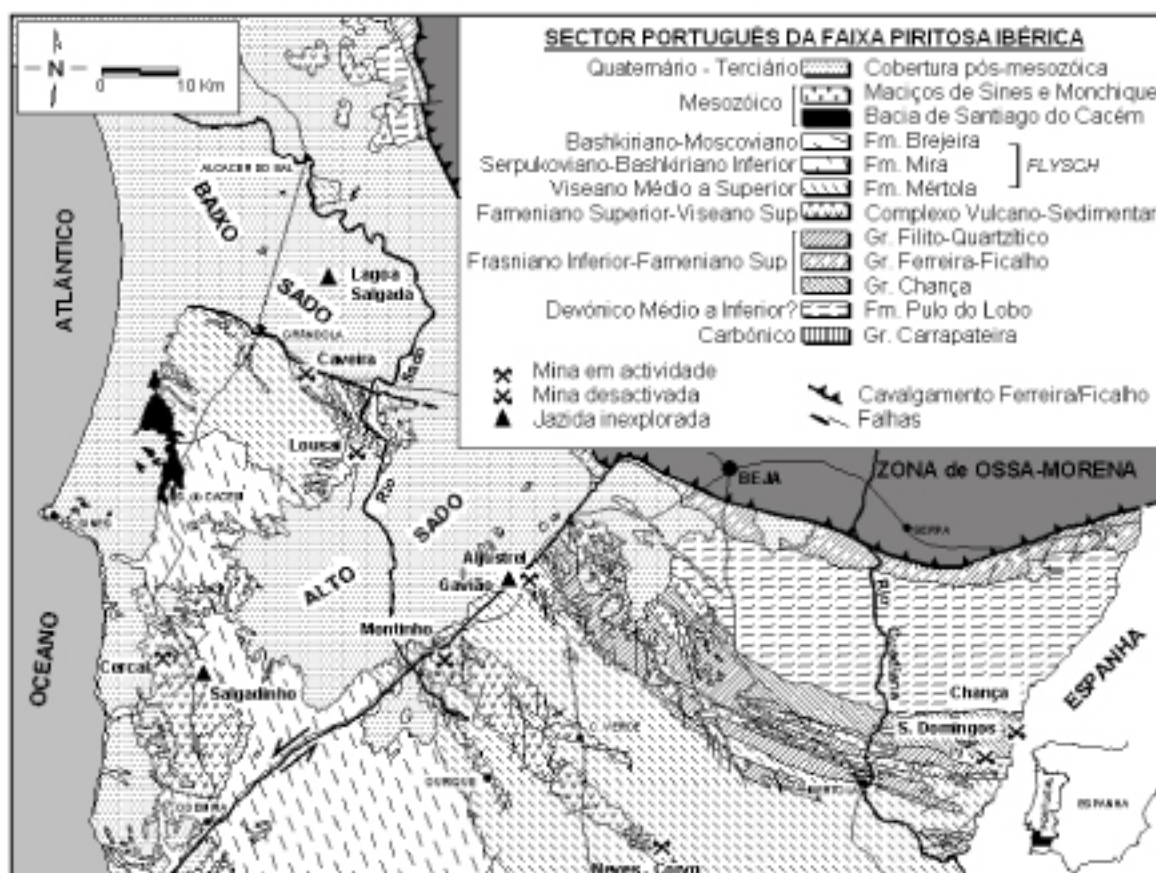
Recentemente o LNEG-LGM realizou a cartografia geológica e mineira destas áreas mineiras, em escala de grande detalhe (1/2500) o que possibilitou uma melhor compreensão da tipologia de resíduos mineiros, do modo como se procedeu a actividade extractiva e do tipo de erosão que afecta as escombrelas e as infra-estruturas mineiras como cortas, poços, campos de cementação e de lixiviação, etc. [21-24,35,36]. Outros programas de investigação como os projectos MINEO e e-ECORISK, cofinanciados pelo Programa-Quadro de Investigação da EU [58-60, ref. inc.], permitiram também obter um melhor conhecimento dos problemas ambientais das minas de São Domingos e de Aljustrel, a partir da aplicação de

técnicas inovadoras de monitorização como a detecção remota de alta resolução espectral e espacial, a análise de risco e o estudo geoquímico de solos, de sedimentos, de rochas e de águas de mina.

A hierarquização dos impactos ambientais das minas da FPI [35,45] possibilitou a produção de um ranking de perigosidade ambiental para esses sítios mineiros, o qual serviu de base aos trabalhos de remediação a cargo da empresa EDM, concessionária do programa de reabilitação de áreas mineiras [19]. A metodologia de avaliação utilizada em cada mina contemplou a análise química multielementar de escombrelas, sedimentos e de solos, e a caracterização dos minérios explorados, das técnicas de extracção, da estabilidade das infra-estruturas ainda existentes, assim como a identificação do uso da terra e da água. Neste estudo as minas de sulfuretos da FPI surgem com um grau de perigosidade elevado devido aos grandes volumes de escombrelas observados e ao tipo de resíduos caracterizados por terem teores elevados de metais como Cu, Pb, Zn, As, Sb. As minas de São Domingos, Aljustrel e Caveira destacam-se ainda pela presença de áreas significativas cobertas por escombros e por drenagem ácida de mina.

A contaminação dos solos pela actividade mineira é muito focalizada, verificando-se uma fraca dispersão química. A topografia suave do Alentejo, a fraca pluviosidade aqui observada e a baixa densidade populacional contribuem para uma estabilização acentuada das escombrelas. As áreas mineiras da FPI caracterizam-se ainda por serem inseguras [35,38], sendo comum a ausência de vedações em cortas e poços o que facilita o seu mau uso como local de vazadouro de lixo e de entulhos (ex. Aljustrel).

As minas de menor dimensão como Chança e Montinho (Py) e Ferragudo, Balança e Cercal (Mn, Fe) evidenciam um impacto ambiental muito inferior ao das grandes explorações de sulfuretos maciços. A maioria das suas escombrelas apresenta uma boa estabilidade fruto do reduzido volume e altura, geralmente <3m. No entanto, a utilização de escombros para pavimentação de caminhos, por parte de privados e serviços municipais, tem sido responsável pela reactivação da dispersão química como acontece em de São Domingos, Lousal, Caveira, Montinho, Ferragudo, Balança e Barrigão. Nestas áreas mineiras foram também observados fenómenos de erosão por abarrancamento e/ou deslizamento, muitas vezes facilitados pela ausência de coberto vegetal [21-24,35,38,45].



A empresa pública EDM detém os direitos de concessão do programa de recuperação das áreas mineiras portuguesas desde 2001 (Decreto-Lei nº198-A/01), em particular da resolução do passivo ambiental referente à actividade extractiva desenvolvida até à publicação da actual lei de minas em 1990 (Dec.-Lei nº 90/90). A EDM tem vindo a executar estudos de reabilitação ambiental e de caracterização das áreas mineiras ocupadas pelas principais minas de sulfuretos maciços, nomeadamente Aljustrel, São Domingos, Lousal e Caveira. Os modelos de intervenção propostos pela empresa privilegiam a concentração de escombros num local central, condicionada às características de cada espaço mineiro, o isolamento superficial das escombrelas através da sua cobertura com terra vegetal e, o controle de efluentes ácidos através da execução de valas perimetrais, da construção de bacias de evaporação e de pantanais de ribeira (*wetlands*) e do fecho de galerias e poços mineiros [14,19,35,38,41 ref. inc., www.edm.pt].



Figura 2 – Perigosidade ambiental em áreas mineiras da Faixa Piritosa Ibérica [35,45]: 5 – grau máximo, 1 – grau mínimo. Áreas mineiras: sulfuretos maciços: 1 – Caveira, 2 – Lousal, 3 – Aljustrel, 4 – São Domingos, 5 – Chança, 6 – Montinho; Cu filoniano: 7 – Barrigão, 8 – Ferrarias, 9 – Juliana; Sb filoniano: 10 – Cortes Pereiras; óxidos Mn, Fe: 11 – Saramaga, 12 – Cercal, 13 – Lagoas do Paço, 14 – Ferragudo, 15 – Balança.

A remediação do impacto ambiental das minas de pirite da FPI tem sido condicionada pela acentuada complexidade das estruturas geológicas aí existentes e pelo tipo de extracção realizado. A contaminação de aquíferos é facilitada pela presença de falhas com rejeitos assinaláveis e pela extensão dos trabalhos subterrâneos

que, em certos casos como Aljustrel, Caveira, São Domingos e Chança remontam à época romana. Além da drenagem ácida de origem mineira, verifica-se também no caso das massas de pirite aflorantes, uma contaminação de origem natural (litológica) associada à sua alteração meteórica, de que são exemplo São Domingos, Algares e S. João (Aljustrel), Chança, Montinho, Caveira e Lousal. A amplitude do impacto ambiental das minas de sulfuretos implica um esforço financeiro considerável na sua reabilitação, estimando-se uma verba de 13,6M€ em estudos e obras de reabilitação ambiental para o período 2005-2009 [19,35]. Estes programas têm sido discutidos com os agentes económicos e autárquicos locais, de modo a que a aplicação das medidas de recuperação seja consonante por um lado com a protecção e valorização do património mineiro e geológico existente, por outro com a continuidade a baixo custo da monitorização e manutenção das infra-estruturas edificadas pela EDM.

5 – A rota da pirite no sector português da Faixa Piritosa Ibérica

A Faixa Piritosa caracteriza-se por um vasto património geológico patente em várias macro-estruturas onde as formações principais estão representadas em boas condições de afloramento. São exemplos clássicos na literatura os cortes geológicos de unidades do CVS, do GFQ ou do GFBA, expressos nas antiformas do Pomarão, da Estação de Ourique, de Castro Verde e do Cercal, nos alinhamentos de Serra Branca e de Albernôa e nos vales dos rios Guadiana e Sado, ou das ribeiras de Barrigão, Foupana e Odeleite [31,47,48,50, ref. inc.]. Algumas áreas mineiras como São Domingos, Chança, Aljustrel, Lousal e Caveira apresentam diversas cortas e galerias que expõem as estruturas geológicas locais e também os jazigos de sulfuretos e respectivos sistemas hidrotermais associados. A actividade extractiva desenvolvida na FPI, desde o Calcolítico, reflecte-se actualmente através de um variado espólio de artefactos e maquinaria mineiras que se encontram preservadas em núcleos museológicos como é o caso de Aljustrel, Lousal e São Domingos. Estas povoações apresentam também uma arquitectura muito marcada pela vida mineira, sendo inúmeros os bairros que denunciam a estratificação social, comum em centros habitacionais de origem empresarial do séc. XIX e XX. Alguns bairros operários com o característico casario disposto em banda, encontram-se ainda bem preservados, servindo de lar a dezenas de famílias mineiras como é o caso de Valdoca, Plano e São João, em Aljustrel, de Quartéis, no Lousal, e de Romana, Alto e

Violeta em São Domingos. Contrastando com a simplicidade desta arquitectura urbana sobressaem os palacetes das administrações mineiras de Caveira, Aljustrel, Lousal e São Domingos. A nobreza dos dois últimos edifícios justificou recentemente a sua transformação em hotéis de charme. A actividade permanente dos núcleos museológicos tem permitido a salvaguarda de um espólio significativo, o qual tem servido de base a exposições temáticas [3,18,61] e numerosos trabalhos de investigação.

Tabela I - Avaliação preliminar da perigosidade ambiental de áreas mineiras da Faixa Piritosa Ibérica [35,45, ref. Inc.]

Mina	Exploração	Segurança	Volume de escombros	Estabilidade de de escombros	Metais	Solos e sedimentos	Rede hidrográfica	Paisagem	Povoações, ralo 10km	Uso do solo	Uso da água	AVP
São Domingos (Py)	CS	C3P2	3	3R	3	3	3	3	10A	APF	-	5
Lousal (Py)	CS	C3P2	3	3R	3	3	3	3	2V3A	F	-	5
Caveira (Py)	CS	C3P3	3	3R	3	3	3	3	2V1A	F	-	5
Aljustrel (Py)	CS	C2P1	3	3	3	3	3	3	1V6A	P	-	5
Chança (Py)	S	P3	1	3	3	3	2	2	2A	APF	-	4
Montinho (Py)	CS	P3	1	2R	3	3	1	2	1V2A	APF	-	3
Ferragudo (Mn)	CS	C2P3	2	1R	2	2	1	2	1V2A	APF	-	3
Rosalgar (Mn)	CS	C2P2	1	2	2	3	1	2	1V1A	APF	RGH	2
Balança (Mn)	CS	C1P1	2	1R	2	2	2	2	2A	P	-	2
Lag. do Paço (Mn)	CS	C1	1	1	1	2	1	1	2V2A	AP	-	1
Saramaga (Mn)	CS	C2	1	1	1	-	1	1	3A	PF	-	1
Juliana (Cu)	S	C1	1	1	2	2	2	1	4A	APF	GH	2
Barrigão (Cu)	S	P3	2	2R	3	3	2	2	2A	P	-	2
Ferrarias (Cu)	S	P1	1	1	2	2	1	1	1V1A	PF	G	1
C. Pereiras (Sb)	S	P2	1	2	3	3	2	2	1V1A	APF	R	3

Avaliação preliminar (AVP): grau máximo (5) a mínimo (1), outros parâmetros: 3 – elevado, 2 – médio, 1 – baixo. Tipo de exploração: C – corta, S – subterrânea. Segurança: C – cortas, P – poços Estabilidade de escombros: R – Remoção de escombros recente. Povoações: V – vilas, A – aldeias. Uso do solo e da água: A – agricultura, P – pastorícia, F – floresta, R – rega, G – gado, H – consumo humano.

Ao significativo património geológico e mineiro da FPI contrapõe-se um património natural muito marcante que caracteriza a paisagem da planície mediterrânica do Baixo Alentejo e da serra algarvia. Esta riqueza ecológica encontra-se expressa em vários habitats que fazem parte da rede Natura e de alguns parques e reservas naturais do país. As características peculiares do território ocupado pela FPI definem-se também por uma agricultura pouco intensiva de pastoreio e de sequeiro, o que permite sustentar a realização de vários percursos de turismo de natureza, onde, a par da observação da flora e da fauna, se insere o turismo geo-mineiro. A geodiversidade que caracteriza as áreas mineiras, reflecte-se em ecossistemas específicos de grande interesse científico, resultantes da adaptação do meio natural às alterações provocadas pela extracção de minérios [35].

A *rota da pirite* fundamenta-se no sector português da FPI numa rede de centros mineiros nucleares – Lousal, Aljustrel, Neves Corvo e São Domingos, relativamente próximos entre si, com distâncias inferiores a 45km, que se percorrem de automóvel em tempos inferiores a 1h. Esta proximidade permite a realização de percursos de visita curtos e de complementaridade [26,31-35,47,48], à semelhança do que ocorre em outras regiões mineiras europeias de sucesso como é o caso de Gales e da Cornualha no Reino Unido. Em termos de rotas turísticas nacionais a FPI encontra-se entre os percursos Lisboa-Algarve e Lisboa-Andaluzia, inserindo-se na Região de Turismo Planície Dourada. Este enquadramento geográfico é fundamental para a promoção turística da FPI, surgindo o turismo geológico e mineiro como um circuito temático alternativo à oferta turística da região [70]. A riqueza etnográfica e gastronómica do Alentejo permite ainda a complementaridade de programas destacando-se o exemplo da mina do Lousal, onde a Fundação Frederic Velge tem realizado um trabalho de gestão notável, oferecendo ao visitante além da visita ao Museu Mineiro, o contacto com um centro de artesanato, onde operam antigos mineiros, um mercado com produtos regionais, um restaurante situado no antigo armazém mineiro, um auditório e uma albergaria [28,37,63]. Em 2008 esta fundação irá inaugurar um centro de Ciência Viva que irá catalizar o projecto de turismo mineiro no Lousal e, certamente, nas outras minas da FPI. Segundo estudos de mercado da Região de Turismo Planície Dourada [70] o turismo temático mineiro pode representar uma mais valia para a região dada a sua diversidade, a sua inserção no segmento de *short-breaks* e a possibilidade de complementar outras ofertas turísticas existentes como a praia, o golfe e o

enoturismo. O turista comum deste mercado temático é geralmente da classe média-alta, exigente e pretende fundamentalmente ampliar o seu conhecimento e conhecer novas realidades.

Pelas regiões fronteiriças de São Domingos-Pomarão e de Alcoutim passam as principais rotas de ligação às regiões do Andévalo mineiro andaluz. Além das minas de pirite, a partilha comum do espaço transfronteiriço dos vales dos rios Chança e Guadiana é uma mais valia para a definição de rotas ibéricas na FPI [31,33,35]. Ao centralismo actual da mina de Rio Tinto em Espanha, contrapõe-se em Portugal o desenvolvimento em rede de centros mineiros, onde se salientam as mais valias e as especificidades de cada sítio. Se em São Domingos sobressai a nobreza da paisagem mineira, sublinhada pela corta inundada e pela variada tipologia de escombros e pela aridez do vale e das fábricas de enxofre da Achada do Gamo, em Aljustrel destacam-se os imponentes afloramentos do chapéu de ferro de Algaes, da corta de S. João e das pedreiras de Malpique e do Moinho (ver Tabela II). Minas de média dimensão como a de Lousal apresentam igualmente vantagens no seu aproveitamento turístico uma vez que possibilitam a realização de percursos pedonais de curta dimensão. Mesmo um pequeno parque temático como a Cova dos Mouros, desempenha um papel fundamental na rede de sítios, constituindo um elo de ligação ao amplo mercado de turismo do Algarve. A realização de visitas com guia constitui, por vezes, a melhor solução para as áreas mineiras de acesso difícil e de elevada insegurança como a mina da Caveira [24,26,31,35].

As pequenas minas de cobre das regiões de Imodôvar, Martinlongo e Odeleite e as de óxidos de manganês de Castro Verde [25], Mértola e Cercal, podem ainda ser incluídas em percursos temáticos todo-o-terreno seguros, devidamente apoiados por *road-field books* com localização em sistema de GPS. Porém, na dinamização do interesse pelas áreas mineiras alguns afloramentos devem ser resguardados de qualquer dano pelo seu interesse científico e/ou raridade, como as jazidas de fósseis e os afloramentos de sistemas hidrotermais e de minerais.

O conhecimento profundo de cada área mineira, expresso pela sua cartografia de detalhe, permite também a identificação dos principais focos poluentes e de insegurança de cada mina [21-24]. A partir da experiência adquirida com a valorização do Parque Mineiro Cova dos Mouros e com os recentes projectos ITUR, ENMR e diagnóstico ambiental de áreas mineiras, o LNEG-LGM contribuiu de forma significativa para o desenvolvimento da rede de sítios mineiros portugueses

da FPI [35]. Em São Domingos, Aljustrel e Cova dos Mouros encontram-se já implantados vários percursos geo-eco-educacionais que abordam temas das geociências como a estratigrafia, a metalogenia, a paleontologia, a geologia estrutural e a geomorfologia e outros como a fauna, a flora e os ecossistemas de cada região e o seu património mineiro. Sempre que possível, o apoio aos trajectos é assegurado pelas entidades gestoras daqueles territórios mineiros como os municípios de Grândola, Aljustrel e Mértola e a empresa Guadiana Parque (Cova dos Mouros) [26-29,35-37,63].

A metodologia desenvolvida na concepção dos percursos geo-ambientais contempla a implantação de trajectos devidamente assinalados com painéis, que são percorridos de forma autónoma pelos visitantes. Em cada painel é fornecida informação técnica de qualidade sobre cada lugar, tendo sido realizado um esforço na sua descodificação, privilegiando-se a comunicação com o visitante. A produção de mapas de sítio mineiro simplificados [33,35], onde são referenciados os principais elementos patrimoniais de cada área, constitui um factor fundamental na percepção do *espaço-mina*, do modo como aí decorreu a actividade extractiva e do impacto desta no meio ambiente. As autarquias e as fundações locais têm assumido um papel fundamental no envolvimento das populações residentes com os projectos de musealização em curso. A abertura de exposições temáticas em São Domingos, Aljustrel e Lousal teve já repercussões assinaláveis a nível social, tendo contribuído também para o crescimento económico de cada concelho. Destaca-se em termos de números de visitantes (22000) a exposição comemorativa dos 150 anos da Mina de São Domingos [61], a qual esteve também exposta em Sacavém, junto a Lisboa, onde reside actualmente a maioria dos trabalhadores da antiga mina, devidamente organizados pela Associação Liga dos Amigos da Mina de São Domingos.

Património mineiro: A – povoado mineiro; L – lavaria/estação de processamento; P – malacates, poços e galerias; C – chaminés metalúrgicas. **Geologia:** M – minério; H – alterações hidrotermais; G – litologias e estruturas tectónicas com interesse científico e/ou pedagógico. **Segurança mineira (S):** + mina segura, - mina perigosa. **ID – Interesse didáctico:** 1 – Moderado, 2 – Interessante, 3 – Muito Interessante.

Tabela II - Minas portuguesas da Faixa Piritosa com património geológico e mineiro mais significativo [35].

Mina	A	L	P	C	M	H	G	S	ID
S. Domingos (Py)	♦	♦	♦	♦	♦	♦	♦	-	3
Aljustrel (Py)	♦	♦	♦	♦	♦	♦	♦	-	3
Lousal (Py)	♦	♦	♦	-	♦	♦	♦	+	3
Caveira (Py)	♦	♦	♦	-	♦	♦	♦	-	3
Chança (Py)	-	-	♦	-	-	♦	♦	-	2
Brancanees (Cu)	-	♦	♦	♦	♦	-	-	+	3
Ferrarias (Cu)	-	-	♦	-	♦	-	-	+	2
Rosalgar (Mn)	-	♦	♦	-	♦	-	♦	+	2
Ferragudo (Mn)	-	♦	♦	-	♦	-	♦	-	1

5.1 – Principais sítios mineiros da rota da pirite

5.1.1 – A mina de São Domingos

O jazigo de São Domingos é constituído por uma única massa de pirite sub-vertical, de direcção aproximadamente E-W, com cerca de 537m de extensão e 45m de largura, atingindo na sua área leste uma possança máxima de 70m [5,6,9,21,36,38,43,48-50,58,59,72, ref. inc.]. O depósito localiza-se a topo de uma sequência constituída por xistos negros e vulcanitos ácidos, básicos e intermédio-básicos do CVS. O stockwork da massa encontra-se bem desenvolvido no lado norte da corta e é marcado pela presença de uma rede entrançada de velos de pirite com matriz siliciosa e espessura centimétrica. O sistema hidrotermal é também reflectido por alteração clorítica e siliciosa nas zonas proximais e sericitica nas áreas distais. O jazigo de São Domingos evidencia uma polaridade com tecto para sul, reflectida pela localização do stockwork e pelo seu zonamento interno, definido por um enriquecimento em cobre a norte e em zinco mais a sul e a oeste [72]. Embora mal conhecida, a paragénese da mineralização de São Domingos deveria ser certamente constituída por pirite, esfalerite, calcopirite, galena, arsenopirite e sulfossais, referenciando-se teores de 1,25% Cu, 2-3% Zn e 45-48% S [9]. A massa de pirite apresenta uma forma lenticular com uma diminuição natural da sua possança para oeste, sector onde se encontra seccionada pela falha Webb de direcção N45°W [36,38].

A mina de São Domingos constitui um ícone na arte mineira portuguesa pelo património geológico-mineiro

al existente, pelo longo período em que foi explorada, entre 1857 e 1966, e pelo seu impacto económico e social na região sul do país. A parte mais superficial do jazigo, marcada pela existência de um amplo chapéu de ferro, foi explorada durante a época romana através de vários poços e galerias, existindo indícios de actividades mineiras mais antigas, provavelmente do período Calcolítico [12,27,35,36 ref. inc.]. O chapéu de ferro do jazigo e os escoriais romanos associados foram descobertos por Nicolau Biava em 1854, iniciando-se a exploração da mina em 1857 pela empresa Mason & Barry. Após uma fase inicial marcada pela mineração subterrânea da colina onde se localizava o depósito, a partir de 1867 desenvolveram-se escavações em corta a céu aberto, de forma a ampliar o volume de minério extraído (Figura 3). Esta alteração dos métodos de extracção conduziu à remoção de 3 milhões de m³ de rocha até 1880 e obrigou ao desmantelamento da primeira aldeia mineira, da casa de direcção e da capela de São Domingos, tendo então provocado acentuadas tensões sociais [9,12,36,48,61,ref. inc.]. Até 1966 a companhia concessionária Mason & Barry viria a explorar cerca de 25 milhões de toneladas de minério, atingindo a corta 120m de profundidade e as galerias e poços subterrâneos 420m. Após o fim da extracção mineira a empresa produziu ainda concentrados de cobre até 1972, então obtidos pelo processo de cementação, caracterizado pela imersão de sucata de ferro em tanques percolados por águas ácidas, enriquecidas em metais, previamente bombeadas da mina. No piso -150m a rede de galerias distribuía-se numa extensão de 1080m, entre o poço nº 6 (malacate de extracção das águas de mina situado próximo das oficinas ferroviárias) e o poço nº 7, localizado a oriente da cavidade e destinado à sucção do ar viciado das galerias mineiras. Como métodos de exploração subterrânea utilizavam-se câmaras e pilares e, localmente, corte e enchimento. O minério extraído era transportado por via-férrea ao longo do vale da ribeira de São Domingos, situado a jusante, quer para a estação de britagem de Moitinha, quer para os tanques de lixiviação de Moitinha e Tapadinha, quer ainda para as fábricas de enxofre da Achada do Gamo [1,5,6,12,20,21,27,35,36,38,42,56,58,61]. Os produtos da mina (pirite cuprífera, pirite ustulada, enxofre e cobre) eram posteriormente escoados pelo porto mineiro do Pomarão, distanciado cerca de 18km e localizado na margem esquerda do rio Guadiana.



Figura 3 – Circuito pedonal na corta da mina de São Domingos (1867-1966), actualmente inundada com águas ácidas.

Com o encerramento da actividade extractiva a corta de São Domingos foi progressivamente inundada por águas ácidas com pH inferior a 2,5-3. Em torno da cavidade é possível observar vários tipos de escombros constituídas por materiais diversos como escórias modernas de cor negra, escórias romanas acastanhadas [21,36,56], fragmentos de gossan de cor avermelhada e rochas encaixantes da mineralização, como vulcanitos e xistos. Alguns destes corpos de escombros apresentam teores significativos de ouro admitindo-se a presença de 1Mt de escombros com cerca de 1g/t Au. Cerca de 5km a sul da corta da mina, localizam-se os campos de lixiviação de minério de Moitinha e as fábricas de produção de enxofre da Achada do Gamo. Entre esta área industrial e a barragem do Chumbeiro, localizada cerca de 5km a jusante, evidenciam-se amplas superfícies não vegetadas afectadas por drenagem ácida de mina, relacionada com os métodos de processamento dos sulfuretos e com o controle de águas ácidas através do vasto sistema de canais mineiros [5,6,31,35,38,58,59].

O modelo de reabilitação da área mineira de São Domingos contemplará certamente o controle da drenagem superficial das águas pluviais, provavelmente a partir da recuperação e reutilização do sistema de canais mineiros existente ao longo do vale das ribeiras de São Domingos e Mosteirão, numa extensão de 10km [19,35,38]. Uma pequena parte dos escombros poderá ser concentrada em local apropriado, nomeadamente aqueles que evidenciam maior potencial de geração de drenagem ácida, de modo a que se minimize a dispersão química. O porto mineiro do Pomarão, localizado na margem esquerda do rio Guadiana, cerca de 17km a sul da mina, será também reabilitado. Os trabalhos de remediação deverão respeitar as características da paisagem mineira, a qual constitui a par da antiga corta o *ex-libris* da velha mina [33,34,36,48].

5.1.2 – Mina de Aljustrel

A área mineira de Aljustrel contempla seis massas de pirite associadas a uma estrutura do Complexo Vulcano-Sedimentar com cerca de 6km. Para além da pirite, encontram-se ainda outros minerais como a esfalerite, a calcopirite, a galena, a arsenopirite e sulfossais. Os jazigos encontram-se dispostos em dois alinhamentos principais, distribuindo-se da seguinte forma de SE para NW [17,31,35,50,65,69]:

- Antiforma de Feitais: massas de Feitais (54Mt) e Estação (>20Mt).

- Antiforma SW: massas de Algares, Moinho (44Mt), S. João (45Mt) e Gavião (25Mt).

As massas de Algares e S. João são aflorantes e foram intensamente exploradas quer em profundidade, quer a céu aberto, em cortas pouco profundas. O jazigo do Moinho foi explorado pela companhia Pirites Alentejanas para cobre até 1993, produzindo-se então cerca de 1,2Mt/ano de concentrado. Por motivos económicos a mina de Aljustrel suspendeu a sua actividade extractiva nesse ano entrando então em fase de lavra suspensa. Actualmente a empresa Lundin Mining está a desenvolver trabalhos de reconhecimento de novas reservas de zinco nas massas de Estação, Moinho e Feitais, prevendo-se que seja reiniciada a exploração no final de 2007. A parte superficial dos jazigos de Algares e S. João foi objecto de intensa mineração na época romana, tendo sido explorada principalmente a zona de enriquecimento supergénico dos jazigos, fundamentalmente para cobre, prata e ouro (Figura 4). Neste período foi edificado o povoado de Valdoca, localizado junto ao chapéu de ferro e desenvolvidos trabalhos mineiros até cerca de 100m de profundidade [3,17,18,31,35 ref. inc.]. Testemunham esta actividade extractiva os escuriais romanos, diversos poços e galerias mineiras e numerosos artefactos. Na segunda metade do séc. XIX deu-se o reinício da exploração mineira tendo a mina sido concessionada entre 1849 e 1854 a Sebastião Gargamala e, posteriormente, à firma Lusitanian Mining Co.. A Empresa de Mineração Transtagana deteve os direitos de exploração de S. João e Algares de 1867 a 1895, falindo porém em 1881. A companhia Fonseca, Santos e Viana é temporariamente concessionária, entre 1895 e 1898. Neste ano os direitos de exploração de Aljustrel são adquiridos pela Société Anonyme Belge des Mines de Aljustrel, à qual sucede em 1956 a empresa Mines d'Aljustrel S.A. [17,31,35,ref. inc.]. A partir de 1973 a companhia Pirites Alentejanas detém os direitos de exploração da mina de Aljustrel, estando hoje integrada no Grupo Lundin. Após a Segunda Guerra Mundial

verificou-se um rápido aumento da produção de minérios, extraindo-se cerca de 200000t a 300000t anuais (ex. 1780521t (1946-1953), 248068t em 1953, 195033t em 1977). O esgotamento do depósito de Algares e as dificuldades geotécnicas de exploração do jazigo de S. João, levaram a empresa a desenvolver um intenso esforço de prospecção iniciado na década de 50 com apoio, entre outras entidades, do Serviço de Fomento Mineiro (SFM). O jazigo do Moinho é identificado em 1954 após descoberta pelo SFM da estrutura mineralizada do Cerro do Carrasco através do método Turam. Em 1964 é descoberta a massa de Feitais através de levantamento gravimétrico a cargo da Lea Cross Geophysics. Utilizando a mesma técnica geofísica são descobertas as massas de Estação (SFM - ano 1969) e do Gavião (Sociedade Mineira de Santiago – ano de 1970) [17,31,35,57 ref. inc.].



Figura 4 – Trabalhos mineiros romanos no chapéu de ferro da massa de Algares (Aljustrel).

Modernamente o minério extraído em Aljustrel era tratado na lavaria de S. Antão, localizada próximo da falha da Messejana, no sector NW da mina. No entanto, durante na quase totalidade do séc. XX e séc. XIX e na época romana o minério era tratado em Algares. Aqui, nas suaves encostas da margem esquerda do vale da ribeira de Água Forte foram depositados escuriais romanos e, desde o séc. XIX, escombrelas de pirite britada e de pirite ustulada [3,18,22,35]. Por motivos de ordem ambiental o processo de ustulação do minério (queima ao ar livre) foi realizado no séc. XIX cerca de 6km a ESE de Aljustrel, no lugar de Pedras Brancas, local onde ainda se podem observar teleiras, pequenos fornos de forma cónica onde a pirite era queimada. O cobre metálico era obtido em Algares através do processo de cementação em que se utilizavam águas muito ácidas ricas em metais, bombadas do interior da mina. Estas

águas eram ainda enriquecidas em cobre através da sua circulação sobre escombrelas de minério britado, o qual sofria um processo de lixiviação química. Os efluentes provenientes deste processo eram concentrados em tanques de cementação onde se lhe juntava sucata, obtendo-se o cobre por troca iónica com o ferro. As *águas férreas* resultantes da cementação eram posteriormente drenadas para a barragem próxima e daí para o vale, caracterizando-se por uma tonalidade avermelhada e um pH ácido (<3) justificando o nome da ribeira (*Água Forte*). A geração de águas ácidas por alteração dos minérios de pirite (*drenagem ácida de mina*) provoca um impacto significativo na rede hidrográfica quer na zona sul da vila (ribeira de *Água Forte*) quer na região norte da mesma (ribeira da *Água Azeda* e *Barranco do Farrobo*) [15,19,22,35,60].

Nas colinas de Aljustrel podem observar-se ainda numerosas explorações de óxidos de ferro e manganês representadas por pequenas cortas e galerias abandonadas. A ocorrência deste tipo de mineralizações é algo esparsa e está representada pela existência de hematite e pirolusite claramente associadas a níveis de jaspe, xistos borra-de-vinho e xistos siliciosos da Formação do Paraíso do topo do Complexo Vulcano-Sedimentar [22,31,35]. As zonas de oxidação e de enriquecimento supergénico destes jazigos foram exploradas essencialmente durante o séc. XIX por pequenas empresas de carácter familiar. Na região de Aljustrel este tipo de actividade levou entre 1869 e 1873 à constituição das seguintes concessões mineiras: Cabeço do Moinho, Herdade de Monte Ruas, Serra dos Feitais, Cerro da Cabeça do Homem, Malpique, Nossa Senhora do Castelo, Moinho Velho, Penedões, Mangancha, Moinho de Vale S. João e Sto. Antão.

A EDM prevê reabilitar o centro mineiro de Aljustrel de modo faseado, privilegiando a concentração de escombrelas na área industrial de Algares [14,19,35]. Serão assim removidos para este local os escombros existentes em S. João e parte das escombrelas de Pedras Brancas. Os resíduos mineiros concentrados em Algares serão cobertos com camadas impermeabilizantes e terra vegetal e rodeados de valas perimetrais. A jusante serão construídas várias bacias de evaporação e pantanais de ribeira.

A vila de Aljustrel desenvolveu-se em torno da exploração mineira, tendo sido evidente o contributo desta actividade para o seu desenvolvimento socioeconómico. A percepção social dos habitantes [11] face aos impactos da mineração no concelho salienta a importância das minas na identidade cultural e no emprego e, conseqüentemente, na fixação da população.

Neste estudo a percepção dos entrevistados relativamente ao impacto ambiental dos projectos mineiros antigos é ténue e secundarizada relativamente aos benefícios da mineração. A reabertura das minas é aguardada com ansiedade, quer pela comunidade, quer pelos agentes locais, sendo o futuro do concelho incontestavelmente identificado com o crescimento da actividade extractiva. Em Aljustrel, como outrora no Lousal ou em São Domingos a comunidade funde-se com a mina e esta com a comunidade, lutando-se em comum por um crescimento sustentado.

5.1.3 – Mina do Lousal

A Mina do Lousal foi explorada entre 1900 e 1988 fundamentalmente para pirites, desenvolvendo-se os trabalhos mineiros desde a superfície até cerca de 500m de profundidade (Poço nº1), ver Figura 5. A companhia Mines et Industries S.A. (Grupo SAPEC) foi o último concessionário da mina tendo aqui laborado desde 1936. O jazigo foi descoberto em 1882 por António Manuel, que terá identificado o chapéu de ferro das massas Sul e Extremo Sul situado na margem esquerda da ribeira de Corona [23,28,37,39,67,71 ref. inc.]. Os chapéus de ferro e as zonas de enriquecimento supergénico das massas Oeste, Central, Sul e Extremo Sul, indicadas de NW para SE, foram explorados até à década de vinte essencialmente para cobre. Em 1928 a SAPEC inicia a produção de superfosfatos na sua unidade fabril do Barreiro (sul de Lisboa). Desde essa época esta empresa e também a CUF foram o principal destino das pirites do Lousal. O método de exploração do jazigo baseava-se em cortes horizontais ascendentes com posterior enchimento, sendo as frentes mineiras contínuas e a sua progressão do tipo degrau invertido simples [67]. O enchimento das galerias era efectuado com escombros extraídos em pedreiras situadas na actual corta da mina, utilizando-se na sua movimentação chaminés de entulhos. O minério extraído era escolhido manualmente, triturado, granulado e crivado na oficina de tratamento e, posteriormente, transportado por ferrovia. Durante a década de 60 e início dos anos 70 a produção anual foi de 230000 a 250000t, tendo o minério cerca de 45% de S e 0,7% de Cu [28,71]. A pirite, sulfureto largamente predominante no Lousal, é acompanhada de calcopirite, galena, esfalerite, pirrotite, marcassite, bournonite, tetraedrite, cobaltite, safflorite e ouro nativo [71]. Com cerca de 50Mt de sulfuretos o centro mineiro do Lousal inclui dois horizontes principais de sulfuretos maciços com atitude geral N45°W, 80°SW, indicados de NW para SE [28,37]: Grupo Ocidental: massas Oeste, Sul e Extremo

Sul (corpos mais superficiais); Grupo Oirental (principal): massas Miguel e Central (corpos mais superficiais), António, Norte - Leste, Norte, Fernando, José (a mais possante com 40m de espessura) e José Sul (corpos mais profundos).



Figura 5 – Nascente de águas ácidas na corta da mina do Lousal, em segundo plano observam-se os poços principais (malocates) nº1 e nº2.

A área mineira do Lousal apresenta forte complexidade estrutural acentuada por desligamentos tardios verticais N5°E, com componente normal direita e abatimento do bloco oeste, representados pelas falhas de Corona e Poço Miguel [2,28,37,50,65,71]. Os dois horizontes de sulfuretos, em cima indicados, dispõem-se nos flancos de uma antiforma cujo núcleo é ocupado pela Formação de Corona, incluída no Grupo Filito-Quartzítico. Esta formação aflora a N do Lousal e no bloco oriental da falha de Corona. O jazigo encontra-se associado ao Complexo Vulcano-Sedimentar que aqui é representado por três unidades principais indicadas da base para o topo [28,37,50]: i) – xistos cinzento-escuros piritosos com lenticulas de sulfuretos associadas (jazigo do Lousal), intercalações de espilitos e de metavulcanitos felsicos xistificados localmente com texturas *fiamme* e fácies vulcanoclásticas, xistos cinzentos com nódulos siliciosos e vulcanitos coerentes de natureza rio-dacítica; ii) – xistos siliciosos com intercalações finas de chertes e de metavulcanitos ácidos finos sericíticos fortemente xistificados, diabases intrusivas associadas aos espilitos superiores; iii) – espilitos, localmente com fácies de pillow-lava, intercalações esparsas de jaspes e de xistos borra-de-vinho. O enquadramento paleogeográfico do jazigo do Lousal é semelhante ao de outros depósitos de sulfuretos da FPI associados a xistos cinzento-escuros piritosos, formados em ambiente marinho redutor como Montinho (Portugal) e Tharsis e Sotiel (Espanha) [28,37].

Para oeste a estrutura CVS do Lousal, que se prolonga para norte até à falha de Grândola (sector mina da Caveira), encontra-se limitada por um cavalgamento principal de direcção N40°W, contactando tectonicamente com a Formação de Mértola, do GFBA, ver Figura 1. Os eixos das dobras apresentam inclinação NW, predominando na corta da mina planos de clivagem N50°W, 85°SW. A alteração meteórica das massas Central, Miguel, Oeste e Sul é evidenciada pela presença de chapéus de ferro com possança métrica e, localmente, por uma intensa caulinitização supergénica [23,30]. Na zona sul da corta observa-se uma nascente de águas ácidas, associada a uma fractura N35°W, que reflecte a dinâmica dos aquíferos locais condicionados pelas ribeiras de Corona e Espinhaço de Cão.

Menos de dez anos após o encerramento da mina em 1988, a Fundação Frederic Velge (FFV), que integra a empresa SAPEC, proprietária da mina, e a Câmara Municipal de Grândola, iniciaram um plano integrado para a revitalização da povoação mineira do Lousal (RELOUSAL), explorando as imensas potencialidades museológicas, turísticas, formativas e lúdicas que em si encerram as instalações de superfície, os trabalhos de exploração subterrânea e a céu aberto, e o manancial de história e de informação técnica e sociocultural deixadas por décadas de lavra mineira [28,37,63]. Um número significativo de iniciativas foi já desenvolvido no âmbito deste programa, incluindo a edificação de um centro de artesanato, um núcleo de recepção de visitantes, uma albergaria, um restaurante, um auditório e um museu de arqueologia industrial. Para um desenvolvimento sustentado do turismo mineiro no Lousal, na fase *post-mining* da mina, a FFV concebeu o projecto *Descida À Mina*, estimado em 8ME, que contempla uma visita subterrânea às antigas galerias. Este programa multidisciplinar envolve variados especialistas em áreas do conhecimento, que vão da engenharia de minas, à computação gráfica e realidade virtual, onde a Geologia é assumida como o vector âncora de toda a iniciativa [37,63]. Em 2008 será inaugurado um centro de Ciência Viva, denominado *Mina de Ciência*, vocacionado para a temática dos Georecursos [63]. Esta unidade será parte integrante da Rede Nacional de Centros de Ciência Viva e terá por objectivo a divulgação e educação científica e tecnológica, dirigida a um público-alvo tão amplo quanto possível. O espaço físico fará uso de infra-estruturas já existentes que não serão descaracterizadas relativamente às suas valências originais. No centro de ciência será privilegiada a interactividade com o público (preferencialmente, *hands on*), recorrendo-se para tal a um vasto leque de metodologias que vão do

manuseamento físico de materiais e/ou módulos experimentais, ao recurso às mais modernas técnicas de aproveitamento da imagem nas suas versões 2D, 3D e realidade virtual [37,63].

No Lousal o impacte ambiental mais negativo verifica-se ao nível da rede hidrográfica e dos solos proximais situados junto às escombrelas da antiga mina [31,35,66 ref. inc.]. O modelo de reabilitação da mina encontra-se ainda em fase de estudo pela EDM, porém será certa a reabilitação da corta e o seu isolamento do vale da ribeira de Corona, local onde serão construídos *wetlands* [19,35]. Provavelmente, serão também concentrados na corta da mina os pequenos corpos de escombros dispersos junto ao caminho por onde circulavam as vagonetas com minério, situado entre o edifício da trituração e a antiga estação ferroviária. A intervenção a realizar nesta mina deverá respeitar os projectos de musealização em curso, a cargo da Fundação Velge.

5.1.4 – Mina da Caveira

A exploração moderna da mina da Caveira inicia-se em 1854 com a descoberta dos extensos escoriais romanos e dos chapéus de ferro por Ernest Delegny [31,35 ref. inc.]. Concessionada em 1863, a mineração da parte superficial das massas Salvador, Esperançosa e Frederica decorreu de forma irregular até 1919, sendo perturbada pelo grande incêndio ocorrido entre 1880 e 1883, resultante da combustão espontânea de pirites. Entre 1936 e a década de setenta a companhia Mines et Industries explorou a Caveira para produção de enxofre e ácido sulfúrico com uma produção anual geralmente inferior a 100000t (Figura 6).



Figura 6 – Erosão de escombrelas por abarrancamento na corta principal da mina de Caveira.

A estrutura geológica da Caveira apresenta uma elevada complexidade, caracterizando-se por um

antiforma de orientação geral N-S, cujo núcleo é constituído por filitos, xistos e quartzitos do Grupo Filito-Quartzítico. Nos flancos desta estrutura ocorrem seqüências vulcano-sedimentares do Complexo Vulcano-Sedimentar, marcadas pela presença de uma unidade inferior de vulcanitos ácidos porfiríticos xistificados, localmente com forte alteração quartzo-sericitica e por vulcanitos ácidos finos, também xistificados [2,24,35,50]. Enquanto que no lado ocidental da estrutura se reconhecem sedimentos vulcanogénicos finos, no seu lado leste afloram xistos cloriticos, xistos negros e intercalações de chertes e jaspes. No sector norte do antiforma de Caveira ocorrem intrusões de rochas básicas. As massas de sulfuretos Salvador, António, Pero-Cuco e Canal ocorrem em ambos os flancos desta estrutura, no contacto entre os vulcanitos inferiores do CVS e xistos negros da base do CVS (ou eventualmente do GFQ), onde se reconhecem localmente estruturas de tipo *stockwork* [35,50]. À superfície as mineralizações de sulfuretos são acompanhadas de caulinitização das rochas vulcánicas [30]. O controle estrutural é acentuado sendo o contacto CVS/GFQ marcado por forte deformação [2].

O projecto de reabilitação da mina de Caveira diminuirá certamente a erosão da sua escombrela principal, localizada numa encosta de declive íngreme, reduzindo o principal impacte desta mina abandonada [19,35]. O açude de protecção existente encontra-se danificado e inoperacional, o que permite a disseminação de efluentes da escombrela, constituída por fragmentos de pirite safrão, vulcanitos e xistos negros. A proliferação de poços e de pequenas cortas desprotegidas torna a mina muito insegura, o que é ainda agravado por subsidência identificada na área da massa Salvador. Através do controle dos efluentes da mina será possível diminuir significativamente o seu impacto na ribeira de Grândola, afluente do Rio Sado.

6 – A rota da pirite e o projecto ibero-americano RUMYS

Com o projecto RUMYS, a FPI ficará inserida numa rede ibero-americana de património, consolidando-se como região mineira de dimensão internacional. Através deste projecto CYTED devem ser atingidos os seguintes objectivos: i) - ampliação do conhecimento geológico e mineiro das áreas mineiras da FPI; definição de percursos geo- eco- mineiros; divulgação da informação técnica através da produção de mapas, monografias, brochuras, websites e newsletters; produção de conteúdos para exposições e painéis de percurso; ii) - apoio aos

programas de musealização em curso; iii) - desenvolvimento de uma rede de sítios mineiros na FPI, privilegiando-se a sua divulgação via Internet e a comunicação entre as comunidades mineiras da Faixa e as suas congéneres ibéricas, europeias e ibero-americanas.

Através da consolidação da rede de património geológico e mineiro da FPI [31,33,35] pretende-se dinamizar as suas áreas mineiras, sobretudo as que se encontram em fase *post-mining*, caracterizada por um declínio social, desertificação humana, degradação patrimonial e ambiental. O esforço na valorização da Faixa Piritosa, será também sustentado através do desenvolvimento de parcerias entre os organismos estatais, a administração local e as ONG's onde se incluem as associações de mineiros. Algumas minas como Rio Tinto e Tharsis em Espanha e Aljustrel, São Domingos, Lousal e Caveira (Portugal) apresentam cortas e galerias em bom estado de conservação e ventilação, que permitem a observação e estudo das mineralizações e seus encaixantes, merecendo o estatuto de monumento geológico e inserção no programa GeoSites. A promoção da herança cultural da Faixa Piritosa, como região mineira ibérica, deve ser efectuada através da constituição de circuitos geo-educacionais transfronteiriços, que promovam as Geociências junto do grande público. Estes trajectos de turismo temático tenderão a ser incluídos nas rotas turísticas regionais, obtendo-se uma mais valia para a economia do território FPI. Alguns centros mineiros contam já com museus/parques de referência como as minas de Rio Tinto, Lousal e Cova dos Mouros/Ferrarias [31,35,63]. Para o crescimento sustentado destes pólos culturais torna-se necessário consolidar e ampliar as infra-estruturas existentes. Assim o LNEG-LGM pretende desenvolver no âmbito do RUMYS as seguintes acções:

Mina de São Domingos: Concepção e cartografia de percurso geológico e mineiro para vale de São Domingos e antifórma do Pomarão. Elaboração percursos de detalhe e de actividades educativas.

Mina de Aljustrel: Concepção de um *Parque Geológico-Mineiro* para o chapéu de ferro de Algaes. Cartografia de superfície e de mina e actividades educativas.

Mina de Lousal: Concepção e cartografia de percurso geológico e mineiro para a corta da mina. Produção de painéis de percurso. Actividades educativas.

Mina de Caveira: Concepção e cartografia de percurso geológico e mineiro.

Minas de cobre e de manganês: Identificação de percursos regionais entre minas abandonadas.

Além da actividade em cima mencionada uma das missões da equipa RUMYS será a de inserir a mina de Neves Corvo na rede de sítios da FPI. A empresa mineira concessionária Somincor-Lundin deve ser sensibilizada para a promoção e protecção do património do couro mineiro e da região de Castro Verde/Almodôvar, local onde se insere aquele centro extractivo [25,64].

Indirectamente, a implementação de novos projectos no âmbito da musealização e da reabilitação ambiental e social de áreas mineiras abandonadas, possibilita uma melhor aceitação da prospecção e exploração de jazigos junto da sociedade e do poder político [7]. Sempre que possível, os conteúdos produzidos devem ter difusão pela Internet, sendo dinamizados localmente pelas entidades gestoras dos territórios mineiros como os municípios de Aljustrel e de Mértola, a Fundação Frederic Velge/Museu Mineiro do Lousal ou a Guadiana Parque (mina Cova dos Mouros). O programa de recuperação ambiental de áreas mineiras a cargo da EDM [14,19,35,41], deverá ter em conta o desenvolvimento futuro destes projectos turísticos, devendo optar-se por intervenções que permitam a preservação da paisagem mineira. A *revolução verde* que se avizinha pode, em caso extremo, inviabilizar o turismo temático, o que deve ser evitado através da realização de projectos de recuperação consensuais [33,35]. A realização de colóquios junto das comunidades mineiras e a produção de actividades de Ciência Viva como o programa Geologia no Verão [28] ou de eventos culturais como festivais de cante mineiro, pintura e *land art* [34] permitirá também a difusão do património mineiro da FPI, uma das regiões mineiras europeias com maior potencial museológico [35].

Conclusões:

A Faixa Piritosa é uma província metalogenética europeia rica em sítios com interesse geológico e mineiro que devem ser valorizados através de programas de desenvolvimento de turismo cultural. Através da identificação e promoção de itinerários geo - eco - mineiros transfronteiriços entre o Alentejo, o Algarve e a Andaluzia, promove-se o território da FPI como espaço peninsular, herdeiro de uma actividade mineira milenar. Os corredores *São Domingos- Corte Pinto- Chança- Vuelta Falsa- Paymogo, Pomarão- Herrerias- Tharsis e Alcoutim-San Lucar* apresentam-se como os elos transfronteiriços de ligação entre os sectores português e espanhol da FPI, testemunhando a união dos dois povos mineiros ibéricos.

O projecto RUMYS dá continuidade ao trabalho desenvolvido nos últimos anos pelo LNEG-LGM na valorização do conhecimento geológico e mineiro de

várias áreas mineiras da FPI, como São Domingos, Aljustrel, Lousal, Caveira e Ferrarias. Este esforço tem permitido um estreito relacionamento com os principais actores regionais da Faixa, desde as empresas mineiras e de prospecção, ao meio universitário, entidades municipais e ONG's. A valorização do conteúdo patrimonial das áreas mineiras deve também ser executada em consonância com os projectos de reabilitação ambiental a cargo da empresa concessionária EDM. Na reabilitação das áreas mineiras portuguesas, a paisagem mineira, enquanto testemunho da actividade extractiva, deverá ser preservada de modo a que não se perca a identidade do território e do seu uso no passado. Por serem complexas e delicadas, as intervenções nas áreas mineiras durante a sua fase de *post mining* exigem por um lado bom senso e equilíbrio na adopção das políticas de desenvolvimento e, por outro lado, um excelente conhecimento de cada sítio mineiro a nível geológico, mineiro, metalogenético, geoquímico e ecológico. O investimento no saber destas áreas permitirá a definição da melhor estratégia de promoção, protecção e valorização de cada sítio mineiro. A rede de sítios tenderá a consolidar-se cada vez mais com o esforço desenvolvido e a complementaridade das mais valias de cada mina. Neste sentido, a produção de conteúdos de qualidade técnica e científica é fundamental, assim como a construção de infra-estruturas inovadoras como o futuro centro *Mina de Ciência do Lousal*.

O valioso espólio documental que o LNEG-LGM possui sobre a FPI, fruto de inúmeros trabalhos de cartografia temática aqui desenvolvidos de forma sistemática desde a década de cinquenta, permite o apoio a diversas actividades económicas como a extracção de minérios, a exploração de rochas ornamentais, o ordenamento do território e a prospecção e caracterização de recursos hídricos. Este conhecimento profundo da geologia da Faixa Piritosa é uma mais valia na realização de programas de: ordenamento do território; prevenção de riscos geológicos; gestão, exploração e prospecção de recursos mineiros e hídricos; preservação e valorização do património geológico e mineiro. A conjuntura actual do preço dos metais torna de novo atraente o investimento na actividade extractiva na Faixa Piritosa, tornando expectante e previsível a descoberta de novos jazigos, perpetuando-se assim o espírito mineiro desta região do SW da Península Ibérica, território onde há cerca de 5000 anos se pratica a arte da mineração.

Referências bibliográficas:

- [1.] Abreu, M.; Tavares M.T.; Batista, M. J. (2007) - Potencial use of *Erica andevalensis* and *Erica australis* in phytoremediation of sulphide mine environments: São Domingos, Portugal. *Journal of Geochemical Exploration*.
- [2.] Alves, P.; Joubert, M., Leca, X. (1985) - Notice explicative du levé géologique au 1/25000. Rel. Técnico Consórcio Grândola (SPE/SEREM/EDMA), Arq. INETI, 29pp..
- [3.] Alves, H.; Martins, A. (2005) - Aljustrel, um olhar sobre as minas e as gentes no séc. XX. CM Aljustrel, Portugal, 133pp..
- [4.] Barriga, F.J.A.S.; Carvalho, D.; Ribeiro, A. (1997) - Introduction to the Iberian Pyrite Belt. SEG Neves Corvo Field Conf. Guidebook, V.27. pp. 1-20.
- [5.] Batista, M. J. (2000) - Environmental State in the Portuguese Test Site S. Domingos Mine: Past and Present. www.brgm.fr/mineo/IGM_test_site, 41 p.
- [6.] Batista, M.; Brito, G.; Abreu, M.; Sousa, J.; Quental, L.; Vairinho, M. (2003) - Avaliação por modelação em SIG da contaminação mineira por drenagem ácida: São Domingos, Faixa Piritosa, Alentejo. *Ciências da Terra (UNL)*, V, pp. M6-M10.
- [7.] Brilha, J.; Andrade, C.; Azerêdo, A.; Barriga, F.J.A.S.; Cachão, M.; Couto, H.; Cunha, P.P.; Crispim, J.A.; Dantas, P.; Duarte, L.V.; Freitas, M.C.; Granja, M.H.; Henriques, M.H.; Henriques, p.; Lopes, L.; Madeira, J.; Matos, J.M.X.; Noronha, F.; Pais, J.; Piçarra, J.; Ramalho, M.M.; Relvas, J.M.R.S.; Ribeiro, A.; Santos, A.; Santos, V.; Terrinha, P. (2005) Definition of the Portuguese frameworks with international relevance as an input for the European geological heritage characterisation. *Episodes*, Vol. 28, nº 3, pp. 177-186.
- [8.] Carvalho, D. (1971) - Jazigos de Fe-Mn da região Cercal-Odemira. *Jazigos Minerais Sul Portugal*, nº4, pp. 65-73.
- [9.] Carvalho, D. (1971) Mina de S. Domingos. *Jazigos Minerais do Sul de Portugal*, nº4, pp. 59-64.
- [10.] Carvalho, D.; Barriga, F.J.A.S.; Munhá, J. (1999) - Bimodal-siliciclastic systems - the case of the Iberian Pyrite Belt. *Reviews in Economic Geology*, v. 8, pp.. 375-408.
- [11.] Coelho, C.; Valente, S; Figueiredo, E.; Ribeiro, C.; Matos, J.X. (2007) Avaliação dos impactos socioeconómicos da actividade mineira na Vila de Aljustrel: O contributo do Projecto EVALUSE. IX Sem. Ambiente, Un. Aveiro, 6pp..
- [12.] Custódio, J. (1996) - Sistemas de Lavra na Mina São Domingos (1854-1966). *Mineração Baixo Alentejo*, CM C.Verde: 174-185.

- [13.] Fonseca, E. e Silva, E. (2000) – Projecto Estudo de Controlo Ambiental nas Áreas Mineiras Abandonadas de Lousal e Caveira. Rel. Téc. Final Univ. Aveiro. Arq. IGM.
- [14.] Gama, H. (2005) – Questões ambientais na indústria mineira moderna. Abst. III Encontro de Comunidades Mineiras de Aljustrel, CM Aljustrel.
- [15.] Gonçalves, M.; Figueiras, J.; Pinto, C.; Neng, N.; Sá-Pereira, P.; Batista, M.J. (2007) - Biogeochemical and mineralogical characteristics of the acid mine drainage system in Aljustrel and S. Domingos mines, Iberian Pyrite Belt. Goldschmidt Conf. Abs., Cologne, A341.
- [16.] Jorge, R.C.G.S.; Relvas, J.M.R.S.; Matos, J.X. (2006) -Geochemistry of metasediments from the Phyllite-Quartzite Group, Iberian Pyrite Belt: provenance, source-area weathering and geotectonic implications, Abs. 16th Goldschmidt Conf..
- [17.] Leitão, J. (1998) – Geologia dos depósitos de sulfuretos maciços de Aljustrel. Liv.-Guia V Cong. Nac. Geologia, IGM, pp.91-100.
- [18.] Martins, A., Alves, H. e Costa, T. (2003). 2000 anos de mineração em Aljustrel. Câmara Municipal de Aljustrel, Portugal, 78pp..
- [19.] Martins, J., Carvalho, P. (2005) – Recuperação ambiental da área mineira de Aljustrel. Abst. III Enc. Com. Mineiras Aljustrel, CM Aljustrel.
- [20.] Martins, L.; Batista, M. J.; Matos, J. X.; Oliveira, D.; Shepherd, T.; Pearson, G.; Abreu, M.M.; Melo, T.; Barrosinho, J.; Neves, C.; Bebianno, M. J.; Serafim, A.; Company, R.; Cravo, A.; Locutura, J.; Bel-Lan, A.; Nieto, J. M.; Delgado, J.; Sarmiento A. M.; Del Valls, T.A.; Blasco, JM; Kalman, J; Riba I. (2007) – As origens do chumbo na parte inferior da bacia do Guadiana, VI Cong. Geoquímica, UTAD Vila Real, pp. 278-281.
- [21.] Matos, J.X. (2004) – Carta geológica e mineira da Mina de São Domingos esc. 1/5000, IGM.
- [22.] Matos, J.X. (2005) – Carta geológica e mineira da Mina de Aljustrel esc. 1/5000, INETI.
- [23.] Matos, J.X. (2005) – Carta Geológica e Mineira do Lousal, esc. 1/5000. INETI.
- [24.] Matos, J.X. (2006) – Carta geológica e mineira da Mina de Caveira esc. 1/5000, INETI.
- [25.] Matos, J.X. (2007) – Geologia. Cap. Livro Santa Bárbara de Padrões - Fragmentos da Memória. Ed. Miguel Rego, Junta de Freguesia de Sta. Bárbara, Município de Castro Verde, pp. 11-23.
- [26.] Matos, J.X.; Oliveira, J.M.S.; Farinha, J.B.; Ávila, P.; Rosa, C.; Leite, M.R.M.; Daniel, F.; Martins, L. (2002) - Património mineiro português: estado actual da herança cultural de um país mineiro. Actas Cong. Int. Sobre Património Geológico e Mineiro, IGM/SEDPGYM, Beja, pp. 539-554.
- [27.] Matos, J.X.; Oliveira, V.; Alves, H.; Carvalho, R. (2002) - Património geológico-mineiro e histórico da Mina de São Domingos, Faixa Piritosa Ibérica. Actas Cong. Int. Pat. Geológico e Mineiro, IGM/SEDPGYM, Beja, Portugal, pp. 517-535.
- [28.] Matos, J.X.; Oliveira, V. (2003) - Mina do Lousal (Faixa Piritosa Ibérica) - Percurso geológico e mineiro pelas cortas e galerias da antiga mina. IGME, Pub. Museo Geominero, nº2, pp. 117-128.
- [29.] Matos, J.X.; Martins, L.; Rosa, C. (2003) - Parque Mineiro da Cova dos Mouros – IGM contribute for the sustainable development of the mining park. IGME, M. Geom., nº2, pp. 487-494.
- [30.] Matos, J.X.; Barriga, F.J.A.S.; Oliveira, V. (2003) Alunite veins versus supergene kaolinite/halloysite alteration in the Lagoa Salgada, Algaes and S. João (Aljustrel) and S. Domingos massive sulphide deposits, IP B, Portugal. Ciências da Terra, Lisboa, V, pp. B56-B59.
- [31.] Matos, J.X.; Martins, L. (2003) Itinerários geo-eco-educacionais como factor de desenvolvimento sustentado do turismo temático associado à Faixa Piritosa Ibérica. Actas IV Cong. Int. Património Geológico Y Minero, SEDPGYM, Utrillas, Espanha, pp. 539-557.
- [32.] Matos, J.X.; Martins, L. (2004) – Sustentabilidade da mineração de minérios metálicos na Faixa Piritosa Ibérica. Abst. Seminário Iberoamericano La Minería Dentro Del Ordenamiento Territorial, Santo Domingo, Rep. Dominicana, CYTED, Dir. General de Minería, 9pp..
- [33.] Matos, J.X.; Ribeiro, S.; Moreira, N. (2005) - Percursos Geoambientais como elementos de Valorização Cultural e Científica das Área Mineiras da Faixa Piritosa Ibérica. Abst. III Simp. Mineração Metalurgia Históricas SW Europeu, Un. Porto.
- [34.] Matos, J.X.; Rodrigues, S. (2005) - A Arquitectura de Paisagem Land Art como Proposta Inovadora de Enriquecimento Cultural de Áreas Mineiras em Portugal. Abst. III Simp. Mineração e Metalurgia Históricas SW Europeu, Un. Porto.
- [35.] Matos, J.X.; Martins, L. (2006) Reabilitação ambiental de áreas mineiras do sector português da Faixa Piritosa Ibérica: estado da arte e perspectivas futuras. IGME, Bol. Geológico y Minero España, v. 117, nº2, pp. 289-304.
- [36.] Matos, J.X.; Pereira, Z.; Oliveira, V.; Oliveira, J.T. (2006) The geological setting of the São Domingos pyrite orebody, Iberian Pyrite Belt. VII Cong. Nac. Geologia, Estremoz, Un. Évora, Portugal, pp. 283-286.
- [37.] Matos, J.X.; Relvas, J.M.R.S. (2006) Mina do Lousal (Faixa Piritosa Ibérica). Livro Guia Excursão C.4.1, VII Cong. Nac. Geologia, Estremoz, Un. Évora, Portugal, pp. 23-25.

- [38.] Matos, J.X.; Soares, S.; Claudino, C. (2006) Caracterização Geológica-geotécnica da corta da mina de São Domingos, FPI. X Cong. Nac. Geotecnia, SPG/UNL, v. 3, pp. 741-752.
- [39.] Matzke, K. (1971) – Mina do Lousal. Jazigos Minerais Sul de Portugal, Liv.-Guia nº4, pp. 25-32.
- [40.] Munhá, J. (1990) – Metamorphic evolution of the South Portuguese/Pulo do Lobo Zone In "R. Dallmeyer and E. Martinez Garcia eds: Pre-Mesozoic Geology of Iberia, 363-368. Springer-Verlag".
- [41.] Nero, G. (2005) – A problemática da recuperação ambiental das áreas mineiras degradadas a nível nacional. Abst. III Encontro Comunidades Mineiras de Aljustrel, CM Aljustrel.
- [42.] Oliveira, J.S. (1997) – Algumas reflexões com enfoque na problemática dos riscos ambientais associados à actividade mineira. Est. Not. Trab. IGM, t. 39, pp.3-26.
- [43.] Oliveira, J.T.; Silva, J.B. (1990) – Carta Geológica de Mértola Fl. 46D na escala 1/50000, SGP.
- [44.] Oliveira, J.T.; Silva, J.B.; Oliveira, V.; Munhá, J.; Matos, J.X. (1998) – Geologia da região Mértola, Pomarão e Mina de São Domingos. V Cong. Nac. Geol., IGM, pp.101-110.
- [45.] Oliveira, J.M.S.; Farinha, J.; Matos, J.X.; Ávila, P.; Rosa, C.; Machado, M.J.C.; Daniel, F.S.; Martins, L. e Leite, M.R.M.; (2002) – Diagnóstico Ambiental das Principais Áreas Mineiras Degradadas do País. Boletim Minas IGM 39 (2), pp. 67-85.
- [46.] Oliveira, J.T. et al. (1984) - Carta Geológica de Portugal 1/200000, Not. Explicativa Fl. 7 SGP.
- [47.] Oliveira, J.T.; Matos, J.X. (2004) – Geologia das regiões de Alcoutim e de Martinlongo-Vaqueiros. V Encontro de Professores de Geociências do Algarve, Vila Real de Sto. António, 15pp.
- [48.] Oliveira, J.T.; Matos, J.X. (2004) O caminho de ferro da Mina de S. Domingos ao Pomarão: um percurso geo-educacional na Faixa Piritosa Ibérica. XXIV Encontro Prof. Geociências APG, 19pp.
- [49.] Oliveira, J.T.; Pereira, Z.; Rosa, C.J.; Rosa, D.; Matos, J.X. (2005) Recent advances in the study of the stratigraphy and the magmatism of the Iberian Pyrite Belt, Portugal. In: Carosí, R., Dias, R., Iacopini, D., Rosenbaum, G., (Eds.). The southern Variscan belt, Journal of the Virtual Explorer, Electronic Edition 19/9, 1441-8142.
- [50.] Oliveira, J.T.; Relvas, J.M.R.S.; Pereira, Z.; Matos, J.X.; Rosa, C.J.; Rosa, D.; Munhá, J.M.; Jorge, R.C.G.S.; Pinto, A.M.M. (2006) O Complexo Vulcano-Sedimentar da Faixa Piritosa: estratigrafia, vulcanismo, mineralizações associadas e evolução tectonoestratigráfica no contexto da Zona Sul Portuguesa. in Dias R, Araújo A., Terrinha P, e Kulberg JC (eds.), Geologia de Portugal na Ibéria, VII Cong. Nac. Geologia, Univ. Évora, Portugal, pp. 207-244.
- [51.] Oliveira, M.L.F.; Matos, J.X. (2002) - The exploitation of copper ores and the settlements of Estremadura and south of Portugal during the calcolithic. Ciências Históricas, Un. Portucalense, Porto, pp.123-138.
- [52.] Oliveira, T.; Oliveira, V. (1996) - Síntese da Geologia da Faixa Piritosa, em Portugal, e das Principais Mineralizações Associadas. Mineração no Baixo Alentejo, CM Castro:Verde: 8-27.
- [53.] Oliveira, V.; Matos, J.X.; Bengala, M.; Sousa, P. (1998) – Principais alinhamentos vulcânicos a norte da Falha de Grândola, sob formações da Bacia Terciária do Sado e sua potencialidade mineira no contexto da Faixa Piritosa Ibérica. Actas V Cong. Nac. Geologia, Com. IGM T. 84 F. 2, pp.F15-18.
- [54.] Oliveira, V.M.J.; Matos, J.X.; Rosa, C. (2001) - The NNW sector of the Iberian Pyrite Belt – new exploration perspectives for the next decade. Geode Workshop – Massive sulphide deposits in the Iberian Pyrite Belt: new advances and comparison with equivalent systems, Aracena Spain, pp.34-37.
- [55.] Pacheco, N. (2005) – Neves Corvo um património geológico e mineiro a preservar. Abst. ENMR Workshop, INETI, CCDR Alentejo.
- [56.] Pinto, A.; Mateus, A.; Alves, L.C.; Matos, J.X.; Neng, N.; Figueiras, J. (2007) - Detailed slag characterization relevance in environmental and economic assessments; the example of São Domingos (Iberian Pyrite Belt, Portugal), VI Cong. Geoquímica, UTAD Vila Real, pp. 345-348.
- [57.] Queiroz, N.; Pereira, F.; Bengala, J.; Moreira, J.; Freire, J.; Viegas, L.; Viana, M.; Gaspar, O.; Pereira, V.; Borralho, V. (1989) – Est. Not. Trabalhos SFM, T. 50º Aniversário, Porto.
- [58.] Quental, L.; Abreu, M.M.A.; Oliveira, V.; Sousa, P.; Batista, M.J.; Brito, G.; Vairinho, M.; Sousa, J.; Martins, L. (2002) - Imagens hiperespectrais para avaliação e monitorização ambiental em áreas mineiras: resultados preliminares do Projecto MINEO na Mina de São Domingos, Alentejo. Actas Cong. Int. Património Geol. Mineiro. IGM, Lisboa pp 583-595.
- [59.] Quental, L.; Brito, G.; Sousa, J.; Abreu, M.; Batista, M.; Oliveira, V.; Vairinho, M.; Tavares, T. (2003) – Utilização de imagens hiperespectrais na avaliação da contaminação mineira em São Domingos, Faixa Piritosa, Alentejo. Ciências da Terra (UNL), nº esp. V, CD-ROM, pp. M33-M36.
- [60.] Quental, L.; Matos, J.X. (2006) - Landcover Mapping Using Quickbirdtm Imagery: Preliminary Results

Of The Mining Area Of Aljustrel, Iberian Pyrite Belt. V European Cong. Regional Geoscientific Cartography and Information Systems. Institut Cartogràfic de Catalunya, Barcelona.

[61.] Rego, M. (2004) Mina de S. Domingos 150 anos de História. Fotogramas da memória. CM Mértola, 85pp.

[62.] Reis, P.; Ferreira da Silva, E.; Matos, J.X.; Patinha, C.; Sousa, A.J. E Cardoso Fonseca, E. (2006) - Combining GIS and stochastic simulation to define spatial patterns of variability for lead at the Lousal mine, Portugal. Land Degradation and Development, Wiley Europe.

[63.] Relvas, J.M.R.S., Póvoas, L., Costa, T. Matos, J., Varela, T., Lopes, C., Barriga, F.J.A.S., 2005. Project "Underground Visit to the Lousal Mine": a contribution to Geoconservation and Sustainable Development, IV Int. Symposium ProGEO on the Conservation of Geological Heritage, Braga, Portugal.

[64.] Relvas, J.M.R.S.; Barriga, F.J.A.S.; Pinto, A.; Ferreira, A.; Pacheco, N.; Noiva, P.; Barriga, G.; Baptista, R.; Carvalho, D.; Oliveira, V.; Munhá, J.; Hutchinson, R. (2002) - The Neves-Corvo Deposit, IPB, Portugal: 25 Years after the Discovery. SEG Special Pub. 9, pp. 155-176.

[65.] Schermerhorn L.; Zbyzewski, G.; Ferreira, V. (1987) - Carta Geológica 42D Aljustrel, SGP, 55pp.

[66.] Silva, E.F.; Fonseca, E.C.; Matos, J.X.; Patinha, C.; Reis, P.; Santos Oliveira, J.M. (2005) - The effect of unconfined mine tailings on the geochemistry of soils, sediments and surface waters of the Lousal area (Iberian Pyrite Belt, Southern Portugal). Land Degradation & Development, Wiley InterScience Ed., 16, pp. 213-228.

[67.] Silva, F. (1968) - As Minas do Lousal. Bol. Minas, Dir. Geral de Minas e SGP, 5 (3), pp. 161-181.

[68.] Silva, J.B.; Oliveira, J.T.; Ribeiro, A. (1990) - Structural outline In "R. Dallmayer and E. Martinez Garcia eds: Pre-Mesozoic Geology of Iberia, 348:362. Springer Verlag".

[69.] Silva, J.B.; Oliveira, V.; Matos, J.X.; Leitão, J.C. (1997) - Field Trip 2 - Aljustrel and Central Iberian Pyrite Belt, SEG Neves Corvo Field Conf. Guidebook V. 27.

[70.] Silva, V. (2006) - O turismo no Baixo Alentejo, perspectivas futuras. Abs. Workshop ENMR, INETI, CM Aljustrel.

[71.] Strauss, G. (1970) - Sobre la geología de la provincia piritífera del SW de la Península Ibérica y de sus yacimientos, en especial sobre la mina de piritita de Lousal (Portugal). Mem. ITGE T. 77, pp.266.

[72.] Webb, J. (1958) Observations on the geology and origin of the San Domingos pyrite deposit. Portugal. Com. SGP, t. 42, pp. 119-143.