

# International EarthCache Day 2013

(GC4CYB4)

13 October 2013 / 13 de Outubro de 2013

## Mina de São Domingos



Daniel P. S. de Oliveira (Ph.D)

This page is left blank / esta página é deixada em branco



The **São Domingos Mine** is located approximately 17 km NE of Mértola, in the heart of the Iberian Pyrite Belt. It takes its name from the village of the same name where the mine is located. Geologically the Mine area consists of the outcropping volcanic and sedimentary rocks that vary in age from 542 to 251 million years. Mining in the São Domingos area is known to have started before the Roman colonisation of the Iberian Peninsula that took place in approximately 218 BC and the mining history of São Domingos can be divided into three distinct mining periods. The first, attributed to the Phoenicians and Carthaginians in the Calcolithic (copper age) period, which began 4300 ago, is perhaps the least known. Archaeological finds of three polished stone axes, similar to ones found in Rio Tinto (Spain), indicate the presence of pre-Roman mining activities at São Domingos. The second mining period is clearly attributed to the Romans who intensified the production of copper on a large scale. Thirty-nine Roman coins depicting emperors from Augustus (27 BC to 14 AD) to Theodosius (379-395 AD) were found on site attesting to the Roman presence. Mining activities are deemed to have lasted 385 years, from 12 to 397 AD. The main reason that the Romans established themselves in a so desert-like region that offered few possibilities of arable and livestock farming, was not for the extraction of copper, already intensely explored in other zones of the Empire, since the Roman economy did not have large requirements for copper but rather for gold and silver. It is calculated that the Romans processed some 3 Mt of ore based on the amount of dump material available on site and based on the amount of slags found, it is estimated that some 750 000 tons of pyrite and copper ore were removed from São Domingos in this period. Mining took place to a depth of 40 m and the average concentration of the copper and sulphur ores was 2.75% and 46%, respectively. In the 1850's, Victor Ernest Deligny, then technical manager of the Tharsis and Calañas Mines, amongst others, ordered that Nicolas Biava carry out exploration in the "Santo Domingos area". In 16 June 1854, the Municipality of Mértola received a concession request by Biava for the São Domingos area that was subsequently granted. He later transferred his concession to Deligny, who in 1855, created La Sabina Mining Company with Spanish and French capital with a concession area of 798 km<sup>2</sup>. Later, in January 1959, Mason & Barry, with their headquarters in London, lease the concession from La Sabina following economic interests favourable to both parties and a process of industrialised mining at São Domingos takes off on its third and final period. Between 1859 and 1867 mining operations consisted of underground operations by prolonging the existing shafts, haulages, drives and stopes using the relic infrastructures found on site. Average grades of 3% Cu and 50% S were mined in this period and the pyrite was shipped to England, via the Pomarão Harbour where, through ustulation (a process that causes the loss of volatile components) for the manufacture of sulphuric acid, the copper was extracted. Heavy maritime traffic at the Pomarão Harbour, 18 km south of the mine, and lower metal prices, prompted (James) Mason to build a treatment plant to process poorer ore at Achada do Gamo. From 1868 till its closure in 1966, due to exhaustion of the ore, São Domingos continued as an open cast exploration.

It is calculated that all the periods of mining resulted in the production of 25 Mt of ore, and mine waste material in the area is estimated at several hundred thousand tons. In this context, important environmental problems are associated, which are visible within an area around 50 km<sup>2</sup>.

### **Achada do Gamo**



The Achada do Gamo site is characterised by having a myriad of old mining infrastructures that are surrounded by several dumps, some containing milled ore, building debris, bedrock and closer to the dam, sediments derived from the run-off of these materials.

Due to the extremely high concentrates of S-bearing minerals as well as sulphate salts, it is common to find carapaces made up of native sulphur crystals and neo-formed sulphates (melanterite, jarosite) at the edges of the various acid dams in the area. The sulphates are mostly visible in summer as they dissolve when it rains.



A **Mina de São Domingos** situa-se no Baixo Alentejo, na margem esquerda do Guadiana, a 17 km da Vila de Mértola e encontra-se inactiva desde 1966. Os terrenos da região são quase todos de xisto, o clima é quente e seco, nos meses de Verão as temperaturas máximas ultrapassam regularmente os 30 - 35º Celsius. A Mina de São Domingos integra-se na *Faixa Piritosa Ibérica* que constitui uma das mais importantes Províncias Metalogénicas de sulfuretos maciços polimetálicos à escala mundial. Outrora o minério (pirite) era extraído 24 horas por dia, inicialmente transportado do interior das minas para a superfície por burros, mais tarde por vagonetas; algum minério era exportado para Inglaterra e outro, transformado para construção de máquinas em oficinas anexos às próprias minas, era também exportado para Inglaterra. A mina, que empregou milhares de trabalhadores, foi considerada uma das maiores fontes do equilíbrio económico para o concelho. Sobre a Mina de São Domingos, podemos concluir que entre os anos de 1855 e 1966, foram retirados à serra de S. Domingos cerca de 25 milhões de toneladas de minério. O primeiro registo oficial é do ano de 1858 e refere a extracção de 236 toneladas de pirite sulfurada. Em 1862, apenas quatro anos depois, são exportadas para Inglaterra quase 120000 toneladas de pirite, metade do consumo daquele país. O ano de 1912 regista a cifra mais alta de minério exportado ao longo de toda a história da Mina de S. Domingos: 432350 toneladas de pirite. No ano de 1965, o último ano



de extracção no interior do labirinto subterrâneo, apenas foram extraídas 66823 toneladas. Dois tipos de extracção marcaram a exploração na Mina de S. Domingos: subterrânea e a céu aberto. A primeira levou à criação de um intrincado sistema de galerias, organizadas por pisos separados entre si cerca de trinta metros, até à profundidade de 405 metros, a partir do piso 120. A exploração mineira a céu aberto, realizada no local onde hoje está a "corta", iniciou-se em 1867 e terminou em torno da década de oitenta do século XIX, com a remoção de mais três

milhões de metros cúbicos de terras, numa área de cerca 42000 m<sup>2</sup> e atingindo uma profundidade de cerca 100 metros. Actualmente a paisagem que se observa da mina não é, sem duvida alguma, a de outrora. A mina encontra-se abandonada (apresentando apenas as ruínas) e em redor destas encontram-se lagoas ácidas (pH aproximadamente de 2,4) que foram criadas há mais de uma dezena de anos para fazer decantação das escorrências da antiga mina. Esta situação de abandono da mina é preocupante, uma vez que coloca sérios problemas ambientais, não só a nível dos impactos paisagísticos, mas também dos ecossistemas afectados. Estas ditas águas ácidas são, não só prejudiciais para os solos (que ficam assim contaminados), nem para os ecossistemas que se encontram junto das minas, mas também para linhas de água (algumas para consumo de populações). A linha de água que desagua na albufeira da barragem construída pelos espanhóis no rio Chança atravessa as escombrelas dos rejeitados, libertados pelos fornos das antigas minas. Ao longo do percurso desta linha de água, esta recebe o líquido lixiviado com enorme percentagem de óxidos. Esta água é para o fim de consumo humano ou para regas!! Contudo, apesar de todos os malefícios que o abandono da mina e que as águas ácidas podem trazer para o meio ambiente e até para o próprio Homem, temos de ver também a parte, não positiva, mas não tão negativa assim. É muita a gente que utiliza a água das lagoas ácidas para curar ferimentos. Dizem os mais velhos que esta água cura os males.

#### References

(Adaptado de **Cruz, A., Sousa, A. and Pereira, R., 2004. Mina de S. Domingos - uma intervenção urgente! School report, Escola EB 2,3 /S S. Sebastião).**



#### Volcanogenic Hosted Massive Sulphide Deposits

**Volcanogenic massive sulphide ore deposits (VMS)** are a type of metal sulfide ore deposit, mainly Cu-Zn-Pb which are associated with and created by volcanic-associated hydrothermal events in submarine environments.

These deposits are also sometimes called volcanic-hosted massive sulfide (VHMS) deposits. They are predominantly layered accumulations of sulfide minerals that precipitate from hydrothermal fluids on or below the seafloor in a wide range of ancient and modern geological settings. In modern oceans they are synonymous with sulfurous plumes called black smokers.

They occur within environments dominated by volcanic or volcanic-derived (e.g., volcano-sedimentary) rocks, and the deposits are contemporary and coincident with the formation of associated volcanic rocks. As a class, they represent a significant source of the world's Cu, Zn, Pb, Au, and Ag ores, with Co, Sn, Ba, S, Se, Mn, Cd, In, Bi, Te, Ga and Ge as mining by-products.

Volcanogenic massive sulfide deposits are forming today on the seafloor around undersea volcanoes along many mid ocean ridges, and within back-arc basins and forearc rifts. Mineral exploration companies are exploring for seafloor massive sulfide deposits; however, most exploration is concentrated in the search for land-based equivalents of these deposits.

The close association with volcanic rocks and eruptive centers sets VMS deposits apart from similar ore deposit types which share similar *source*, *transport* and *trap* processes. Some

volcanogenic massive sulfide deposits are distinctive in that ore deposits are formed in close temporal association with submarine volcanism and are formed by hydrothermal circulation and exhalation of sulfides which are independent of sedimentary processes. This can set VMS deposits apart from sedimentary exhalative (SEDEX) deposits. Host rock assemblages, textural relationships in sulfide minerals and hydrothermal alteration mineralogy are the best tools for distinguishing SEDEX from VMS deposits (Robb, 2005).

### **Generic model**

- The *source* of metal and sulfur in VMS deposits is a combination of incompatible elements that are leached from footwall rocks in the sub-seafloor hydrothermal alteration zone by hydrothermal circulation. In some deposits magmatic fluids have been suggested to be an additional source of metals and fluids. Hydrothermal circulation is generally considered to be driven via heat in the crust often related to deep-seated igneous intrusions.
- *Transport* of metals occurs via convection of hydrothermal fluids, the heat for this supplied by the magma chamber and subvolcanic intrusions that lie below the volcanic edifice. Cool ocean water is drawn into the hydrothermal zone and is heated by the volcanic rock and is then expelled into the ocean, the process enriching the hydrothermal fluid in sulfur and metal ions.
- The ore materials are precipitated within a fumarole field or a black smoker field when they are expelled into the ocean, cool and mix with seawater resulting in the precipitation of sulfide minerals as stratiform sulfide ore. Some deposits show evidence of formation via deposition of sulfide via replacement of volcanosedimentary or sedimentary rocks, whereas others may also form by invasion of sulfur-rich brines into unconsolidated sediments.

### **Geology**

The typical location for VMS deposits is at the top of the felsic volcanic sequence, within a sequence of volcanoclastic tuffaceous epiclastics, cherts, sediments or perhaps fine tuffs which are usually related to the underlying volcanics. The hangingwall to the deposit is broadly related to a more mafic sequence of volcanic rocks, either Andesite (examples being Whim Creek & Mons Cupri, Western Australia or Millenbach, Canada), or basalt (Hellyer, Tasmania) or absent or sediments only (Kangaroo Caves, Western Australia).

VMS deposits are associated spatially and temporally with felsic volcanic rocks, usually present in the stratigraphy below the deposit, and often as the direct footwall to the deposit. Sediments are usually contiguous with VMS deposits in some form or another and typically are present as (manganiferous) cherts, volcanogenic tuffaceous sediments and chemical sediments deposited within a submarine environment.

The hanging wall to the deposit can be volcanic units essentially contiguous and contemporary with the footwall rocks, indicating mineralisation was developed in an inter-eruptive pause; it may be volcanic rock dissimilar to the footwall volcanics in bimodal volcanic subtypes, or it could be sedimentary strata if mineralisation occurred toward the end of an eruptive cycle.

Hybrid VMS-SEDEX deposits of the siliciclastic associations (see below) may be developed within interflow sediments or within units of sedimentary rocks which are present discontinuously throughout a larger and essentially contiguous volcanic package.

Altogether, these geological features have been interpreted to show an association of VMS deposits with hydrothermal systems developed above or around submarine volcanic centres.

### **Morphology**

VMS deposits have a wide variety of morphologies, with mound shaped and bowl shaped deposits most typical. The bowl-shaped formations formed due to venting of hydrothermal solutions into submarine depressions - in many cases, this type of deposit can be confused with sedimentary exhalative deposits. The mound-shaped deposits formed in a way similar to that of modern massive sulfide deposits - via production of a hydrothermal mound formed by successive black smoker chimneys. Deposits that have formed in environments dominated by sedimentary rocks or highly permeable volcanic rocks can show a tabular morphology that mimics the geometry of the surrounding rocks.

VMS deposits have an ideal form of a conical area of highly altered volcanic or volcanogenic sedimentary rock within the feeder zone, which is called the **stringer sulfide** or **stockwork** zone, overlain by a mound of massive exhalites, and flanked by stratiform exhalative sulfides known as the **apron**.

The stockwork zone typically consists of vein-hosted sulfides (mostly chalcopyrite, pyrite, and pyrrhotite) with quartz, chlorite and lesser carbonates and barite.

The mound zone consists of laminated massive to brecciated pyrite, sphalerite (+/-galena), hematite, and barite. The mound can be up to several tens of metres thick and several hundred metres in diameter.

The apron zone is generally more oxidised, with stratiform, laminated sulfidic sediments, similar to SEDEX ores, and is generally manganese, barium and hematite enriched, with cherts, jaspers and chemical sediments common.

### **Metal zonation**

Most VMS deposits show metal zonation, caused by the changing physical and chemical environments of the circulating hydrothermal fluid within the wall rock. Ideally, this forms a core of massive pyrite and chalcopyrite around the throat of the vent system, with a halo of chalcopyrite-sphalerite-pyrite grading into a distal sphalerite-galena and galena-manganese and finally a chert-manganese-hematite facies. Most VMS deposits show a vertical zonation of gold, with the cooler upper portions generally more enriched in gold and silver.

The mineralogy of VMS massive sulfide consists of over 90% iron sulfide, mainly in the form of pyrite, with chalcopyrite, sphalerite and galena also being major constituents. Magnetite is present in minor amounts; as magnetite content increases, the ores grade into massive oxide deposits. The gangue (the uneconomic waste material) is mainly quartz and pyrite or

pyrrhotite. Due to the high density of the deposits some have marked gravity anomalies (Neves-Corvo, Portugal) which is of use in exploration.

### **Alteration morphology**

Alteration haloes developed by VMS deposits are typically conical in shape, occur mostly stratigraphically below the original fluid flow location (not necessarily the ore itself), and are typically zoned.

The most intense alteration (containing the stringer sulfide zone) is generally located directly underneath the greatest concentration of massive sulfides, within the footwall volcanic sequence. If the stringer zone is displaced from the sulfides, it is often the product of tectonic deformation, or the formation of a hybrid SEDEX-like distal pool of sulfides.

The alteration assemblages of the footwall alteration zone is, from core outwards;

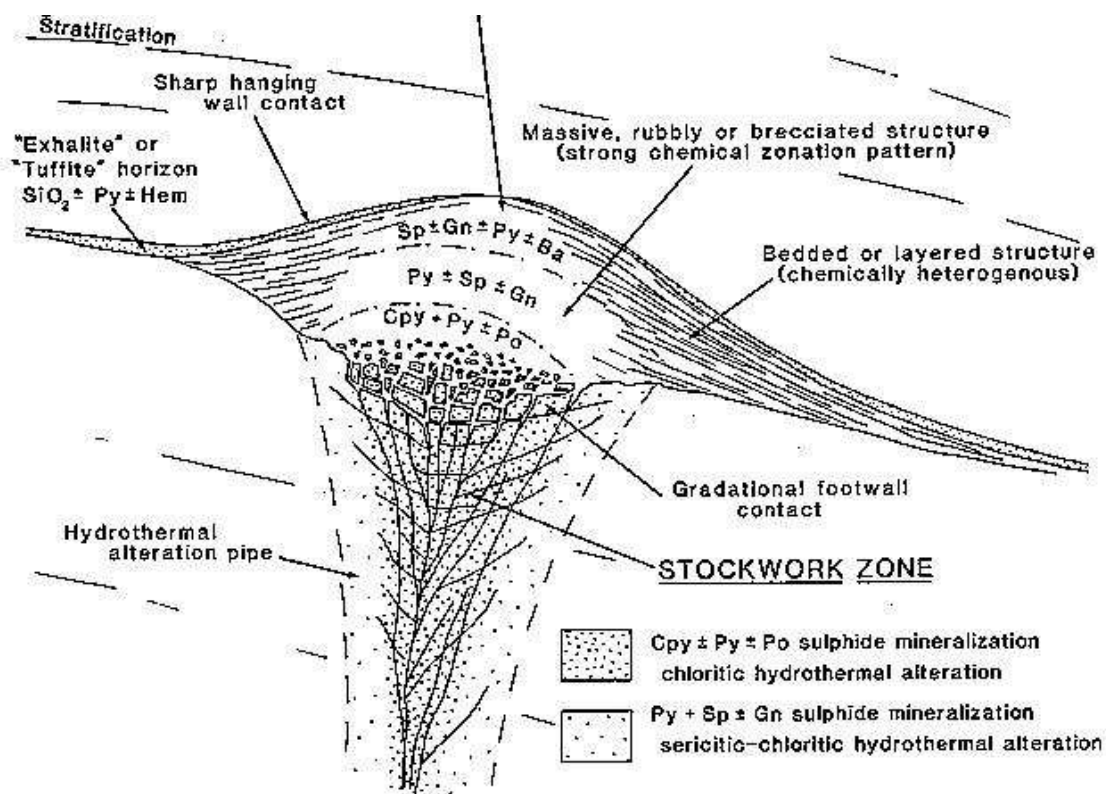
- *Silica alteration zone*, found in the most intensely altered examples, resulting in complete silica replacement of the host rocks, and associated with chalcopyrite-pyrite stringer zones.
- *Chlorite zone*, found in nearly all examples, consisting of chlorite +/- sericite +/- silica. Often the host rock is entirely replaced by chlorite, which may appear as a chlorite schist in deformed examples.
- *Sericite zone*, found in nearly all examples, consisting of sericite +/- chlorite +/- silica,
- *Silicification zone*, often gradational with background silica-albite metasomatism.

In all cases these alteration zones are metasomatism effects in the strictest sense, resulting in addition of potassium, silica, magnesium, and depletion of sodium. Chlorite minerals are usually more magnesian in composition within the footwall alteration zone of a VMS deposit than equivalent rocks within the same formation distally. The hangingwall to a VMS deposit is often weakly sodium depleted.

Alteration not associated with the ore forming process may also be omnipresent both above and below the massive sulfide deposit. Typical alteration textures associated with devitrification of submarine volcanic rocks such as rhyolitic glasses, notably formation of spherulites, of perlite, lithophysae, and low-temperature prehnite-pumpellyite facies sub-seafloor alteration is ubiquitous though often overprinted by later metamorphic events.

Metamorphic mineralogical, textural and structural changes within the host volcanic sequence may also further serve to disguise original metasomatic mineral assemblages.





References:

Barrie, C. T., and Hannington, M. D., editors, (1999), *Volcanic-Associated Massive Sulfide Deposits: Processes and Examples in Modern and Ancient Settings*, Reviews in Economic Geology Volume 8, Society of Economic Geologists, Denver, 408 p.

Barrie, C. T., and Hannington, M. D., 1999, Classification of volcanic-associated massive sulfide deposits based on host-rock composition: *Reviews in Economic Geology*, v. 8, p. 1-11.

Franklin, J. M., Sangster, D. M., and Lydon, J. W., 1981, Volcanic-associated massive sulfide deposits, in Skinner, B. J., ed., *Economic Geology Seventy-Fifth Anniversary Volume*, Society of Economic Geologists, p. 485-627.

Franklin, J. M., Gibson, H. L., Galley, A. G., and Jonasson, I. R., 2005, Volcanogenic Massive Sulfide Deposits, in Hedenquist, J. W., Thompson, J. F. H., Goldfarb, R. J., and Richards, J. P., eds., *Economic Geology 100th Anniversary Volume*: Littleton, CO, Society of Economic Geologists, p. 523-560.

Guilbert, John M., and Charles F. Park, Jr., 1986, *The Geology of Ore Deposits*, pp 572-603, W. H. Freeman, ISBN 0-7167-1456-6

Lydon, J. W., 1984, Ore deposit models; 8, Volcanogenic sulfide deposits; Part I, A descriptive model: *Geoscience Canada*, v. 11, p. 195-202.

Robb, L.J., 2005, *Introduction to ore-forming processes*, Blackwell Science, Carlton, VIC, Australia.

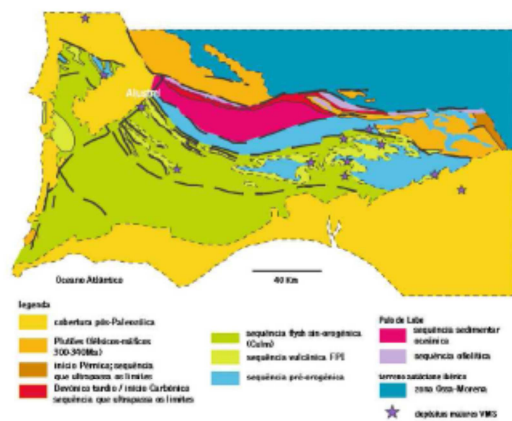


## A Faixa Piritosa Ibérica

### Enquadramento Geológico

A Faixa Piritosa Ibérica (FPI) constitui a principal fracção da zona Sul Portuguesa, do segmento ibérico da cintura Varisca. Localiza-se perto do contacto entre a zona de Ossa-Morena e a zona Sul-Portuguesa, numa área geográfica com cerca de 300 Km de comprimento, desde o jazigo de sulfuretos polimetálicos de Lagoa Salgada (somente descoberto na década de 90 do séc. XX) até próximo de Sevilha e 30 a 60 Km de largura. Como se pode observar na figura existem, na faixa, várias minas onde têm vindo a ser explorados, intensamente, os depósitos metalogénicos maciços de sulfuretos, destacando-se pirites maciças associadas, em maior ou menor grau, a sulfuretos de metais básicos. Ocorrem também frequentemente intercalações de corpos com concentrações apreciáveis de manganês, jaspe e barite.

Delgado, 1910 foi, possivelmente, o primeiro autor a reconhecer a importância geológica desta zona portuguesa. Só na década de 70, o termo Faixa Piritosa Ibérica foi reconhecido geologicamente (Carvalho et al., 1971 in Candeias, 2008).



Fonte: Candeias, 2008

FIGURA: SUBDIVISÃO DAS GRANDES ZONAS GEOTECTÓNICAS DE PORTUGAL CONTINENTAL

A área correspondente à actual FPI fazia parte, durante o Devónico superior, de um mar relativamente pouco profundo, algo semelhante ao actual Mar do Norte, com pelo menos 200 Km de largura. A partir do final do Devónico, a crosta continental, subjacente a este mar, começou a sofrer distensão, o que provocou o aparecimento de falhas profundas, originando horsts (elevações) e grabens (depressões). Ao longo destas falhas emergiram magmas de origem mantélica e também, a fusão de materiais da crosta, o que veio a originar numerosos aparelhos vulcânicos. As depressões formaram bacias no fundo do mar que foram sendo, sucessivamente, preenchidos por sedimentos finos (predominantemente xistos negros) intercalados com os produtos resultantes da actividade vulcânica. Próximo dos vulcões, as pilhas de rochas vulcânicas, atingiram espessuras na ordem dos 500 m, enquanto que nas áreas situadas entre os aparelhos vulcânicos e também nos altos fundos, depositaram-se produtos televulcânicos finos misturados com sedimentação terrígena. Neste contexto paleogeográfico, a quantidade de sílica disponível na água de mar era de tal ordem elevada que permitiu a proliferação de grande quantidade de microrganismos com carapaça siliciosa, do tipo dos radiolários (hoje preservados como fósseis nas rochas siliciosas finas) e, também

acumulações de chertes e jaspes (Oliveira & Oliveira, 1996). Por volta do Viséano superior deu-se uma mudança nas condições geodinâmicas, tendo passado de um regime de distensão para uma situação compressiva. Esta inversão tectónica poderá ter sido induzida pela colisão entre as massas continentais da zona Sul Portuguesa, a sul, e da zona Ossa Morena, a norte

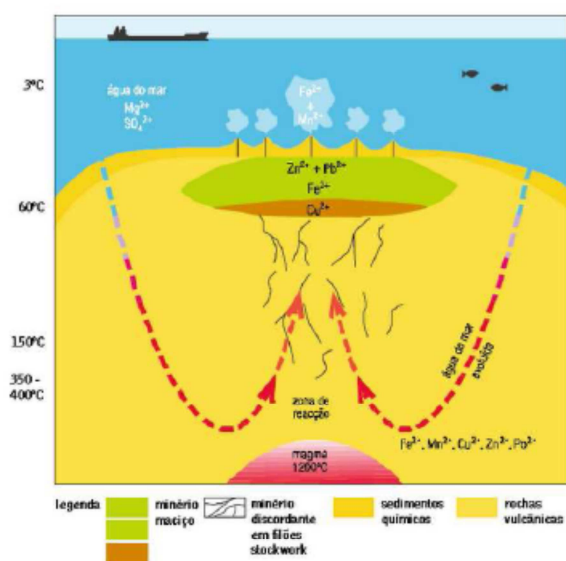
Daqui resultaram movimentos orogénicos que elevaram o fundo do mar, tendo provocado a exposição aérea mais ou menos generalizada. Como consequência deu-se uma forte erosão das terras emersas, cuja carga detrítica foi transportada para o fundo oceânico existente a sul, o que veio a constituir os sedimentos do grupo do Flysch do Baixo Alentejo. Da continuação da compressão resultou a progressão da onda orogénica para sudoeste, de tal modo que, durante o Estefaniano, toda a área ficou definitivamente incorporada na cadeia Orogénica Varisca. Esta cadeia, que se estendeu por muitos milhares de quilómetros desde Marrocos, via Europa, até além do Cáucaso, foi gradualmente erodida durante os tempos meso-cenozóicos e as suas raízes constituem o substrato paleozóico actual do continente europeu. Os campos hidrotermais descobertos nas cristas oceânicas, onde se podem observar chaminés que emanam fluídos quentes ricos em metais de transição, como ferro, cobre, zinco e ouro, podem ser análogos actuais deste tipo de jazigos.

Em resumo, a FPI consiste num domínio geológico constituído por rochas de origem vulcânica e vulcano-sedimentar, de idades compreendidas entre o Devónico superior e o Carbónico (380-290 Ma), que forma uma cintura arqueada (300Km – 60Km) e se estende desde a zona a Oeste de Sevilha, até à área Norte da zona Sul Portuguesa. Em ambos os extremos da FPI as rochas paleozóicas estão cobertas por sedimentos, constituindo o soco das bacias terciárias de Guadalquivir (Espanha) e Sado (Portugal). Em consequência dos fenómenos geológicos que ocorreram na zona, a FPI acolhe alguns dos maiores depósitos maciços de sulfuretos de origem vulcânica (VHMS) do mundo (Martins et. al., 2001), cerca de 90, associados ao Complexo vulcano-Silicioso, com idade compreendida entre o Fameniano superior e o Viséano superior, o

que lhe confere um estatuto de província metalogenética de classe mundial (Matos et. al., 2006 in Candeias, 2008).

A Faixa Piritosa Ibérica encontra-se subdividida em várias unidades tectonoestratigráficas sendo, da mais antiga para a mais recente:

*O grupo Filito-Quartzítico* é composto por uma sequência sedimentar predominante, constituída por filitos, siltitos, quartzitos e quartzograuaques e aflora, principalmente, no interior de anticlinais. Os micro e macrofósseis das unidades



Fonte: Candeias, 2008

FIGURA: DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO FENÓMENO OCORRIDO NA FAIXA PIRITOSA IBÉRICA

areníticas, perto do cimo desta unidade são do Devónico superior. Trata-se do substrato detrítico da faixa piritosa onde predominam os xistos e os quartzitos com quartzovaques subordinados, lenticulas e nódulos carbonatados no topo. Todas as serras existentes entre a mina de S. Domingos e Aljustrel, com excepção da serra Branca, estão suportadas por rochas desta unidade.

O complexo Vulcano-Silicioso cobre, em conformidade, o Grupo Filito-Quartzítico e consiste numa sequência vulcano-sedimentar, com rochas vulcânicas félsicas, intermédias e máficas e sedimentos, como xistos negros, xistos siliciosos, xistos borra-de-vinho, jaspes e chertes. A secção vulcânica bi-modal é economicamente importante devido a ser nestas unidades que se encontram os depósitos maciços de sulfuretos polimetálicos, assim como as numerosas ocorrências de manganês. Nas áreas de Albernoa e Aljustrel encontra-se um grande domínio de tufos ácidos sobre os quais ocorrem jaspes, xistos negros, xistos borra-de-vinho e xistos siliciosos.

É normalmente admitido que os principais centros vulcânicos estariam situados nas áreas de S. Domingos, Serra Branca, Albernoa, Aljustrel, Castro Verde, Rosário, Neves-Corvo, Cercal e Lousal, áreas em que se localizam as principais concentrações de sulfuretos maciços, ocorrendo quase sistematicamente, no topo dos episódios vulcânicos ácidos, o que põe em evidência a íntima relação entre o vulcanismo e as mineralizações (Oliveira & Oliveira, 1996).

*O grupo Flysch*- recobre, em conformidade, o Complexo Vulcano-Silicioso e não é mais do que uma unidade muito espalhada na zona oriental da Faixa Piritosa Ibérica. Neste grupo denota-se a alteração de vulcanismo para sedimentação, associada a colapso de bacia. As correlações entre as fácies vulcânica e sedimentar sugerem que o vulcanismo migrou de sudoeste para nordeste, enquanto que a subsidência da bacia se desenvolveu de nordeste para sudoeste.

As megaestruturas da faixa piritosa formam os extensos anticlinais do sub Culm, cuja orientação roda lentamente de W-E em Espanha para NW-SW em Portugal. As dobras maiores são acompanhadas de dobras secundárias de todas as dimensões e mergulhos variáveis mas, sempre associadas a estas dobras, encontram-se as falhas de cavalgamento. As estruturas anticlinais e sinclinais variam de dobras apertadas a abertas, direitas, assimétricas, tombadas e são acompanhadas de xistosidade de plano axial, bem desenvolvida. Estas dobras constituem as estruturas dominantes da FPI; parece razoável considerar que foram geradas durante um único período de dobramento, a fase orogénica principal. Na região de Aljustrel os carreamentos cortam obliquamente as formações cavalgadas do Culm que já estariam dobradas (embora sem clivagem), sendo que os carreamentos se desenvolveram a partir dos núcleos anticlinais de sub-Culm. Estes exemplos ilustram bem a complexidade tectónica da FPI.

### **Prospecção**

A descoberta de Neves Corvo em 1977 veio revolucionar a prospecção de sulfuretos na Faixa Piritosa Ibérica (FPI), demonstrando a possibilidade de aqui existirem mineralizações de sulfuretos maciços com excepcionais reservas e teores elevados em metais básicos. A presença de 90 jazigos de pirite na FPI, distribuídos por uma área com cerca de 250km de comprimento e 60km de largura, localizada no sudoeste ibérico, nomeadamente nas regiões do Alentejo em Portugal e da Andaluzia em Espanha, confere a esta Faixa uma importância mundial [Barriga et

al. 1977, Matos e Martins 2006, Oliveira et al. 2006, Relvas et al. 2002 ref. inc.]. 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,...), encontrando-se os depósitos associados a litologias do Complexo Vulcano-Sedimentar, de idade Fameniano Sup.-Viseano Sup.. Além dos jazigos de pirite ocorrem também na FPI pequenas jazidas de óxidos demanganês e de ferro e ainda de filões de cobre, antimónio, chumbo e bário, representados por inúmeras minas abandonadas.

A exploração de minérios na FPI iniciou-se no período Calcolítico, há cerca de 5000 anos. Durante a época romana vários chapéus de ferro foram alvo de exploração mineira como Rio Tinto e Tharsis em Espanha e São Domingos, Aljustrel e Caveira em Portugal. Na segunda metade do séc. XIX verificou-se um incremento significativo da actividade extractiva, traduzida pela abertura de dezenas de minas exploradas quer a céu aberto, quer em subterrâneo. Durante o séc. XX a mineração foi condicionada à evolução dos mercados de metais, verificando-se um claro decréscimo a partir dos anos 80, até 2004, ano onde apenas a mina de Neves Corvo se mantinha em operação. O aumento do preço dos metais tem-se reflectido num esforço crescente em prospecção e na retoma ou início de projectos mineiros como Aljustrel em Portugal e Las Cruces e Aguas Teñidas em Espanha. A FPI é hoje uma região mineira europeia onde se definem as seguintes políticas de desenvolvimento sustentável [Matos e Martins 2006]: i) - Extração de minérios de Cu, Zn, Sn, Au e Ag; ii) - Prospecção de jazigos metálicos; iii) - Recuperação ambiental de áreas mineiras afectadas por drenagem ácida; iv) - Dinamização do turismo temático geológico e mineiro. A descoberta de um segundo jazigo com a tipologia de Neves Corvo constitui o principal objectivo estratégico para as empresas de prospecção [Oliveira et al.2006, Matos e Martins 2006]. A probabilidade de tal acontecer continua a ser elevada, sobretudo no lado português onde se conhecem apenas 9 jazigos de pirite (de NW para SE: Lagoa Salgada, Caveira, Lousal, Salgadinho, Montinho, Aljustrel, Neves Corvo, S. Domingos e Chança). Porém, o facto do Complexo Vulcano-Sedimentar, unidade geológica associada à ocorrência de sulfuretos maciços, se encontrar oculto em áreas muito amplas, coberto quer por sedimentos paleozóicos do Grupo do Flysch do Baixo Alentejo (Viseano Sup. – Moscoviano), quer por sedimentos terciários das bacias do Sado e do Guadalquivir, aumenta a dificuldade de interpretação dos diferentes cenários geologicamente complexos. Actualmente aplicam-se de forma integrada várias técnicas de geofísica e de geoquímica, com apoio de sistemas de informação geográfica tridimensionais de modo a se sustentar a realização de novas sondagens mecânicas. A existência de um banco de dados significativo sob responsabilidade do LNEG-LGM possibilita às empresas um acesso mitorápido ao estado da arte de cada sector da FPI [Matos e Martins 2006]. O papel do Estado neste domínio tem sido fundamental para a manutenção continuada e sustentada da actividade de prospecção de inúmeras companhias, salientando-se a descoberta dos depósitos de Lagoa Salgada e Salgadinho pelos serviços estatais. Desde 1965 o esforço financeiro em prospecção foi superior a 100M€ (Matos e Sousa, 2008).

#### References:

Barriga et al. (1997) Introduction to the Iberian Pyrite Belt. SEG Neves Corvo, V.27. pp. 1-20.

Macintosh et al. [1999] The geophysical response of the Las Cruces massive sulphide deposit. Exploration Geophysics 30, 124-134.

Matos e Martins (2006) Reabilitação ambiental de áreas mineiras do sector português da Faixa Piritosa Ibérica: estado da arte e perspectivas futuras. IGME, Bol. Geol. Min. España, v. 117, nº2, pp. 289-304.

Matos e Sousa (2008) prospecção d sulfuretos maciços no sector Português da Faixa Piritosa Ibérica. 5º Congresso Luso-Moçambicano de engenharia.

Oliveira et al. (2006) O Complexo Vulcano-Sedimentar da Faixa Piritosa: estratigrafia, vulcanismo, mineralizações associadas e evolução tectonoestratigráfica no contexto da Zona Sul Portuguesa. VII CN Geologia, Un. Évora, Portugal, pp. 207-244.

Oliveira et al. (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. V CN Geologia, IGM T84 F2, pp.F15-18.

Relvas et al. (2002) The Neves-Corvo Deposit, IPB, Portugal: SEG Special Pub. 9, pp. 155-176.

This page is left blank / esta página é deixada em branco

## Ponts of interest in the area – Pontos de interesse na área



### Points of interest

Monument to the unknown miner	37° 40.193	7° 30.037
Workshops	37° 40.167	7° 29.918
Headgear	37° 40.111	7° 29.815
Information panels (open pit)	37° 40.187	7° 29.716
Underground Access addits	37° 40.193	7° 29.759
Milled pyrite dumps	37° 39.626	7° 30.174
Moitinha milling station	37° 39.445	7° 30.370
Information panels (Moitinha milling station)	37° 39.463	7° 30.446
Achada do Gamo	37° 38.950	7° 30.664
Cementation tanks – Achada do Gamo	37° 38.838	7° 30.632
Telheiro	37° 38.012	7° 31.002
Pomarão Harbour	37° 33.372	7° 31.488

Note: the equivalent of the Pomarão Harbour in Spain is Puerto de La Laja: N37° 31.452 / W7° 29.556



### Pontos de interesse

Monumento ao Mineiro Desconhecido	37° 40.193	7° 30.037
Oficinas ferroviárias	37° 40.167	7° 29.918
Malacate	37° 40.111	7° 29.815
Paineis informativos (corta)	37° 40.187	7° 29.716
Acessos subterrâneos	37° 40.193	7° 29.759
Escombreiras de pirite moída	37° 39.626	7° 30.174
Estação de moagem Moitinha	37° 39.445	7° 30.370
Placa informativa - Estação de moagem Moitinha	37° 39.463	7° 30.446
Achada do Gamo	37° 38.950	7° 30.664
Tanques cementação – Achada do Gamo	37° 38.838	7° 30.632
Telheiro	37° 38.012	7° 31.002
Porto do Pomarão	37° 33.372	7° 31.488

Nota: o equivalente ao Porto do Pomarão em Espanha é Puerto de La Laja: N37° 31.452 / W7° 29.556





Monument to the unknown miner	37° 40.193	7° 30.037
-------------------------------	------------	-----------

Sculptor: Jorge Castanho  
Inaugurated by President Jorge Sampaio on April 16, 2004.



Monumento ao Mineiro Desconhecido	37° 40.193	7° 30.037
-----------------------------------	------------	-----------



Monumento de Homenagem ao Mineiro (des)conhecido – concebido por Jorge Castanho e inaugurado pelo Presidente Jorge Sampaio em 16 de Abril de 2004.



Information panels (open pit)	37° 40.187	7° 29.716
-------------------------------	------------	-----------



The open pit mining of the São Domingos Mine is the result of the open pit mining exploitation that begun in 1867. It has a depth of 120m and a perimeter of approximately 2 km. From 1868 till its closure in 1966, due to exhaustion of the ore, São Domingos continued as an open cast exploration. It is calculated that all the periods of mining resulted in the production of 25 Mt, and mine waste material in the area is estimated at several hundred thousand tons.



Paineis informativos (corta)	37° 40.187	7° 29.716
------------------------------	------------	-----------



A extracção de minério da Mina de São Domingos a céu aberto é o resultado da exploração a céu aberto, que começou em 1867. A corta tem uma profundidade de 120 m e um perímetro de cerca de 2 km. A partir de 1868 até seu encerramento em 1966, devido ao esgotamento do minério, a mina de São Domingos funcionou como exploração a céu aberto. Calcula-se que todos os períodos de extracção resultaram na produção de 25 milhões de toneladas, e os resíduos na área da mina é estimado em várias centenas de milhares de toneladas.



Workshops	37° 40.167	7° 29.918
-----------	------------	-----------



To the north of these workshops is the power station of the mine, the first built in the Alentejo. This worked initially with coal and later with gas and diesel.

Between the garden and gazebo is located the company's police station on which stands the iconic clock tower.



Oficinas ferroviárias	37° 40.167	7° 29.918
-----------------------	------------	-----------



A norte destas oficinas encontra-se a central eléctrica da mina, a primeira construída no Alentejo. Esta funcionou inicialmente a carvão e posteriormente a gás pobre e fuel.

Entre o jardim e o coreto localiza-se o posto da polícia da empresa onde se destaca torre do relógio.



Moitinha milling station	37° 39.445	7° 30.370
Information panels (Moitinha milling station)	37° 39.463	7° 30.446



The ore brought by train from mine, located upstream, was discharged in Moitinha where the mills and crushers were located. On the left bank of the Ribeira de S. Domingos we can identify the ruins of the base of the chimney of the boilers and main building, which was served by two rail lines: the upper for trains with raw ore and lower for compositions with crushed ore. In the hilltop rise the ruins of the workers suburb of Moitinha, which dominates the valley and extensive plateau

occupied by tanks for leaching of copper. On the opposite bank to the crushing station we can observe modern slag heaps black in color. Upstream of this location is the mining dam currently with the basal floodgates open.



Estação de moagem Moitinha	37° 39.445	7° 30.370
Placa informativa - Estação de moagem Moitinha	37° 39.463	7° 30.446



O minério trazido por comboio da corta, situada a montante, era descarregado na Moitinha onde se localizavam os moinhos britadores. Na margem esquerda da Ribeira de S. Domingos identificam-se as ruínas da base da chaminé das caldeiras e do edifício principal, o qual era servido por duas linhas férreas: a superior para comboios com minério bruto e a inferior para as composições com minério britado. No topo da colina surgem as ruínas do Bairro operário da Moitinha, o qual

domina o vale e extenso planalto ocupados por tanques de lixiviação de cobre. Na margem oposta à estação de britagem observam-se as escombrelas de escórias modernas de cor negra. A montante deste local encontra-se o paredão de uma barragem mineira, actualmente com as comportas de fundo abertas.



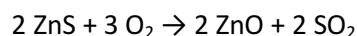
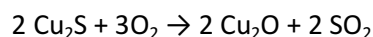
Achada do Gamo	37° 38.950	7° 30.664
----------------	------------	-----------

Roasting/ustulation is a step of the processing of certain ores. More specifically, roasting is a metallurgical process involving gas–solid reactions at elevated temperatures with the goal of purifying the metal component(s). Often before roasting, the ore has already been partially purified, e.g. by froth floatation. The concentrate is mixed with other materials to facilitate the process. The technology is useful but is also a serious source of air pollution.

Roasting consists of thermal gas–solid reactions, which can include oxidation, reduction, chlorination, sulphation, and pyrohydrolysis. In roasting, the ore or ore concentrate is treated with very hot air. This process is generally applied to sulphide minerals. During roasting, the



sulfide is converted to an oxide, and sulfur is released as sulfur dioxide, a gas. For the ores  $\text{Cu}_2\text{S}$  (chalcocite) and  $\text{ZnS}$  (sphalerite), balanced equations for the roasting are:



The gaseous product of sulfide roasting, sulfur dioxide ( $\text{SO}_2$ ) is often used to produce sulfuric acid. Many sulfide minerals contain other components such as arsenic that are released into the environment.

Up until the early 20th century, roasting was started by burning wood on top of ore. This would raise the temperature of the ore to the point where its sulfur content would become its source of fuel, and the roasting process could continue without external fuel sources. Early sulfide roasting, was practiced in this manner, in "open hearth" roasters, which were manually stirred (a practice referred to as "rabbling") using rake-like tools to expose unroasted ore to oxygen as the reaction proceeded.



Achada do Gamo	37° 38.950	7° 30.664
----------------	------------	-----------

Ustulação consiste em aquecer um sulfureto na presença de oxigénio, conhecido também como "queima de sulfureto". Processo geralmente usado para obtenção de metais como: chumbo, cobre, prata, zinco e mercúrio.

É a queima de sulfuretos em fornos especiais com passagem de corrente de ar quente. A

ustulação de sulfetos cujo catião vem de um metal de baixa electropositividade (metal pouco reactivo ou nobre) dá origem a esse metal com libertação de dióxido de enxofre. Se o catião vem de um metal de alta electropositividade (metal muito reactivo ou não nobre) dá origem ao óxido desse metal, com libertação de dióxido de enxofre.



Vista da zona de fábrica da Achada do Gamo



Escombrelras de pirite móida e chaminés



Cobre residual em pavimento



Escombrelras de escórias



Telheiro	37° 38.012	7° 31.002
----------	------------	-----------



In the 19<sup>th</sup> century the Telheiro railway station was used to exchange train locomotives, because the ones that came from the mine could not be used to proceed until the Pomarão harbour (Cabral, 1889). Nowadays only ruins are visible and the infrastructures are even difficult to identify because only parts of the walls still stand. The Telheiro area is also the confluence of the S.

Domingos acid water stream and Mosteirão stream. This mixture of the acid waters of the S. Domingos stream with the neutral pH waters of Mosteirão stream and the chemical reactions observed resulting from physical and changing chemical conditions are visible downstream where, precipitation from solution and flocculation of colloid particles of iron oxy-hydroxides occurs (Batista et al., 2012).

Ref: M. J. batista, J. X. Matos, D. Oliveira, M. M. Abreu, M. O. Figueiredo, I. Quental, F. Africano, C. Branquinho, T. Pena, H. Santana, Z. Pereira, N. Matielli – Multidisciplinary contribution for environmental characterization and improvement at the S. Domingos mining site. *Field Trip Guidebook of the 9th International Symposium on Environmental Geochemistry*, 95p. Eds: E. F. Silva, A. P. Reis, C. Patinha, E. Pereira, S. Rodrigues. PLM-Plural S. A. ISBN:978-972-789-367-6.



Telheiro	37° 38.012	7° 31.002
----------	------------	-----------



No século 19, a estação ferroviária do Telheiro foi utilizada para troca de locomotivas porque as que vinham da mina não podiam prosseguir até ao porto de Pomarão (Cabral, 1889). Hoje em dia apenas ruínas são visíveis e as infra-estruturas são ainda difíceis de identificar porque apenas partes das paredes ainda estão de pé.

A área Telheiro também é também a confluência das Ribeiras de S. Domingos (água ácida) e Mosteirão (água limpa). Esta mistura das águas ácidas da Ribeira de S. Domingos com as águas de pH neutro da Ribeira de Mosteirão e as reacções químicas observada resultante das condições químicas e físicas estão visíveis a jusante onde, a partir da solução de precipitação e a floculação de partículas coloidais de oxi-hidróxidos de ferro ocorre.

**WARNING: The bridge at Telheiro is not structurally sound!**

**AVISO: A ponte do Telheiro pode estar em vias de ruir!**



Pomarão Harbour	37° 33.372	7° 31.488
-----------------	------------	-----------

The hill on which the Chapel of St<sup>a</sup>. Teresinha stands allows an overview of the Port of Pomarão, ancient port of the São Domingos Mine.



The concession company, Mason & Barry, between 1859 and 1860, dredged the bed of the Guadiana River, which made it feasible to sail between Pomarão and Vila Real de Sto. Antonio, a distance of about 35 km. The port ensured the rapid flow of ore to England allowing a marked competitiveness to the old mining company. In 1864, the golden age of exploration and mining of pyrites, 563 ships moved ore between this location and England. On the right bank of the Guadiana

River are remnants of the installations used to remove the ballast from the ships.



Porto do Pomarão	37° 33.372	7° 31.488
------------------	------------	-----------

A colina onde se situa a Capela de Santa Teresinha permite uma vista geral sobre o Porto do Pomarão, antigo porto da Mina de São Domingos.



A companhia concessionária, Mason & Barry, efectuou entre 1859 e 1860 obras de desassoreamento do leito do Rio Guadiana, que tornaram viável a navegação fluvial entre o Pomarão e Vila Real de Sto. António, numa distância de cerca de 35 km. O porto assegurava o rápido escoamento de minério para Inglaterra possibilitando uma marcada competitividade à antiga empresa mineira. O movimento de barcos foi em 1864, período áureo da actividade mineira e exploração de pirites, 563 navios. Na margem

direita do Guadiana encontram-se ainda os restos das instalações para remoção do balastro dos navios.