

ESTUDOS ARQUEOLÓGICOS DE OEIRAS

Volume 32 • 2023



Editor científico: João Luís Cardoso

CÂMARA MUNICIPAL DE OEIRAS
2023

Estudos Arqueológicos de Oeiras é uma revista de periodicidade anual, publicada em continuidade desde 1991, que privilegia, exceptuando números temáticos de abrangência nacional e internacional, a publicação de estudos de arqueologia da Estremadura em geral e do concelho de Oeiras em particular, sem prejuízo daqueles que possam valorizar o conhecimento das antiguidades oeirenses, para além de contributos sobre a História da Arqueologia e de comunicações apresentadas a reuniões científicas organizadas pelo Centro de Estudos Arqueológicos do Concelho de Oeiras/Câmara Municipal de Oeiras.

Possui um Conselho Assessor do Editor Científico, assim constituído:

- Dr. Luís Raposo (Museu Nacional de Arqueologia, Lisboa)
- Professor Doutor Nuno Bicho (Universidade do Algarve)
- Professor Doutor Alfredo Mederos Martín (Universidade Autónoma de Madrid)
- Professor Doutor Martín Almagro Gorbea (Universidade Complutense de Madrid)
- Professora Doutora Raquel Vilaça (Universidade de Coimbra)
- Professor Doutor Jorge de Oliveira (Universidade de Évora)

ESTUDOS ARQUEOLÓGICOS DE OEIRAS

Volume 32 • 2023 ISSN: 0872-6086

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7919687>

EDITOR CIENTÍFICO – João Luís Cardoso
DESENHO E FOTOGRAFIA – Autores ou fontes assinaladas
PRODUÇÃO – Gabinete de Comunicação / CMO
CORRESPONDÊNCIA – Centro de Estudos Arqueológicos do Concelho de Oeiras
Fábrica da Pólvora de Barcarena
Estrada das Fontainhas
2730-085 BARCARENA

Os artigos publicados são da exclusiva responsabilidade dos Autores.
É expressamente proibida a reprodução de quaisquer imagens sobre as quais existam direitos de autor sem o prévio consentimento dos signatários dos artigos respectivos.

Aceita-se permuta
On prie l'échange
Exchange wanted
Tauschverkehr erwünscht

ORIENTAÇÃO GRÁFICA E

REVISÃO DE PROVAS – João Luís Cardoso e Autores

PAGINAÇÃO – César Antunes

IMPRESSÃO E ACABAMENTO – Grificamares, Lda. - Amares - Tel. 253 992 735

DEPÓSITO LEGAL: 97312/96

REVISITANDO A PROVENIÊNCIA DO COBRE USADO EM LECEIA

REVISITING THE PROVENANCE OF COPPER IN USE AT LECEIA

Pedro Valério¹, João Luis Cardoso² & António M. Monge Soares³

Abstract

The work presents a reevaluation of a pioneer research about the copper provenance in the Chalcolithic settlement of Leceia (Oeiras, Portugal) considering theoretical developments in the application of lead isotope analyses, in addition to the recent publication of the large IBERLID database including copper ores from Iberian Peninsula. Therefore, the lead isotope ratios of 14 copper artefacts and copper prills from Leceia were compared with the signatures of those copper ores and the similarity between metal and probable source signatures was assessed with the calculation of Euclidean Distances (using $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ and $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$). Considering the present knowledge, the results confirmed that copper deposits in the South Portuguese Zone and the Ossa-Morena Zone can in fact be the source of some of the copper used in that Chalcolithic settlement. However, new evidence also indicates an important origin of copper, not in mines from southern Portugal, but perhaps in deposits located farther away in Los Pedroches batholith at the Central Iberian Zone.

Keywords: Pb isotope ratios; copper provenance; Lisbon peninsula; Chalcolithic, Los Pedroches batholith, Betic Cordilleras.

1 – INTRODUÇÃO

A determinação das razões isotópicas do chumbo (Pb) presente num artefacto metálico, comparando-as, posteriormente, com as mesmas razões isotópicas de minérios que poderão estar na origem desse metal, constitui, desde meados do séc. XX, a ferramenta mais utilizada e mais fiável para determinar a proveniência do metal utilizado na manufactura do objecto em causa, ao mesmo tempo que permite, em bases sólidas, inferir não só redes de trocas entre comunidades, designadamente pré-históricas, bem como lançar alguma luz sobre onde e com que metodologia ou metodologias se procedia à obtenção do metal e em que forma era transaccionado.

Deverá referir-se que a utilização das razões isotópicas do Pb foi muito precocemente utilizada no nosso país por investigadores do Laboratório Calouste Gulbenkian de Espectrometria de Massa e Física Molecular,

¹ Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares (C2TN), Departamento de Engenharia e Ciências Nucleares, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. pvalerio@ctn.tecnico.ulisboa.pt

² Universidade Aberta (Lisboa). Centro de Estudos Arqueológicos do Concelho de Oeiras (Câmara Municipal de Oeiras). ICAREHB (Universidade do Algarve). cardoso18@netvisao.pt

³ Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares (C2TN), Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. amsoares@ctn.tecnico.ulisboa.pt

sediado no Instituto Superior Técnico, na tentativa de determinar a origem do Pb usado nas canalizações romanas de Conimbriga e Caldas de Monchique, tendo para isso também sido analisadas amostras de galena das minas de Braçal e Malhada (LARANJEIRA & FRONTEIRA e SILVA, 1968). Só muito mais tarde, no âmbito da investigação, levada a cabo por Roland Gauss (previamente Müller), sobre a metalurgia calcolítica do cobre na península de Lisboa, esta metodologia voltou a ser aplicada no campo da Arqueometalurgia no nosso país, mas utilizando técnicas mais modernas, originando as primeiras publicações, uma sobre Leceia (MÜLLER & CARDOSO, 2008) e outra sobre Vila Nova de S. Pedro (MÜLLER & SOARES, 2008), e uma final, abarcando também o Zambujal, sítio nuclear dessa investigação (GAUSS, 2016). Deverá acrescentar-se que na investigação em causa, não só dezenas de artefactos de base cobre foram analisados, mas também, pela primeira vez, foram analisadas algumas dezenas de amostras de minérios de cobre obtidos em pequenas minas do território português, situadas na Zona Sul Portuguesa (ZSP) e na Zona de Ossa-Morena (ZOM), enriquecendo de um modo relevante a base de dados de razões isotópicas de Pb para a Península Ibérica.

Posteriormente, surgiram alguns trabalhos neste campo, nomeadamente num estudo mais vasto que o primeiro atrás mencionado, sobre canalizações romanas de Pb, mas abarcando agora, não só as de Conimbriga, mas também outras de sítios da Lusitânia e da Bética (GOMES, 2018; GOMES *et al.*, 2016a, b, 2020), a que se acrescentam dois outros estudos sobre projecteis de funda de Pb com a mesma cronologia (GOMES *et al.*, 2017, 2018). Também no que concerne à Pré-história do Sul português, alguns estudos surgiram ultimamente, os quais abrangeram não só razões isotópicas de Pb de artefactos de base cobre, mas também de minerais de cobre de minas com vestígios de trabalhos pré-históricos ou aos quais se podiam atribuir, pelo menos, à Antiguidade (SOARES *et al.*, 2020; 2021; 2022a, b).

Por fim, nesta pequena resenha histórica, um desenvolvimento importante ocorrido no ano passado, no campo das aplicações dos isótopos de Pb, foi a publicação de uma base de dados actualizada das razões isotópicas do Pb para toda a Península Ibérica. Trata-se da base de dados IBERLID, “*A lead isotope database and tool for metal provenance and ore deposits research*” (GARCÍA de MADINABEITIA *et al.*, 2021), actualizada (e, espera-se, em actualização permanente), com toda a bibliografia pertinente, bem como com a informação geográfica e geológica/mineralógica referente às amostras analisadas, a que qualquer investigador tem acesso livre.

Uma vez que temos à disposição esta ferramenta importantíssima para uma aplicação fiável dos dados obtidos no domínio dos estudos de proveniência de metais e, por outro lado, se encontram em análise alguns artefactos de Leceia que se têm considerado e consideramos como lingotes, julgamos que é altura de rever os dados isotópicos publicados por MÜLLER & CARDOSO (2008), para uma mais fácil interpretação dos resultados que serão obtidos num futuro próximo. As razões isotópicas de Pb já conhecidas para Leceia referem-se a 14 amostras, sendo oito correspondentes a artefactos, a maior parte muito fragmentados, enquanto as seis restantes foram interpretadas como correspondendo a restos de fundição (“*copper prills*”), isto é, pingos ou nódulos de cobre resultantes de operações de fundição (fusão ou vazamento do metal, por exemplo). Para rever estes dados ou, melhor, as inferências que deles se retiram, terá também razão de ser rever algumas noções básicas sobre as razões isotópicas de Pb, a sua utilização e fiabilidade das mesmas.

2 - ALGUMAS NOÇÕES BÁSICAS SOBRE A UTILIZAÇÃO DAS RAZÕES ISOTÓPICAS DO Pb

Como referido atrás, as razões isotópicas do Pb determinadas nos artefactos metálicos e nos minérios constituem a ferramenta mais utilizada e mais fiável para determinar uma proveniência para o metal utilizado

na manufactura desses artefactos. Essa fiabilidade é devida, por um lado, ao facto de que nas diversas reacções que ocorrem durante as operações metalúrgicas não ocorre fraccionamento isotópico do Pb, isto é, as razões isotópicas do Pb do minério ou, dito de outro modo, a assinatura isotópica do Pb no minério é a mesma que irá existir no metal dele proveniente e no artefacto manufacturado a partir dele.

São quatro os isótopos estáveis do Pb que existem no meio ambiente e que se utilizam nestes estudos: ^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb e ^{208}Pb . O ^{204}Pb é um isótopo estável *primevo*, enquanto os outros três, também estáveis, são os elementos terminais das designadas Séries de Urânio (^{238}U e ^{235}U) e Tório (^{232}Th).

As razões isotópicas vulgarmente utilizadas são as seguintes: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$; $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$; $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. O conjunto das três primeiras razões isotópicas é habitualmente utilizado pelos geólogos, com a finalidade de determinar a idade do processo de formação do depósito mineral, enquanto que o conjunto formado pela primeira razão com as duas últimas era, geralmente, usado pelos arqueólogos para determinar a proveniência do metal utilizado na manufactura dos artefactos em causa. É fácil de concluir, tendo em atenção que o teor do ^{204}Pb é uma constante, que quanto mais antigo for o depósito mineral, maior será o valor de qualquer das primeiras três razões isotópicas. Já o valor das duas últimas razões dependerá dos teores de ^{238}U , ^{235}U e ^{232}Th no depósito mineral. Verifica-se, no entanto, que a utilização das três primeiras razões isotópicas permite uma melhor discriminação entre assinaturas isotópicas, pelo que se assiste actualmente a um maior uso deste conjunto também pelos arqueólogos, isto é, a tendência actual, em estudos de proveniência, é utilizar todas aquelas cinco razões isotópicas, o que permite uma atribuição mais precisa e fiável do metal de um determinado objecto ao respectivo depósito mineral.

A variabilidade das assinaturas isotópicas entre depósitos minerais não impede que se verifiquem, por vezes, sobreposições de campos isotópicos correspondentes a zonas geológicas diversas. Considerações de ordem arqueológica e/ou a determinação de teores de alguns elementos traço (Ni, Sb, Ag, Au, por exemplo), comuns a minérios e artefactos metálicos, poderão ajudar a precisar a proveniência do metal em causa, em associação com as assinaturas isotópicas do Pb.

As considerações atrás expostas sobre a interpretação dos dados referentes às razões isotópicas são válidas se se verificar que o depósito mineral em causa funcionou, uma vez formado, como um sistema fechado. Por exemplo, os depósitos massivos de sulfuretos polimetálicos da Faixa Piritosa Ibérica apresentam intervalos diminutos para cada razão isotópica com valores médios de 18,183 ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$), 15,622 ($^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) e 38,183 ($^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$), os quais são representativos, segundo MARCOUX (1998), da composição isotópica da crosta sul-ibérica desde o Devónico até ao Carbonífero Inferior (Dinaciano) e *“their constancy implies a homogenization of the mineralizing fluids before the deposition of the massive sulphides from hydrothermal fluids circulating through interconnected regional fracture systems”* (MARCOUX, 1998, p. 45). No entanto, um depósito mineral formado durante vários episódios geológicos ou mesmo durante um longo período geológico pode exibir uma variação considerável das suas razões isotópicas. Por exemplo, na ZOM, no referente à razão $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, a mina de Aparis apresenta valores de 18,68 a 19,33 (5 amostras), a de Cala de 18,4 a 19,1 (5 amostras), a de Minancos de 19,72 a 20,26 (4 amostras) e a de Fajoas de 18,78 a 20,26 (4 amostras) (SOARES et al., 2020). Perante este desiderato, a caracterização ideal de um determinado depósito mineral deverá incluir um número significativo de amostras, pelo menos 10, segundo BARON et al. (2014) ou mesmo um número superior (STOS-GALE, 1992; BAXTER et al., 2000). Também devido a essa possível variabilidade das assinaturas isotópicas num determinado depósito mineral, a amostragem desse depósito, para uma investigação no âmbito arqueológico, deverá realizar-se num sector em que a evidência arqueológica indique que foi objecto de exploração no período cronológico em causa.

Por outro lado, alguns depósitos minerais, embora relativamente raros, fogem às situações atrás enumeradas - são aqueles que não constituem um sistema fechado ou que apresentam elevadas concentrações de urânio e/ou tório. Nestes últimos casos, as concentrações dos isótopos 206, 207 e 208 do Pb serão mais elevadas que o habitual, dizendo-se que os depósitos em causa possuem chumbo altamente radiogénico. Nestas situações, a razão $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ será maior ou igual a 19, enquanto que as razões $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ e $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ serão, habitualmente, menores que 0,8 e 2,0, respectivamente. Deverá notar-se que parece não existir um valor da razão $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ a partir do qual, universalmente, se considere que o depósito é caracterizado por conter Pb altamente radiogénico - MARCOUX (1988) considera a fronteira em 18,40 (p. 45), POLLARD (2018) considera 19,5 (p. 149) ou 19 (p. 160), enquanto outros consideram o valor de 20 (LIU et al., 2018, p. 106; CHEN et al., 2019, p. 133). São poucos os depósitos deste tipo conhecidos na Europa, com excepção de várias formações minerais na Península Escandinava (POLLARD, 2018, p. 148, fig. 1). Na Europa Central são desconhecidos, na Grã-Bretanha apenas um depósito de minérios de cobre do País de Gales apresenta um Pb altamente radiogénico (BUDD et al., 2000) e, na Península Ibérica, só nestes últimos anos eles foram identificados, sendo, porventura, os mais conhecidos os referentes às minas, com vestígios de exploração pré-histórica, de El Milagro, nas Astúrias (HUELGA-SUAREZ et al., 2014a), La Profunda, na província de Leão (HUELGA-SUAREZ et al., 2014b) e algumas minas no batólito de Los Pedroches, na Zona Centro-Ibérica (ZCI), norte da Andaluzia (SAÉZ et al., 2021). Também diversos depósitos mineiros da ZOM apresentam um Pb altamente radiogénico, o que poderá permitir, nestes casos, uma atribuição mais precisa à origem do mineral utilizado na obtenção de um determinado metal que apresente uma assinatura isotópica indicativa de Pb altamente radiogénico.

Em estudos de proveniência de metais utilizam-se geralmente as cinco razões isotópicas do Pb atrás referidas, sendo consideradas como mais discriminantes as normalizadas para ^{204}Pb . Assim, é habitual representar a relação entre essas razões através dos seguintes cinco diagramas: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$; $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$. Estas representações gráficas permitem verificar facilmente eventuais sobreposições entre campos isotópicos de diferentes depósitos minerais e inferir o grau de coincidência entre a assinatura isotópica da amostra e as assinaturas isotópicas constantes das representações gráficas em causa. A maior parte das vezes a eventual atribuição de uma proveniência do metal em causa a um determinado campo isotópico ou mesmo a um determinado depósito mineral tem sido simplesmente por essa observação, com um grau de subjectividade maior ou menor. Têm sido propostos alguns métodos estatísticos com o intuito de eliminar essa subjectividade, mas não existe um acordo sobre a metodologia a usar que tenha sido aceite plenamente. Neste trabalho sobre as razões isotópicas do metais pré-históricos de Leceia propomos determinar o grau de similitude entre assinaturas isotópicas (metal vs depósito mineral) fazendo uso da distância euclidiana (d) entre elas (BIRCH et al., 2020), a qual é dada pela seguinte equação:

$$d = \sqrt{\left(\frac{^{206}\text{Pb}_r}{^{204}\text{Pb}_r} - \frac{^{206}\text{Pb}_m}{^{204}\text{Pb}_m}\right)^2 + \left(\frac{^{207}\text{Pb}_r}{^{204}\text{Pb}_r} - \frac{^{207}\text{Pb}_m}{^{204}\text{Pb}_m}\right)^2 + \left(\frac{^{208}\text{Pb}_r}{^{204}\text{Pb}_r} - \frac{^{208}\text{Pb}_m}{^{204}\text{Pb}_m}\right)^2}$$

em que o índice r se refere aos valores constantes na base de dados, no nosso caso a IBERLID, e o índice m aos resultados obtidos na análise das nossas amostras.

3 – AS RAZÕES ISOTÓPICAS DO Pb PARA O COBRE DE LECEIA E A SUA PROVENIÊNCIA INFERIDA

As razões isotópicas de Pb foram determinadas em 14 amostras, correspondendo 8 delas a fragmentos de artefactos e 6 a pingos e/ou nódulos de fundição (“*copper prills*”) (MÜLLER & CARDOSO, 2008). Esses resultados constam da Quadro 1, embora neste se modifiquem ligeiramente as referências das amostras em relação às primitivamente publicadas para uma mais rápida apreensão da correspondência entre a referência e o tipo de amostra. Este conjunto de amostras foi também objecto de análise elementar (MÜLLER & CARDOSO, 2008, Tab. 1), o que permitiu determinar que todas elas são constituídas por cobre com impurezas de arsénio (As) ou tratam-se mesmo de cobres arsenicais (As > 2 %). A presença de outros elementos (Fe, Co, Ni, Zn, Pb, Bi, Ag, Sn, Sb, Te) foi também investigada, permitindo verificar que a maior parte deles apresentava uma concentração inferior ao limite de quantificação e nas poucas amostras que tinham algum elemento passível de ser quantificado, o seu teor era muito reduzido (c. 0,01 % ou 0,02 %). Trata-se, por conseguinte, de um conjunto de amostras de cobre ou cobre arsenical muito puro, pelo que não valerá a pena reproduzir aqui, para a discussão que se segue, essa quantificação.

Quadro 1 – Razões isotópicas do Pb de amostras de artefactos e “*copper prills*” de fundição de Leceia, segundo MÜLLER & CARDOSO (2008, Tab. 3).

Artefacto	Camada	Ref. amostra*	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb
<i>Copper prill</i>	C3	FM-L6 (P6)	18.473	15.647	38.468	2.0824	0.8470
Fragmento	C3	FM-L10 (A10)	18.537**	15.642**	38.772**	2.0916	0.8438
Fragmento	C3	FM-L12 (A12)	18.589**	15.695**	38.752**	2.0847	0.8443
Fragmento	C2	FM-L1 (A1)	18.474**	15.662**	38.576**	2.0881	0.8478
Lâmina	C2	FM-L2 (A2)	18.341**	15.632**	38.296**	2.0880	0.8523
<i>Copper prill</i>	C2	FM-L3 (P3)	18.240	15.644	38.300	2.0998	0.8577
<i>Copper prill</i>	C2	FM-L4 (P4)	18.496	15.648	38.466	2.0797	0.8460
<i>Copper prill</i>	C2	FM-L5 (P5)	18.254	15.640	38.279	2.0970	0.8568
Punção	C2	FM-L7 (A7)	18.257	15.639	38.303	2.0980	0.8566
<i>Copper prill</i>	C2	FM-L8 (P8)	18.303	15.612	38.445	2.1005	0.8530
Fragmento	C2	FM-L9 (A9)	18.293	15.630	38.258	2.0914	0.8544
Fragmento	C2	FM-L11 (A11)	17.642	15.560	37.512	2.1263	0.8820
Fragmento	C2	FM-L13 (A13)	18.421**	15.667**	38.470**	2.0884	0.8505
<i>Copper prill</i>	Sup	FM-L14 (P14)	18.345	15.635	38.348	2.0904	0.8523

* Entre parênteses, a referência da amostra tal como será utilizada neste trabalho.

** Valores com um desvio-padrão (2σ) significativamente superior a 0,1%, devido a um valor muito baixo do teor em Pb das amostras em causa, segundo MÜLLER & CARDOSO (2008, Tab. 3).

Observando a Quadro 1 verifica-se que a amostra A11 (um cobre arsenical com 2,8 % As) apresenta uma assinatura isotópica que se afasta claramente das restantes, como já tinha sido sublinhado aquando da publicação destes dados (MÜLLER & CARDOSO, 2008), sendo este valor interpretado como um *outlier*.

Nas Figuras 1 e 2 apresentam-se os diagramas construídos com os valores constantes da base de dados IBERLID referentes a amostras de minérios de cobre. Deverá sublinhar-se que, em exercícios deste tipo, a comparação entre assinaturas isotópicas minério - metal deverá ser feita apenas com as referentes a minérios do metal em causa (BARON et al., 2014). Além disso, também não deverá ser levado em conta, quando se pretende determinar a proveniência do cobre pré-histórico, o grande conjunto de assinaturas isotópicas dos depósitos massivos de sulfuretos polimetálicos da FPI, uma vez que não há qualquer evidência de que esses depósitos fossem explorados pelos mineiros dessa época, nem que minérios primários de cobre fossem utilizados nas operações de redução para obtenção desse metal. Na base de dados IBERLID, cada uma das distintas zonas geológicas da Península Ibérica agrega o respectivo conjunto de assinaturas isotópicas, designadamente a ZSP, a ZOM e a área Norte do Maciço Ibérico (NIM), a qual inclui 3 das 5 zonas tectónicas clássicas do Maciço Ibérico (a Zona Cantábrica, a Zona Ocidental Asturo-Leonesa e Zona Central Ibérica). Às ZSP, ZOM e NIM acrescentam-se as Zonas da Cordilheira Bética (CB) no Sudeste Ibérico (e que se prolonga pelas Ilhas Baleares) e da Cordilheira Cantabro-Pirenaica (CCP) no Norte e Nordeste da Península. Nas Figuras atrás referidas só se encontram representadas as razões isotópicas de Pb da ZSP e da ZOM (Fig. 1), assim como da NIM e CB (Fig. 2), uma vez que as outras duas Zonas nos parecem demasiado afastadas da península de Lisboa, além de que se desconhecem, no registo arqueológico, quaisquer elementos que indiciem um eventual relacionamento entre elas.

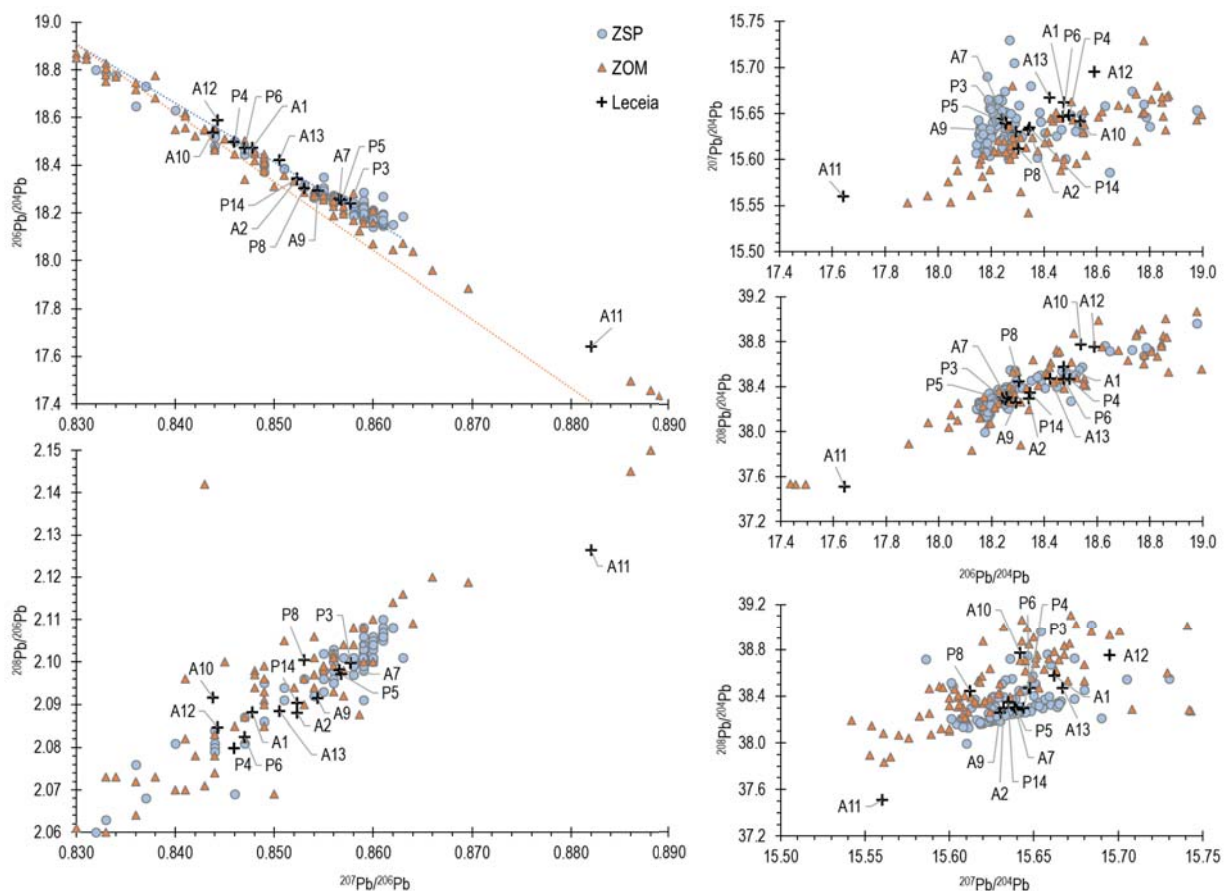


Fig. 1 – Razões isotópicas do Pb das amostras de Leceia comparadas com os campos isotópicos da Zona Sul Portuguesa (ZSP) e da Zona de Ossa-Morena (ZOM). As referências das amostras de Leceia são as indicadas no Quadro 1.

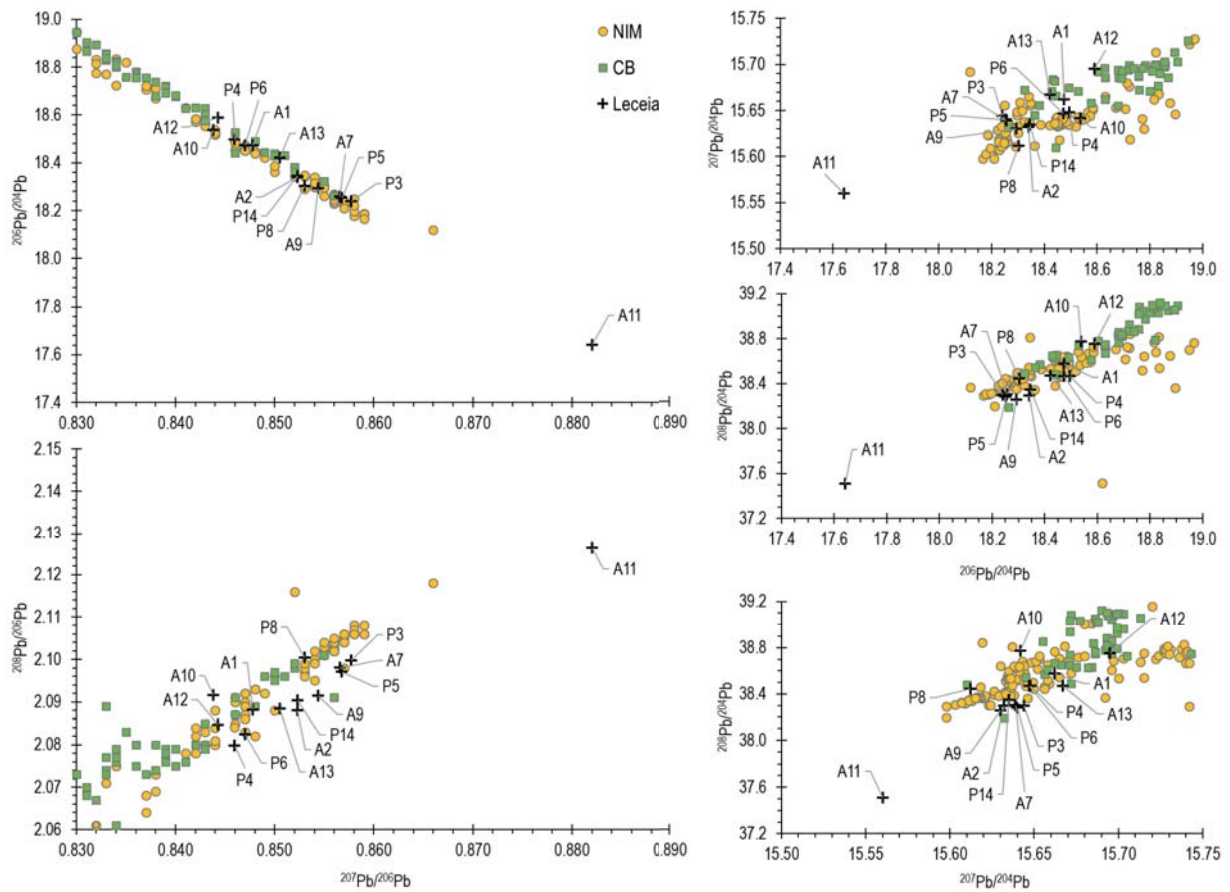


Fig. 2 – Razões isotópicas do Pb das amostras de Leceia comparadas com os campos isotópicos da Zona Norte do Maciço Ibérico (NIM) e da Zona da Cordilheira Bética (CB). As referências das amostras de Leceia são as indicadas no Quadro 1.

Da observação destas duas figuras facilmente se verifica que existem sobreposições parciais dos respectivos campos isotópicos, pelo que determinar proveniências dos cobres de Leceia pela simples observação das mesmas é uma tarefa difícil e, certamente, sujeita a muitos erros. Apenas a assinatura isotópica da amostra A11 surge isolada, como já era esperado. Deste modo, para obviar as evidentes fragilidades de uma simples observação dos diagramas determinaram-se as distâncias euclidianas (**d**) dos diversos pares possíveis, ordenando-as no sentido ascendente. Uma vez que o erro associado à maior parte das determinações isotópicas para o cobre de Leceia é da ordem de 0,1 % (2σ), sendo da mesma ordem de grandeza do erro associado à maioria das razões isotópicas constantes na IBERLID, propomos um valor máximo de 0,05 (**d**) para que determinado mineral seja considerado a origem provável da amostra metálica em causa. Este valor que, pela designada propagação dos erros em estatística, corresponde aproximadamente, para cada par de assinaturas, à raiz quadrada da soma dos quadrados dos erros determinados para as razões isotópicas da amostra metálica e do minério de cobre, constituirá, por conseguinte, o limiar superior de **d** para o minério ou conjunto de minérios que poderão estar na origem desse metal. Resultante desse exercício estatístico apresenta-se o Quadro 2, o qual nos irá servir de base às considerações que se podem retirar desta revisão dos dados isotópicos dos metais de Leceia.

Quadro 2 – Razões isotópicas do Pb de amostras de artefactos e de pingos/nódulos de fundição de Leceia, segundo MÜLLER & CARDOSO (2008, Tab. 3) comparadas, com base nas distâncias euclidianas (**d**), com as assinaturas isotópicas dos minérios, segundo a base de dados IBERLID, que poderão estar na origem do cobre com que foram manufacturados.

IBERLID	Leceia		Composição isotópica				Depósito de minério	
	Camada	Am.	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	d	Mina de cobre	Zona Geol.
	C3	P6	18,473	15,647	38,468	-----	---	---
GDM0849			18,465	15,635	38,470	0,015	La Pililla	ZCI*
GDM1100			18,457	15,618	38,459	0,034	José Palácios	ZCI**
GDM2401			18,434	15,642	38,438	0,049	Mocissos	ZOM
	C3	A10	18,537 (0,24)***	15,642	38,772	-----	---	---
GDM2253			18,465	15,635	38,470	0,065	Los Cuatro Amigos	ZCI**
GDM1976			18,457	15,618	38,459	0,083	Cerro Minado	CB
GDM0861			18,434	15,642	38,438	0,088	Posadilla	CB
	C3	A12	18,589 (0,64)***	15,695	38,752	-----	---	---
GDM1976			18,603	15,692	38,779	0,031	Cerro Minado	CB
GDM1974			18,628	15,696	38,748	0,039	Cerro Minado	CB
GDM1989			18,630	15,686	38,749	0,042	Cerro Minado	CB
GDM2353			18,584	15,653	38,729	0,048	Los Cuatro Amigos	ZCI**
	C2	A1	18,474 (0,75)***	15,662	38,576	-----	---	---
GDM0852			18,456	15,635	38,567	0,034	Tabernero	ZCI*
GDM0850			18,491	15,635	38,558	0,037	Cort. Peralbo	ZCI*
GDM0857			18,491	15,635	38,598	0,039	Garabato	ZCI*
GDM0856			18,452	15,634	38,555	0,041	Quiros	ZCI*
GDM0844			18,442	15,641	38,599	0,045	Tanubia	ZCI*
GDM1514			18,466	15,633	38,539	0,049	Brancanes	ZSP
	C2	A2	18,341 (0,48)***	15,632	38,296	-----	---	---
GDM2100			18,311	15,624	38,262	0,046	La Sultana	ZOM
GDM0827			18,276	15,627	38,307	0,066	Aljustrel	ZSP
	C2	P3	18,240	15,644	38,300	-----	---	---
GDM2096			18,240	15,664	38,307	0,021	El Amarguillo	ZSP
GDM2172			18,255	15,625	38,294	0,025	Mina 9, Norte Paterna	ZSP
GDM2158			18,215	15,648	38,305	0,026	Rio Tinto	ZSP
GDM2312			18,210	15,642	38,307	0,031	Alosno	ZSP

IBERLID	Leceia		Composição isotópica				Depósito de minério	
	Camada	Am.	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	d	Mina de cobre	Zona Geol.
GDM0184			18,240	15,613	38,305	0,031	La Dehesa	ZSP
GDM0173			18,206	15,651	38,319	0,040	Las Viñas	ZOM
GDM2348			18,255	15,608	38,308	0,040	Quita Pelleio	ZOM
GDM0827			18,276	15,627	38,307	0,040	Aljustrel	ZSP
GDM1506			18,248	15,622	38,339	0,045	Louredo	ZSP
GDM2351			18,249	15,620	38,338	0,046	Quita Pelleio	ZOM
GDM2362			18,230	15,607	38,326	0,046	Las Angustias	ZCI
	C2	P4	18,496	15,648	38,466	-----	-----	-----
GDM0849			18,465	15,635	38,470	0,034	La Pililla	ZCI*
GDM1100			18,457	15,618	38,459	0,050	José Palácios	ZCI**
GDM1522			18,518	15,631	38,508	0,050	Alcaria Queimada	ZSP
	C2	P5	18,254	15,640	38,279	-----	-----	-----
GDM2172			18,255	15,625	38,294	0,021	Mina 9, Norte Paterna	ZSP
GDM0827			18,276	15,627	38,307	0,038	Aljustrel	ZSP
GDM0829			18,273	15,611	38,262	0,039	Casilla Cobre	ZOM
GDM2096			18,240	15,664	38,307	0,039	El Amarguillo	ZSP
GDM0184			18,240	15,613	38,305	0,040	La Dehesa	ZSP
GDM2348			18,255	15,608	38,308	0,043	Quita Pelleio	ZOM
GDM2158			18,215	15,648	38,305	0,048	Rio Tinto	ZSP
	C2	A7	18,257	15,639	38,303	-----	-----	-----
GDM2172			18,255	15,625	38,294	0,017	Mina 9, Norte Paterna	ZSP
GDM0827			18,276	15,627	38,307	0,023	Aljustrel	ZSP
GDM2096			18,240	15,664	38,307	0,030	El Amarguillo	ZSP
GDM0184			18,240	15,613	38,305	0,031	La Dehesa	ZSP
GDM2348			18,255	15,608	38,308	0,031	Quita Pelleio	ZOM
GDM2351			18,249	15,620	38,338	0,041	Quita Pelleio	ZOM
GDM1506			18,248	15,622	38,339	0,041	Louredo	ZSP
GDM2158			18,215	15,648	38,305	0,043	Rio Tinto	ZSP
GDM1570			18,271	15,600	38,318	0,044	Souséis	ZOM
GDM2312			18,210	15,642	38,307	0,047	Alosno	ZSP

IBERLID	Leceia		Composição isotópica				Depósito de minério	
	Camada	Am.	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	d	Mina de cobre	Zona Geol.
GDM2362			18,230	15,607	38,326	0,048	Las Angustias	ZCI
GDM0874			18,242	15,613	38,341	0,048	Palazuelos	ZCI**
	C2	P8	18,303	15,612	38,445	-----	-----	-----
GDM2375			18,301	15,626	38,427	0,023	Palazuelos	ZCI**
GDM2358			18,298	15,633	38,422	0,032	Arroyo de la Alcobilla	ZCI*
GDM0179			18,293	15,645	38,453	0,035	Preciosa	ZSP
GDM2388			18,316	15,650	38,446	0,040	De las Marquesas	ZCI**
GDM2366			18,297	15,645	38,471	0,042	Cabueñes	ZCI*
GDM2363			18,268	15,634	38,426	0,045	Las Riscas	ZCI*
GDM2373			18,264	15,636	38,434	0,047	La Buena-La Mala	ZCI**
	C2	A9	18,293	15,630	38,258	-----	-----	-----
GDM2100			18,311	15,624	38,262	0,019	La Sultana	ZOM
GDM0829			18,273	15,611	38,262	0,028	Casilla Cobre	ZOM
	C2	A11	17,642	15,560	37,512	-----	-----	-----
	C2	A13	18,421 (0,34)***	15,667	38,470	-----	-----	-----
GDM2401			18,434	15,642	38,438	0,043	Mocissos	ZOM
GDM2326			18,387	15,641	38,452	0,046	Azínhal	ZSP
	Sup.	P14	18,345	15,635	38,348	-----	-----	-----
GDM1544			18,332	15,613	38,387	0,047	Safira	ZOM
GDM0870			18,322	15,638	38,390	0,048	A. Tomilloso	ZCI**
GDM2180			18,317	15,625	38,387	0,049	Rio Tinto	ZSP

* Batólito Los Pedroches; ** Los Pedroches (Culm); ***Valores do desvio-padrão (2σ) expressos em % (ver Tabela 1).

Não querendo ser demasiado assertivos, devido à ausência de um conjunto vasto de dados isotópicos, ainda por determinar, referentes a pequenas minas de cobre situadas em território português na ZOM e na ZSP, da observação da Quadro 2 retira-se que a origem da maior parte das amostras de cobre de Leceia deverá provir de minas do actual território espanhol. Note-se, contudo, que a distância euclidiana **d** é maior que 0,05 para a assinatura isotópica da amostra A10 e que, apenas em dois casos (amostras A13 e P14) surge uma mina em território português como a fonte mais provável desse metal (Mocissos e Safira, respectivamente), mas com valores de **d** próximos do limiar estabelecido.

Na Fig. 3 encontram-se as localizações das minas referidas na Quadro 2. No seguimento do que atrás se sugere, note-se o grande conjunto de minas (n.ºs 20 a 35) situadas na área do batólito de Los Pedroches (ZCI* e ZCI**, na Quadro 2) e mesmo, ainda muito mais afastada, uma mina pré-histórica muito conhecida na

Cordilheira Bética, a mina de Cerro Minado. As assinaturas isotópicas de minérios de cobre desta mina, os quais se encontram habitualmente associados a arsenatos (MURILLO-BARROSO et al., 2019), sugerem como muito provável, perante os dados de que dispomos actualmente, que seja esta a origem do cobre da amostra A12. Curiosamente, é precisamente esta amostra a que apresenta o teor mais elevado de arsénio (3,6 % As) no conjunto de amostras analisadas de Leceia ($1,7 \pm 0,9$ % As, $n = 10$, não contando com as 4 amostras que apresentavam vestígios de corrosão) (MÜLLER & CARDOSO, 2008, Tab. 1). De igual modo, o cobre das amostras P6, P4, P8 e A1 deverá provir de minérios da área do batólito de Los Pedroches, sendo até possível que os “*copper prills*” P6 e P4 tenham origem em minérios dessa região, talvez da mina José Martín Palácios (Baños da la Encina, Jaén), com exploração pré-histórica datada dos finais do III Milénio a.C. (ARBOLEDAS MARTÍNEZ et al., 2015).

Mais próximo de Leceia, na ZSP, encontram-se diversos depósitos de minérios de cobre cuja assinatura isotópica apresenta grande similaridade com as assinaturas isotópicas das amostras P3, P5 e A7, sendo o minério da mina Paterna (mina 9) aquela que apresenta um menor valor de d (ver Quadro 2). De qualquer modo, para estas três amostras de cobre de Leceia, que apresentam entre si assinaturas isotópicas muito semelhantes, existe um conjunto relativamente grande de minas da ZSP, na área do território espanhol, cujos minérios apresentam uma assinatura isotópica de grande similitude. Note-se, contudo, que Aljustrel

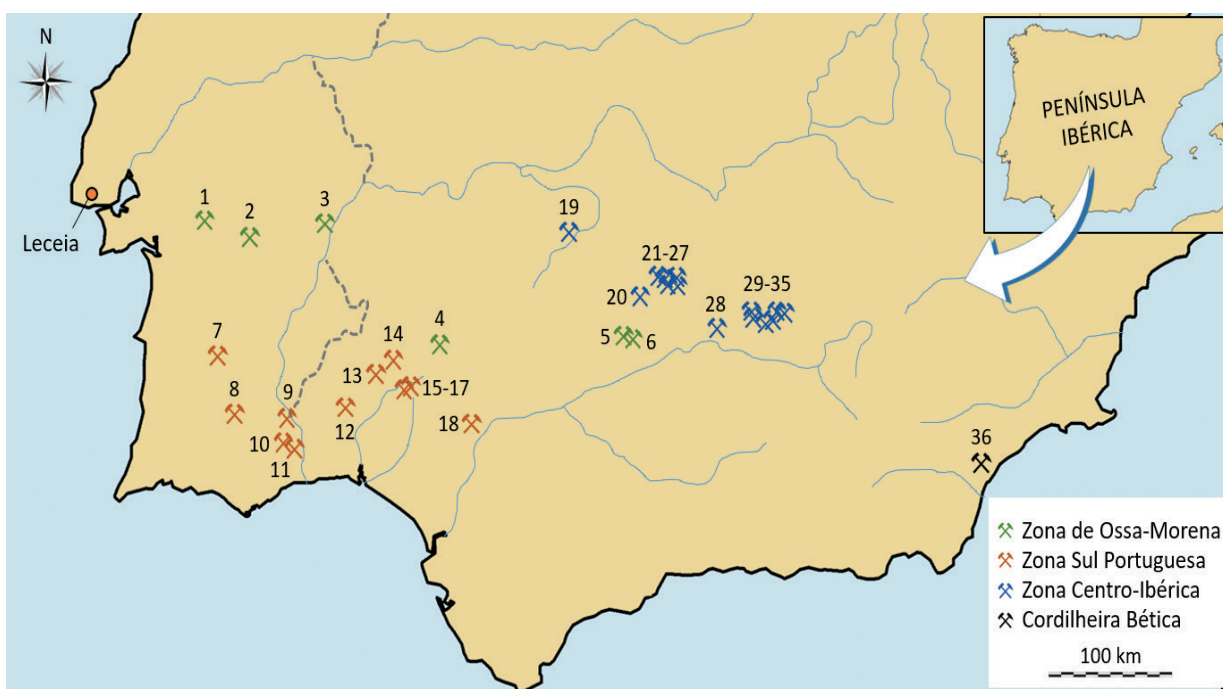


Fig. 3 – Localização das minas cujos minerais de cobre possuem assinaturas isotópicas com uma similitude muito elevada em relação às assinaturas isotópicas dos metais de Leceia (distância euclidiana $d \leq 0,05$) (ver Quadro 2).

1 GDM1544 - Safira; 2 GDM1570 - Souséis; 3 GDM2401 - Mocissos; 4 GDM2100 - La Sultana; 5 GDM0829 - Casilla Cobre; 6 GDM2348, 2351 - Quita Pelleio; 7 GDM0827 - Aljustrel; 8 GDM1514 - Brancanes; 9 GDM1506 - Louredo; 10 GDM1522 - Alcaria Queimada; 11 GDM2326 - Azinhal; 12 GDM2312 - Alosno; 13 GDM0173 - Las Viñas; 14 GDM2096 - El Amarguillo; 15 GDM0179 - Preciosa; 16 GDM0184 - La Dehesa; 17 GDM2158, 2180 - Río Tinto; 18 GDM2172 - Mina 9, Norte Paterna; 19 GDM0870 - A. Tomilloso; 20 GDM2353 - Los Cuatro Amigos; 21 GDM0844 - Tanubia; 22 GDM0849 - La Pililla; 23 GDM0850 - Cort. Peralbo; 24 GDM0852 - Tabertero; 25 GDM0856 - Quiros; 26 GDM0857 - Garabato; 27 GDM0861 - Posadilla; 28 GDM2358 - Arroyo de la Alcobilla; 29 GDM1100 - José Palácios; 30 GDM2362 - Las Angustias; 31 GDM2363 - Las Riscas; 32 GDM2366 - Cabueñas; 33 GDM2373 - La Buena-La Mala; 34 GDM2375 - Palazuelos; 35 GDM2388 - De las Marquesas; 36 GDM1974, 1976, 1989 - Cerro Minado.

(minério secundário explorado no chapéu-de-ferro) é também um bom candidato para a proveniência deste cobre.

Por fim, a mina La Sultana (ZOM), situada na província de Huelva, poderá estar na origem do cobre das amostras A2 e A9, apresentando valores de d relativamente reduzidos, em especial no segundo caso (0,046 e 0,019, respectivamente, ver Quadro 2).

4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta revisita efectuada aos resultados da análise isotópica do Pb de amostras de cobre pré-histórico de Leceia permitiu aprofundar as inferências que os autores do primeira publicação sobre as mesmas fizeram (MÜLLER & CARDOSO, 2008), tendo agora em conta os desenvolvimentos teóricos no campo das aplicações destas análises isotópicas e o acesso e manuseamento fácil de uma base de dados muito mais completa do que aqueles autores dispuseram.

Assim, os dados que dispomos sugerem uma origem muito mais longínqua do que aquela que se supunha para o cobre que era importado para as comunidades calcolíticas da península de Lisboa, a qual não dispõe de depósitos mineiros desse metal. Conclusão semelhante já tinha sido inferida num estudo sobre a origem de lingotes de cobre registados em povoados calcolíticos do Alentejo (SOARES et al., 2020). Também aqui, e apesar da proximidade de muitas minas de cobre, uma das origens do metal usado nessa região seria a das minas do batólito de Los Pedroches, na Serra Morena oriental, enquanto outro dos lingotes seria proveniente da mina El Milagro, na área cantábrica. A reforçar esta inferência sobre a reduzida utilização dos minérios locais é a verificação de que cerca de 50 % das assinaturas isotópicas determinadas para os minérios de cobre da ZOM e da ZSP, localizadas no território português, são de Pb altamente radiogénico (GAUSS, 2016), o que não tem correspondência nas assinaturas isotópicas dos artefactos de cobre do Alentejo e da Península de Lisboa (GAUSS, 2016; SOARES et al., 2020), em que o Pb altamente radiogénico é apenas residual. A ZSP e a ZOM poderão estar na origem de algum do cobre utilizado em Leceia, tal como aqueles autores propuseram, mas a sua origem principal não estaria nas minas alentejanas mas, possivelmente, nas mais distantes minas andaluzas.

Por fim, será importante destacar que as análises actualmente em curso de possíveis lingotes recolhidos em Leceia e cujos resultados se esperam a curto prazo ajudarão, espera-se, a precisar e fortalecer as considerações aqui explanadas.

REFERÊNCIAS

- ARBOLEDAS MARTÍNEZ, L.; ALARCÓN GARCÍA, E.; CONTRERAS CORTÉS, F.; MORENO ONERATO, A.; PADILLA FERNÁNDEZ, J.J. & MORA GONZÁLEZ, A. (2015) – La mina de José Martín Palacios- Doña Eva (Baños de la Encina, Jaén): la primera explotación minera de la Edad del Bronce documentada en el sureste de la Península Ibérica. *Trabajos de Prehistoria*. 72(1), p. 158-175.
- BARON, S.; TĂMAŞ, C.G. & Le CARLIER, C. (2014) – How mineralogy and geochemistry can improve the significance of Pb isotopes in metal provenance studies. *Archaeometry*. 56(4), p. 665–680.
- BAXTER, M.J.; BEARDAH, C.C. & WESTWOOD, S. (2000) - Sample size and related issues in the analysis of lead isotope data. *Journal of Archaeological Science*. 27, p. 973-980.

- BIRCH, T.; WESTNER, K.J.; KEMMERS, F.; KLEIN, S.; HÖFER, H.E. & SEITZ, H.-M. (2020) – Retracing Magna Graecia’s silver: coupling lead isotopes with a multi-standard trace element procedure. *Archaeometry*. 62(1), p. 81-108.
- BUDD, P.; HAGGERTY, R.; IXER, R.A.; SCAIFE, B. & THOMAS, R.G. (2000) – Copper deposits in south-west England identified as a source of Copper Age metalwork. https://www.academia.edu/5596980/Copper-deposits_in_south-west_England_identified_as_Copper_Age_source (acesso 15 de Julho de 2019).
- CHEN, K.; MEI, J.; REHREN, T.; LIU, S.; YANG, W.; MARTINÓN-TORRES, M.; ZHAO, C.; HIRAO, Y.; CHEN, J. & LIU, Y. (2019) – Hanzhong bronzes and highly radiogenic lead in Shang period China. *Journal of Archaeological Science*. 101, p. 131-139.
- GARCÍA de MADINABEITIA, S.; GIL IBARGUCHI, J.I. & SANTOS ZALDUEGUI, J.F. (2021) – A lead isotope database and tool for metal provenance and ore deposits research. *Ore Geology Reviews*. 137: 104279.
- GAUSS, R. (2016) – *Zambujal und die Anfänge der Metallurgie in der Estremadura (Portugal). Technologie der Kupfergewinnung, Herkunft des Metalls und soziokulturelle Bedeutung der Innovation*. Früher bergbau und Metallurgie auf der Iberischen Halbinsel, Faszikel 1 (Iberia archaeologica 15). Tübingen: Wasmuth Verlag.
- GOMES, S.S. (2018) – *O chumbo no Ocidente Peninsular em Época Romana: proveniência e técnicas metalúrgicas*. Tese de Doutoramento em Ciências da Conservação – Conservação e Restauro do Património, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.
- GOMES, S.S.; ARAÚJO, M.F.; SOARES, A.M.M.; PIMENTA, J. & MENDES, H. (2018) – Lead provenance of Late Roman Republican artefacts from Monte dos Castelinhos archaeological site (Portugal): Insights from elemental and isotopic characterization by Q-ICPMS. *Microchemical Journal*. 141, p. 337-345.
- GOMES, S.S.; ARAÚJO, M.F.; SOARES, A.M.M. & CORREIA, V.H. (2017) – Provenance evidence for Roman lead artefacts of distinct chronology from Portuguese archaeological sites. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 16, p. 149-156.
- GOMES, S.S.; ARAÚJO, M.F.; SOARES, A.M.M. & CORREIA, V.H. (2020) – O chumbo dos sistemas hidráulicos romanos no Ocidente Peninsular: proveniência e processos metalúrgicos. *Revista Portuguesa de Arqueologia*. 23, p. 131-144.
- GOMES, S.S.; SOARES, A.M.M.; ARAÚJO, M.F. & CORREIA, V.H. (2016a) – Lead isotopes and elemental composition of Roman *fistula aquariae* from Conimbriga (Portugal) using Quadrupole ICP-MS. *Microchemical Journal*. 129, p. 184-193.
- GOMES, S.S.; VALÉRIO, P.; ALVES, L.C.; ARAÚJO, M.F.; SOARES, A.M.M. & CORREIA, V.H. (2016b) – Tin determination in *fistula* seals from Conimbriga and Augusta Emerita. *Microchemical Journal*. 124, p. 540-546.
- HUELGA-SUAREZ, G.; MOLDOVAN, M.; SUÁREZ FERNÁNDEZ, M.; De BLAS CORTINA, M.A. & GARCÍA ALONSO, J.I. (2014a) – Defining the lead isotopic fingerprint of copper ores from north-west Spain: the El Milagro mine (Asturias). *Archaeometry*. 56(1), p. 88-101.
- HUELGA-SUAREZ, G.; MOLDOVAN, M.; SUÁREZ FERNÁNDEZ, M.; De BLAS CORTINA, M.A. & GARCÍA ALONSO, J.I. (2014b) – Isotopic composition of lead in copper ores and a copper artefact from the La Profunda mine (León, Spain). *Archaeometry*. 56(4), p. 651-664.
- LARANJEIRA, M.F. & FRONTEIRA e SILVA, M.E. (1968) – Isotopic analysis of Roman lead from Conimbriga and of galenas from neighbouring mines. *Revista Portuguesa de Química*. 10, p. 55-56.
- LIU, S.; CHEN, K.L.; REHREN, Th.; MEI, J.J.; CHEN, J.L.; LIU, Y. & KILLICK, D. (2018) – Did China import metals from Africa in the Bronze Age? *Archaeometry*. 60(1), p. 105-117.

- MARCOUX, E., (1998) – Lead isotope systematics of the giant massive sulphide deposits in the Iberian Pyrite Belt. *Mineralium Deposita*. 33, p. 45-58.
- MÜLLER, R. & CARDOSO, J.L. (2008) – The origin and use of copper at the Chalcolithic fortification of Leceia (Oeiras, Portugal). *Madriider Mitteilungen*, 49, p. 64-93.
- MÜLLER, R.; GOLDENBERG, G.; BARTELHEIM, M.; KUNST, M. & PERNICKA, E. (2007) – Zambujal and the beginnings of metallurgy in southern Portugal. In La NIECE, S.; HOOK, D. & CRADDOCK, P. (eds.), *Metals and Mines. Studies in Archaeometallurgy*. Londres: Archetype Publications, p. 15-26.
- MÜLLER, R. & SOARES, A.M.M. (2008) – Traces of early copper production at the Chalcolithic fortification of Vila Nova de São Pedro (Azambuja, Portugal). *Madriider Mitteilungen*, 49, p. 94-114.
- MURILLO-BARROSO, M.; MONTERO-RUIZ, I.; NIETO, J.M.; CAMALICH MASSIEU, M.D.; MARTÍN SOCAS, D. & MARTINÓN-TORRES, M., (2019) – Trace elements and lead isotopic composition of copper deposits from the eastern part of the Internal Zone of the Betic Cordillera (SE Iberia): application to provenance of archaeological materials. *Journal of Iberian Geology*. 45(4), p. 585-608.
- POLLARD, A.M. (2018) – *Beyond Provenance. New Approaches to interpreting the Chemistry of Archaeological Copper Alloys*. (Studies in Archaeological Sciences 6). Leuven University Press.
- SÁEZ, R.; NOCETE, F.; GIL IBARGUCHI, J.I.; RODRÍGUEZ-BAYONA, M.; INACIO, N.; QUISPE, D.; RODRÍGUEZ, J. & SANTOS ZALDUEGUI, J.F. (2021) – A lead isotope database for copper mineralization along the Guadalquivir River Valley and surrounding areas. *Journal of Iberian Geology*. 47, p. 411-427.
- SOARES, A.M.M.; SOARES, S.M. & SOARES, R.M.G.M. (2022a) – As Minas Pré-Históricas do Concelho de Moura. *Lacant*. 2, p. 6-26.
- SOARES, A.M.M.; VALÉRIO, P.; GOMES, S.S. & ARAÚJO, M.F. (2022b) – A proveniência do metal utilizado nos povoados calcólicos da bacia do Guadiana Médio: as razões isotópicas do chumbo de prováveis lingotes de cobre. *Revista Portuguesa de Arqueologia*. 25, p. 59-79.
- SOARES, A.M.M.; VALÉRIO, P.; GOMES, S.S.; MATALOTO, R.; SOARES, S.M.; SILVA, R.J.C. & SOARES, R.M. (2020) – A first appraisal on copper sources for Chalcolithic settlements in southern Portugal using Pb isotope analysis. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 33:102481.
- SOARES, A.M. M.; VALÉRIO, P. & VALERA, A.C. (2021) – O lingote de cobre calcólico da Folha do Ouro 1 (Serpa) – Análise química, microestrutural e isotópica. In GONCALVES, Victor S., ed. – *Terra e sal. Das antigas sociedades camponesas ao fim dos tempos modernos: estudos dedicados a Carlos Tavares da Silva*. Lisboa: Universidade, p. 151-162.
- STOS-GALE, Z.A. (1992) – *Application of lead isotope analysis to provenance studies in Archaeometry*. Ph.D. Thesis. Department of Physics, University of Oxford.