

Caracterização mineralógica do minério de ferro dos jazigos de Cabeço de Mua e da Carvalhosa (Moncorvo)

Mineralogical characterization of the iron ore from the Cabeço de Mua and Carvalhosa (Moncorvo) deposits

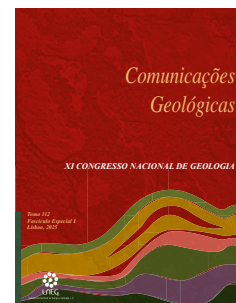
R. Vianez¹, J.M. Dias¹, A. Guedes^{1,2}, H. Sant'Ovaia^{1,2}, J. Ferreira^{1,2}, C. Cruz^{1,2}, F. Noronha^{1,2}

DOI: <https://doi.org/10.34637/pa5c-nc10>

Recebido em 01/10/2023 / Aceite em 11/03/2024

Publicado online em abril de 2025

© 2025 LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia IP



Artigo original
Original article

Resumo: O ferro é um material muito importante para o desenvolvimento da tecnologia e das infraestruturas de um país. Com o intuito de melhor conhecer os minérios de ferro de Portugal, especificamente dos jazigos de Cabeço da Mua e da Carvalhosa, foram efetuados estudos petrográficos, metalográficos e de microscopia eletrónica de varrimento com espectroscopia por dispersão de energias (MEV-EDE). Os minerais principais identificados foram quartzo, hematite e goetite, havendo algumas ocorrências de fosfatos disseminados, magnetite e fosfatos detríticos. O estudo MEV-EDE destes minerais permitiu identificar os seus constituintes, tendo sido possível encontrar elementos terras raras nos fosfatos, nomeadamente em monazites. Para uma melhor caracterização dos minérios deveriam ser feitos estudos mais aprofundados, visto tratarem-se de amostras muito ricas e heterogêneas.

Palavras-chave: Minério de Ferro, MEV-EDE, Petrografia, Metalografia.

Abstract: Iron is a material of high importance for the development of technologies and infrastructures of a country. In order to better characterize iron ore deposits of Portugal, specifically the Cabeço de Mua and the Carvalhosa deposits, petrographic, metallographic and scanning electron microscope (SEM-EDS) studies were conducted. Quartz, hematite and goethite were identified as the main minerals present, although disseminated phosphates, magnetite and detrital phosphates also occur. Thanks to the SEM-EDS analysis, it was possible to identify the components of each mineral phase, with rare earth elements being found in the phosphates, specifically in monazites. Due to the samples' richness and heterogeneity, further detailed studies are required to improve the characterization of the ore.

Keywords: Iron Ore, SEM-EDS, Petrography, Metallography

¹ Departamento de Geociências Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre s/n, 4169-007 Porto, Portugal.

² Instituto de Ciências da Terra, Pólo-Porto, Rua do Campo Alegre s/n, 4169-007 Porto, Portugal.

* Autor correspondente / Corresponding author: ricardo.silva@fc.up.pt

1. Introdução

Procurando estudar-se o minério de ferro dos jazigos da região de Moncorvo, foi efetuado um estudo de carácter mineralógico, com recurso

à petrografia e microscopia eletrónica de varrimento com espectroscopia por dispersão de energias (MEV-EDE). Desta forma, foram estudadas amostras do minério dos jazigos de Cabeço da Mua e da Carvalhosa (Figura 1 – A e B), ambos pertencentes ao Complexo Mineiro de Ferro de Moncorvo (Urbano *et al.*, 2015a). Estes jazigos localizam-se numa estrutura em sinclinal denominada Sinclinal de Moncorvo, estendendo-se ao longo da Serra do Reboredo e Cabeço de Mua, nas proximidades de Torre de Moncorvo. Os jazigos de ferro de Moncorvo são do tipo ironstone (Orey e Rebelo, 1983; Gutiérrez-Marco *et al.*, 1984; Orey, 1999; Urbano, 2017), caracterizados como rochas sedimentares detríticas, marcadas por um enriquecimento em ferro sin-deposicional.

2. Enquadramento Geológico

Os jazigos de Cabeço de Mua e da Carvalhosa pertencem à Zona Centro-Ibérica (ZCI). O Sinclinal de Moncorvo, onde estão enquadrados os jazigos estudados, formou-se durante orogenia Varisca, onde as sequências sedimentares Câmbrico-Silúricas presentes foram sujeitas a deformação polifásica e a metamorfismo de baixo grau (Ribeiro e Rebelo, 1971; Rebelo e Ribeiro, 1977; Urbano *et al.*, 2015b). Este sinclinal é uma estrutura do Mácio Ibérico, sendo composto por formações do Silúrico, Ordovício e unidades pertencentes ao Supergrupo Dúrico-Beirão, mais concretamente ao Grupo do Douro (Urbano, 2017). Os jazigos estão encaixados na Formação do Marão (Figura 1 - C), de idade Ordovícica Inferior, mais especificamente no membro dos Quartzitos Superiores. Esta formação é caracterizada pela alternância de quartzitos finos ou grosseiros e xistos ou filitos cinzentos a negros, que transitam lateralmente a níveis de ferro.

3. Metodologias

O estudo petrográfico do minério de ferro foi levado a cabo em cinco secções polidas 432, 438, 630, 632 e 636, e cinco lâminas delgadas, MoM1, MoM2 (Carvalhosa), Monc1, Monc2 e Monc3 (Cabeço de Mua).

3.1. Estudo Petrográfico

As amostras foram estudadas com recurso a um microscópio petrográfico com luz transmitida e luz refletida, no Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território (DGAOT) da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

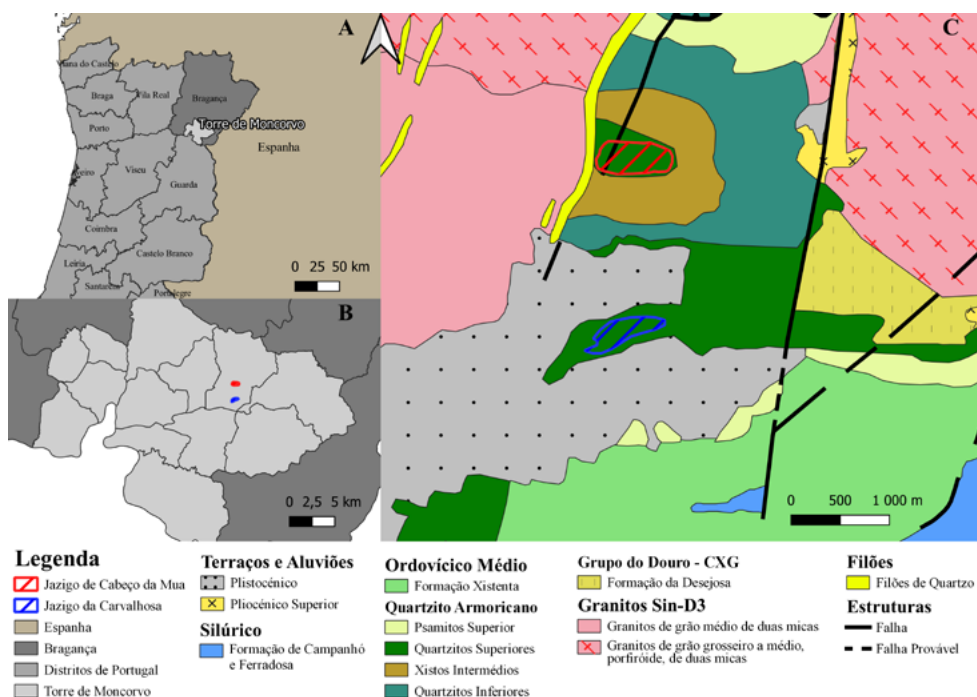


Figura 1. Mapa Geográfico (A e B) e Geológico (C) da zona de estudo com a localização dos jazigos de Cabeço da Mua (a vermelho) e da Carvalhosa (a azul) (adaptado de Pereira *et al.* (2000)).

Figure 1. Geographical (A and B) and Geological (C) maps of the studied zone with the location of each deposit, Cabeço da Mua (red) and Carvalhosa (blue) (adapted from Pereira *et al.*, 2000).

3.2. Estudo MEV-EDE

Com recurso ao equipamento Hitachi FlexSEM 1000 Scanning Electron Microscope, acoplado a um sistema Bruker QUANTAX EDS system, do DGAOT, e ao equipamento FEI Quanta 400FEG ESEM/EDAX Genesis X4M, do Centro de Materiais da Universidade do Porto, foram analisados blocos polidos no modo de eletrões retrodifundidos (ER) e com Microanálise por raios-X (EDE).

4. Resultados

4.1. Estudo Petrográfico

As amostras de minério estudadas apresentam uma textura granoblástica e são predominantemente constituídas por quartzo, hematite e goetite, e possuem magnetite, moscovite e fosfatos como minerais acessórios. Isto é congruente com a geoquímica deste jazigo, que apresenta valores de SiO₂ e de Fe₂O₃ muito elevados (30,6% e 62,1%, respetivamente). Os seguintes óxidos com maior concentração são Al₂O₃ (3,38%) e P₂O₅ (≈1%), devendo-se provavelmente à presença de moscovite e fosfatos no jazigo (Figura 2).

É comum encontrarem-se evidências de martitização, havendo substituição parcial ou total da magnetite por hematite (Figura 3). A hematite é o mineral de ferro principal, com dimensão muito variável, de 20 μm a quase 1000 μm e média de 400 μm, com algumas ocorrências de goetite e ocorrências raras de magnetite (Figura 3). A goetite está presente sob a forma de estruturas tabulares que cortam os óxidos de ferro (Figs. 3 e 4). É possível encontrar também alguma especularite (Figura 5) que aparece com dimensão inferior aos grãos de hematite envolventes.

Foram ainda encontrados fosfatos disseminados pela amostra, aparentando ser de uma geração posterior aos óxidos de ferro (Figura 3).

Com o estudo petrográfico das lâminas delgadas identificou-se a predominância do quartzo sobre os restantes minerais, bem como a ocorrência comum de moscovite, de fosfatos disseminados, e de zircão (Figura 6). A moscovite, de pequena dimensão, geralmente inferior a

50 μm, aparece tendencialmente disseminada entre os grãos de quartzo e de hematite. Foi ainda possível encontrar clorite vermicular castanha, com hábito radial e clivagem bem definida (Figura 7).

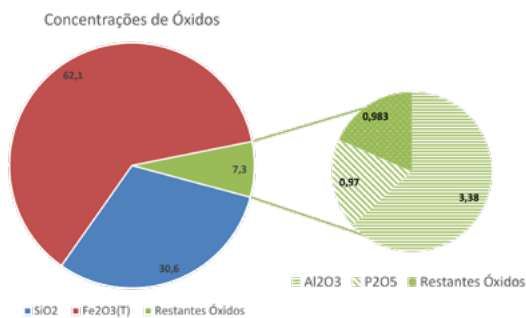


Figura 2. Concentrações de Óxidos Maiores de Cabeço da Mua (adaptado de Vianez (2023)).

Figure 2. Major Oxide Concentrations from Cabeço da Mua (adapted from Vianez (2023)).

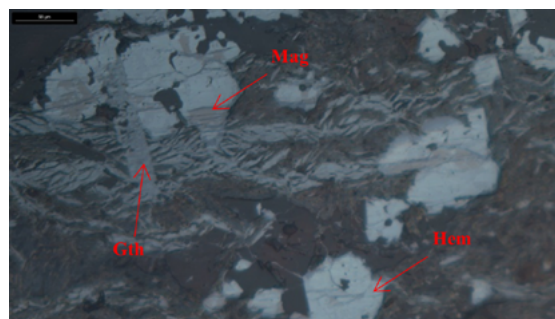


Figura 3. Microfotografia em luz refletida de um bloco polido (Cabeço da Mua) onde podemos observar hematite (Hem), magnetite (Mag) e goetite (Gth).

Figure 3. Reflected light microphotograph of polished section from Cabeço da Mua. Hematite (Hem), Magnetite (Mag) and Goethite (Gth) crystals can be seen.

4.2. Estudo por MEV-EDE

Com recurso ao MEV-EDE foi possível identificar fosfatos de ferro (Figura 8 - Z3 e Z4) e fósforo na composição da goetite (Figura 9). Foi ainda possível identificar fosfatos com elementos de terras raras (ETRs) na sua constituição, nomeadamente monazite (Figura 10). Estes ETRs são La, Ce e Nd, sendo que o Ce é o que apresenta maior concentração na composição do mineral, aproximadamente a mesma quantidade que o La e o Nd juntos. Do ponto de vista geoquímico, é também de realçar que os elementos vestigiais e ETRs+Y correspondem a 0,35% dos elementos deste jazigo (Vianez, 2023).

5. Discussão e Conclusões

Os minérios de Cabeço da Mua e da Carvalhosa apresentam as características que são comuns de jazigos do tipo ironstone, sendo maioritariamente constituídos por óxidos de ferro, neste caso hematite com carácter detritico. A magnetite encontrada aparece sob a forma de núcleos preservados de um processo de martitização. É possível identificar alguns aspetos de metamorfismo, como extinção ondulante e recristalização dinâmica do quartzo, o que é congruente com as

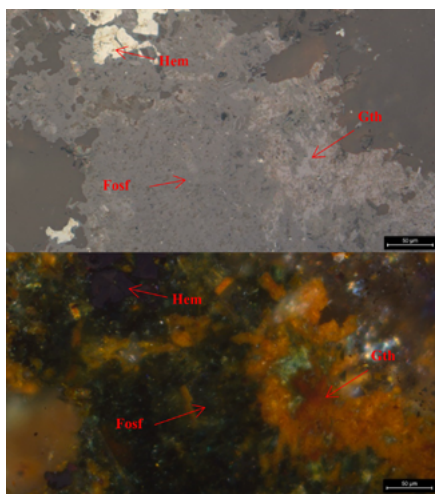


Figura 4. (a) Microfotografia em luz refletida e nicóis paralelos de bloco polido (Cabeço da Mua). É possível observar-se hematite (Hem), goetite (Gth) e fosfato (Fosf). (b) Microfotografia em luz refletida e nicóis cruzados da mesma secção.

Figure 4. (a) Reflected light microphotograph with parallel nicols of a polished section from Cabeço da Mua. Hematite (Hem), Goethite (Gth) and a possible phosphate (Fosf) crystal can be seen. (b) Reflected light microphotograph of the same section in crossed nicols

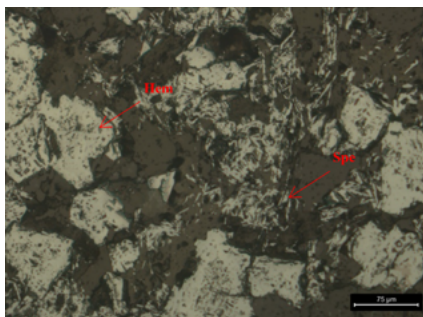


Figura 5. Microfotografia em luz refletida de lâmina delgada da Carvalhosa onde se vê especularite (Spe) no meio de grãos de maior dimensão de hematite (Hem).

Figure 5. Reflected light microphotograph of a thin section from Carvalhosa where small specularite (Spe) crystals can be seen surrounded by larger hematite (Hem) crystals.

características da rocha encaixante, um quartzito.

A goetite demonstra ser posterior aos óxidos de ferro, aparecendo muitas vezes a cortá-los. Esta tem fósforo na sua composição, algo que Urbano *et al.* (2015b) referem, afirmando que a goetite é a portadora principal de fósforo para os minérios oxidados de Moncorvo. Os fosfatos disseminados mostraram ter ferro na sua composição e semelhanças com a goetite, podendo ter origem na sua alteração supergénica.

Em Cabeço da Mua foram encontradas fases fosfatadas com ETRs na sua composição, nomeadamente La, Ce e Nd, os quais podem vir a beneficiar a exploração do minério.

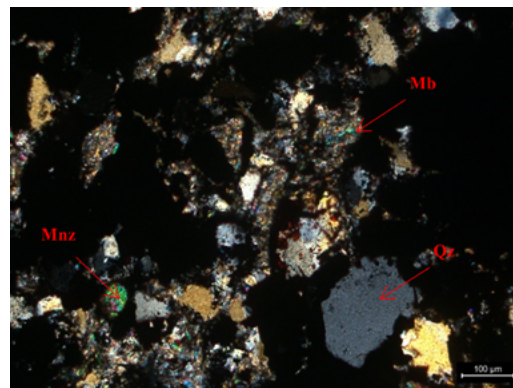


Figura 6. Microfotografia em luz transmitida e nicóis cruzados de lâmina delgada da Carvalhosa. É possível observar-se quartzo (Qz), mica branca (Mb) e uma monazite (Mnz).

Figure 6. Transmitted light microphotograph of a thin section from Carvalhosa where quartz (Qz), white mica (Mb) and monazite (Mnz) crystals can be seen.

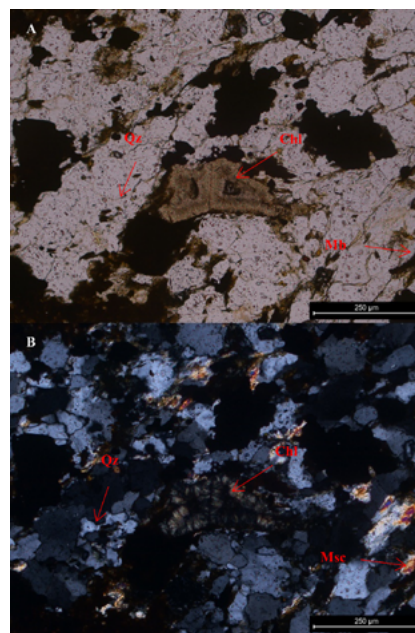


Figura 7. (a) Microfotografia em luz transmitida e nicóis cruzados de lâmina delgada da Carvalhosa. No centro pode ver-se uma clorite castanha (Chl). É também possível ver-se recristalização dinâmica do quartzo (Qz) e alguma moscovite (Msc) de granulometria fina (b) Microfotografia da mesma secção em nicóis cruzados.

Figure 7. (a) Transmitted light microphotograph with parallel nicols of a thin section from Carvalhosa. In the center, brown chlorite (Chl) with some muscovite (Msc) around it and with dynamic recrystallizing of quartz crystals can be observed. (b) Microphotograph of the same section with crossed nicols.

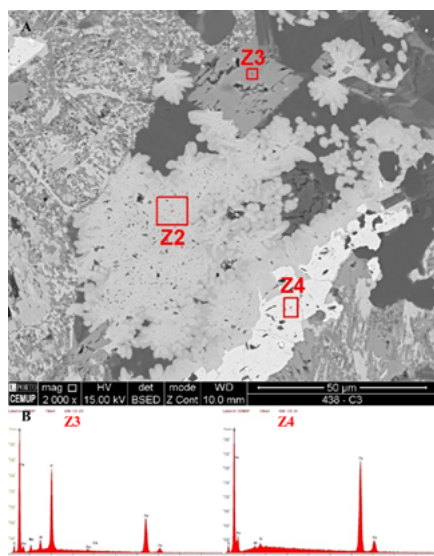


Figura 8. (a) Imagem obtida por MEV no modo de elétrons retrodifundidos e EDX dos pontos analisados. (b) Espectro EDE correspondente: Z3 – Fosfato de ferro; d) Z4 – Hematite.

Figure 8. (a) SEM photograph, backscattered electron mode of the analyzed points (b) Corresponding EDS spectra: Z3 – Iron phosphate; Z4 – Hematite.

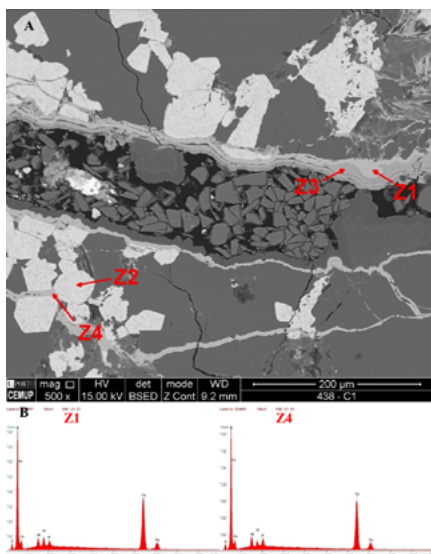


Figura 9. (a) Fotografia MEV de pontos analisados (Z1 e Z4) num bloco polido de Cabeço da Mua. (b) Espectros EDE de duas goetites analisadas (Z1 e Z4).

Figure 9. (a) SEM photograph of the analyzed points (Z1 and Z4) in a polished section from Cabeço da Mua. (b) EDS spectra of point Z1 (left) and point Z4 (right).

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pelo projeto “Development of Sustainable Materials for Water Splitting: an integrated study from cradle to grave” - NORTE-01-0145-FEDER-000076, que possibilitou o estudo através de MEV-EDE, e parcialmente financiado por fundos nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito dos projetos com Ref^s UIDB/04683/2020 e

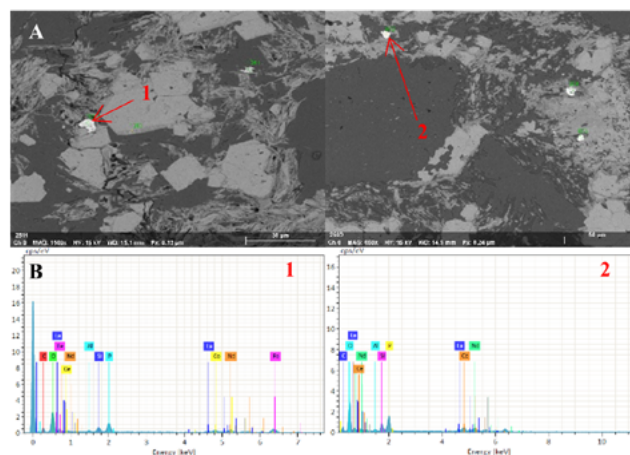


Figura 10. (a) Fotografia de MEV dos pontos analisados (ponto 1 na esquerda e ponto 2 na direita) num bloco polido de Cabeço da Mua. (b) Espectros EDE correspondentes: 1 e 2 – Monazite.

Figure 10. (a) SEM photograph of the analyzed points (1 and 2) from a Cabeço da Mua polished section. (b) Corresponding EDS spectra :1 and 2 – Monazite.

UIDP/04683/2020. C. Cruz é investigadora contratada pelo projeto UIDP/04683/2020 (FCT- Portugal).

Referências

- Gutiérrez-Marco, J. C., Amorós, J. L., Lunar, R., 1984. Los depósitos de hierro oolítico en el Ordovícico de España. I Congreso español de geología, Segovia.
- Orey, F. L. C., 1999. The Detrital Origin of the Moncorvo Ordovician Ironstones. *Ciências da Terra*, **13**: 131-140.
- Orey, F. L. C. d., Rebelo, J. L. A., 1983. The nature of the refractory iron ores at Moncorvo, northeastern Portugal. *Special Publication of the Geological Society of South Africa*, **7**: 253-260.
- Pereira, E., Ribeiro, A., Marques, F., Munhá, J., Castro, P., Meireles, C., Ribeiro, M. A., Pereira, D., Noronha, F., Ferreira, N., Sousa, B., Ribeiro, M. L., Rebelo, J., Ferreira da Silva, A., Coke, C., Batista, J., Lourenço, J., Matos, J. V., Gomes, M. E., Almeida, A., Martins, H., 2000. Folha 2 da Carta Geológica de Portugal à Escala 1:200 000. Instituto Geológico e Mineiro - Ministério da Economia, Amadora, Lisboa.
- Rebelo, J. L. A., Ribeiro, A. R., 1977. Relatório preliminar sobre a geologia do jazigo de ferro de Moncorvo [Relatório Interno].
- Ribeiro, A., Rebelo, J. A., 1971. Estudo geológico da região de Moncorvo e, em especial, do seu jazigo de ferro. I Congresso Hispano Luso-Americano de Geologia Económica, 983-994.
- Urbano, E., 2017. *Génese do Jazigo de Ferro de Moncorvo e Avaliação do Uso de Equipamentos Portáteis de FRX e DRX para a Exploração Mineral deste Tipo de Jazigos*. Tese de Doutoramento, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- Urbano, E., Meireles, C., Gomes, M., Figueiredo, N., 2015a. Estudo petrográfico comparativo entre os minérios de ferro do flanco norte e do flanco sul do Sinclinal de Moncorvo. VIII Seminário de Recursos Geológicos Ambientais e Ordenamento de Território, UTAD.
- Urbano, E. E., Meireles, C., Gomes, E., 2015b. Guia de Campo da Excursão A Jazigo de Ferro de Torre de Moncorvo.
- Vianez, R., 2023. Estudos multidisciplinares das associações minerais do minério de ferro de Moncorvo. Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.