

MÉTODOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE ANÁLISE EM INVESTIGAÇÃO NUMISMÁTICA*

João M. Peixoto Cabral*

A aplicação de métodos físicos e químicos de análise em investigação numismática visa vários objectivos, entre os quais avultam os seguintes: 1. determinar a composição das ligas metálicas de que são feitas as espécies monetárias e a sua variação ao longo de sucessivas emissões, o que permite precisar as leis a que a sua produção terá obedecido e as *mutationes in materia* de que foram instrumento; 2. identificar o modo de alteração das ligas através da determinação das concentrações de alguns elementos vestigiais**; 3. determinar a proveniência dos metais usados nas amoedações, tomando por base resultados da análise de elementos vestigiais ou da análise isotópica do chumbo; e 4. saber quais foram os processos metalúrgicos utilizados na fabricação das moedas, fazendo uso, por um lado, de resultados de determinações mencionadas nas alíneas anteriores e, por outro, de resultados de exames metalográficos e análises complementares susceptíveis de conduzir ao conhecimento da estrutura dos respectivos materiais.

Dos métodos de análise utilizados para alcançar o primeiro objectivo descrito ocupei-me já nesta revista¹ e, recentemente, no Primeiro Encontro Peninsular de Numismática Antiga². Os métodos de determinação da composição das ligas metálicas não serão, por isso, quanto aos seus aspectos fundamentais, considerados aqui, apesar de muitos deles serem também usados para atingir o segundo e o terceiro objectivos. O leitor interessado em conhecer os princípios em que assentam esses métodos terá de consultar os referidos artigos e, porventura, outros citados na bibliografia respectiva.

* Recebido na redacção em Maio de 1995.

* Instituto Tecnológico e Nuclear, Departamento de Química, Estrada Nacional N°10, P-2686 SACAIVÉM.

** Os elementos vestigiais, ou oligoelementos, são os que podem estar presentes em proporções muitíssimo pequenas, inferiores a 0,1 %, i.e., a 1000 ppm (ppm = partes por milhão).

No presente trabalho apresentam-se exemplos de aplicação de alguns métodos de determinação da composição química das ligas quer ao estudo dos processos de aviltamento das ligas, quer ao estudo da proveniência dos metais usados em certas amoedações. Discute-se sucintamente a base em que se fundamenta o método de análise isotópica do chumbo, apontam-se as suas vantagens e limitações mais importantes e apresentam-se também exemplos da sua aplicação ao estudo da proveniência dos metais. Apresentam-se, por fim, exemplos de aplicação de métodos físicos e químicos ao estudo das técnicas de amoedação. Em nenhum dos casos se teve a pretensão de dar conta de todos os trabalhos publicados nos últimos anos ou de fazer a sua crítica.

1. ESTUDO DOS PROCESSOS DE AVILTAMENTO DAS LIGAS

É frequente os numismatas pensarem, quando a percentagem de prata na moeda de ouro atinge valores da ordem de 5 a 10 %, que as ligas terão sido obtidas adicionando prata a um ouro de melhor qualidade. Note-se, porém, que este não é o único processo conducente à preparação de tais ligas. Como o ouro no estado nativo pode conter prata numa percentagem muito apreciável, que chega a atingir valores próximos de 40 %, a degradação da moeda poderá também ser efectuada mediante utilização directa de ouro nativo ou de mistura deste, em proporções variáveis, com ouro purificado.

É possível distinguir estes dois processos de aviltamento a partir do estudo da concentração de certos elementos vestigiais, como, por exemplo, do chumbo. E isto porque a concentração do chumbo no ouro nativo é em geral muito baixa, da ordem de grandeza de 100 ppm, enquanto na prata — quase sempre extraída da galena, que é um mineral de chumbo argentífero — oscila entre 0,1 e 1 %. Assim, se a alteração se fizer adicionando ou usando ouro nativo não-purificado, a percentagem de prata na liga aumentará mas a concentração de chumbo manter-se-á aproximadamente constante. Se, pelo contrário, se adicionar prata, o aumento da percentagem deste elemento será acompanhado por um aumento proporcional da concentração de chumbo.

Um exemplo interessante desta aplicação é o relativo ao estudo que foi efectuada por Morrisson *et al.*³ sobre as moedas de ouro bizantinas emitidas entre 491 e 1354. Antes, porém, de se fazer a sua apreciação, convirá saber como evoluiu a composição de tais moedas ao longo do tempo, evolução essa que foi também estudada pelos mesmos investigadores fazendo uso do método de activação com protões de média energia.

Segundo os resultados obtidos neste estudo, o ouro do *solidus* bizantino manteve-se relativamente puro desde Anastásio I (491-518) até meados do século X (fig. 1). Conhecem-se exemplares de Anastásio em que a percentagem de ouro é superior a 99 %. Mas foi sob este monarca que se começou a abandonar a prática sistemática de purificar o ouro até graus de pureza muito elevados, prática essa que tinha sido instituída por Valentiniano. De facto, verifica-se que para a grande maioria dos *solidi* de Anastásio a percentagem

média de prata já ultrapassa ligeiramente 1 %, valor que se mantém no reinado de Justino I (518-27) mas que aumenta para 1,4 % a partir de Justiniano I (527-65). É de 1,4 % a percentagem média de prata que continua a ser observada nos *solidi* bizantinos durante o último quartel do século VI e quase todo o século VII, até ao reinado de Constantino IV (668-85). Em finais do século VII, porém, dá-se uma mudança na política monetária, como aliás em outras, a qual, para a moeda de ouro, e em particular para o *solidus-nomisma*, se traduziu por uma diminuição da percentagem de ouro para um nível inferior a 98 %. Mas foi durante a primeira metade do século X, em particular no reinado de Constantino VII (905-59), que começou a intensificar-se, embora ainda lentamente, a diminuição da percentagem de ouro nas moedas — *nomisma*, *histamenon* e *tetarteron* —, a qual, nesse mesmo reinado, desceu para baixo de 95 %. A degradação da moeda bizantina prosseguiu nos reinados seguintes, mas sob Constantino IX Monómaco (1042-55) ela começou a agravar-se nitidamente — a percentagem média de prata ultrapassa pela primeira vez 10 % — acelerando rapidamente nos reinados imediatos, sobretudo nos de Miguel VII (1071-8) e Nicéforo III (1078-81). Este primeiro período de degradação só terminou no reinado de Aleixo I Comneno (1081-1118).

De acordo com os resultados das análises, Aleixo I terá inicialmente actuado no sentido de um agravamento da degradação do numerário (a percentagem de ouro desce para um nível à roda de 10 % e a de prata sobe para cerca de 73 %) mas, posteriormente, procedeu a uma reforma monetária que fez regressar a moeda de ouro bizantina — o *hyperpere* — aos padrões metrológicos dos tempos de Constantino IX, com uma percentagem média de ouro de cerca de 87 % (aproximadamente 21 quilates). Contudo, o *hyperpere* não se manteve estável durante muito tempo. No final do século XII, talvez durante o reinado de Andrónico I Comneno (1183-5), em que a percentagem média de ouro desce para 82,4 % e a de prata sobe para cerca de 16 %, inicia-se um segundo período de degradação, cujas características se encontram ilustradas na fig. 1.

O exemplo apresentado por Morrisson *et al.*³, sobre a identificação dos processos de aviltamento do ouro bizantino, consistiu em averiguar qual é o grau de correlação entre os resultados obtidos na determinação do chumbo e os obtidos na determinação da prata, em moedas emitidas durante o referido período, determinações estas que esses investigadores efectuaram aplicando o método de activação com protões de média energia. Para isso serviram-se, por um lado, de moedas anteriores à reforma de Aleixo I e, por outro, de moedas posteriores à mesma reforma.

No que se refere às moedas anteriores à referida reforma, os resultados mostram (fig. 2) que as alterações das ligas foram realizadas por vários processos, designadamente os seguintes. Durante a fase de degradação lenta, iniciada no reinado de Constantino VII, e a fase de degradação agravada, compreendida entre os reinados de Constantino IX e Romano IV (1068-1071), i. e., desde meados do século X até ao terceiro quartel do século XI, altura em que a percentagem de prata nas moedas atingiu o valor de cerca de 30 %, as alterações terão sido feitas por uso directo ou por adição de ouro nativo não-purificado,

uma vez que se observa que o aumento da percentagem de prata não foi acompanhado por nenhum aumento da concentração do chumbo, a qual permaneceu praticamente constante com um valor médio de $113 \text{ ppm} \pm 65$. Durante a fase de degradação rápida, correspondente aos reinados de Miguel VII, Nicéforo III e Aleixo I, ou seja, a partir do momento em que a percentagem de prata nas moedas ultrapassou o valor de 30 %, as alterações terão passado a ser efectuadas por adição de prata, visto que se verifica a existência de uma excelente correlação (coeficiente de 0,966) entre os resultados obtidos para este elemento e os obtidos para o chumbo. Na parte final da fase de degradação rápida, as alterações terão sido feitas não só por adição de prata como ainda por adição de cobre, uma vez que a percentagem deste elemento nas moedas então emitidas passou também a ser significativamente maior do que era nas moedas anteriores.

É interessante notar que a inclinação da recta de correlação é de 0,5 %, o que está de acordo com o facto, observado através da análise de moedas de prata mandadas cunhar por Constantino IX e Miguel VII, de ser esse o valor aproximado da concentração de chumbo nestas moedas, e sugere, portanto, que a adição de prata terá sido feita recorrendo a moedas de prata de reinados anteriores.

Quanto às moedas posteriores à reforma de Aleixo I, os resultados mostram (fig. 3) que as primeiras alterações das ligas, ordenadas pelos Comnenos no final do século XII, terão sido efectuadas pelo mesmo processo que havia sido usado em meados do século XI, i.e., por uso directo ou adição de ouro nativo não-purificado, dado que se observa igualmente que o aumento da percentagem de prata nas moedas não foi acompanhado por nenhuma subida da concentração do chumbo. Deve notar-se, todavia, que o nível a que se manteve a concentração deste elemento após as alterações — 278 ppm — é de cerca de duas vezes e meia mais alto do que no caso precedente, o que pode dever-se à circunstância de o ouro nativo utilizado ter uma origem diferente da do outro, ou ao facto de nenhum *hiperpere* ter sido produzido a partir de ouro purificado, contrariamente ao que acontecera com as moedas do Baixo Império. Os resultados da fig. 3 mostram ainda que, no império de Niceia, as alterações terão sido efectuadas por uso directo ou adição de ouro não-purificado e adição de cobre, uma vez que não se verifica nenhuma modificação significativa da concentração do chumbo com o aumento da percentagem de prata, mas já se nota uma subida da percentagem de cobre nas moedas. Mostram, além disso, que, a partir do reinado de Miguel VIII Paleólogo (1259-82), ou seja, a partir da altura em que a percentagem de prata na *hiperpere* ultrapassa 20 %, as alterações terão começado a fazer-se por adição de prata e cobre, dado que, por um lado, se observa a existência de uma correlação entre os resultados da prata e os do chumbo e, por outro lado, se observa um aumento da concentração de cobre nas moedas.

2. ESTUDO DA PROVENIÊNCIA DOS METAIS

Para estudar a proveniência dos metais que serviram para a fabricação de moedas tem-se procurado recorrer a dois tipos de métodos: 1. métodos de análise química das ligas metálicas de que as moedas são feitas, orientada sobretudo para a determinação de elementos vestigiais; e 2. métodos de análise isotópica do chumbo, elemento geralmente presente nessas ligas, embora, por vezes, em proporções muitíssimo pequenas. É claro que, qualquer que seja o método utilizado, não basta fazer a caracterização química ou isotópica dos metais que constituem as ligas. Torna-se necessário também proceder ao mesmo tipo de caracterização em diversas matérias primas, de origem conhecida, que possam ter sido utilizadas na produção dos metais que constituem as referidas ligas. A proveniência é então determinada comparando as características dos metais com as dessas matérias primas.

2.1. Métodos de análise química

A determinação da proveniência de metais com base na sua caracterização química e na caracterização química de minérios, de origem conhecida, que poderão ter sido usados na sua produção, baseia-se nas seguintes hipóteses: 1. em minérios de um dado metal, a proporção da quantidade de certos elementos vestigiais relativamente à do metal não varia apreciavelmente dentro dos respectivos depósitos mas difere significativamente de depósito para depósito; e 2. a referida proporção não sofre alterações significativas durante os processos metalúrgicos de transformação do minério.

Estas hipóteses, porém, nunca foram provadas na prática. Pelo contrário, alguns dados analíticos disponíveis levam a crer que elas devem ser muito provavelmente falsas. Com efeito, encontraram-se depósitos de minérios em que as variações de concentração para alguns elementos vestigiais são apreciáveis e, por outro lado, verificou-se que, durante os processos metalúrgicos, há circunstâncias que contribuem para alterar a concentração de muitos elementos vestigiais nos produtos obtidos, tais como a de se adicionarem aos minérios algumas substâncias de natureza química diferente e a de esses elementos se repartirem de forma variável pelo metal e pela escória. Acresce ainda que certos elementos tendem a perder-se por volatilização, dependendo das condições de oxidação-redução em que se realizam os processos. Não é de estranhar, portanto, que quase todas as tentativas feitas até agora para determinar inequivocamente a proveniência de metais com base na análise de elementos vestigiais tenham falhado.

Excepção importante parece ser a que diz respeito à prata extraída das minas de Potosí, na América do Sul. De facto, verificou-se recentemente⁴, fazendo uso do método de análise por activação com neutrões, que a prata produzida a partir do minério dessas minas, designadamente aquela que durante o reinado de Filipe II de Espanha começou a ser utilizada na fabricação de moedas neste reino, se caracteriza por apresentar vestígios

de índio à roda de 7 ppm, o que não acontece com a produzida a partir de minérios mexicanos ou europeus. Esta descoberta permitiu, por um lado, datar a chegada de grandes quantidades de prata de Potosi a Espanha nos anos 1570 e, por outro, estimar o seu volume relativo. Permitiu ainda datar a sua chegada a França, em particular às oficinas da fachada atlântica, em 1575, e estimar também o seu volume relativo. Verificou-se, deste modo, que ela fez decuplicar as emissões no primeiro caso e que, no segundo, as fez multiplicar por um factor não tão elevado, mas que chegou a atingir valores de oito a nove entre 1597 e 1610. É interessante notar que o crescimento resultante da chegada de prata de Potosi à Europa foi, por sua vez, parcialmente responsável pela alta dos preços nominais, e que a possibilidade trazida pela análise do índio de quantificar a proporção de metal novo, importado da América, no numerário em circulação veio permitir, conseqüentemente, estimar o papel do aumento da oferta de moeda na “revolução” dos preços que teve lugar nessa época.

Tem interesse referir ainda que se conhecem indícios de que a platina poderá ser também um elemento característico da origem do ouro, dado que parece que não é eliminada nos processos metalúrgicos empregados na purificação daquele metal. Na verdade, um estudo efectuado sobre a composição das ligas utilizadas na fabricação de moedas de ouro romanas, emitidas entre 63 e 491, recorrendo ao método de activação com protões⁵, mostrou que a concentração de platina nessas ligas se manteve praticamente constante até meados do século IV, definindo um patamar situado na proximidade de 40 ppm, mas que a partir de 346-347, altura em que atingiu 112 ppm, começou a aumentar acentuadamente até alcançar, vinte anos depois, o valor de 2577 ppm. Passou então a diminuir, fixando-se, no século V, à roda de 412 ppm. Infelizmente, porém, não se fizeram ainda estudos semelhantes sobre a caracterização de ouros de origem conhecida, o que torna por enquanto impossível relacionar as variações da concentração de platina com o uso de matérias primas de proveniência definida.

Note-se que, no estudo da composição das moedas de ouro bizantinas emitidas entre 491 e 1354, atrás citado, se verificaram também variações da concentração de platina nas ligas ao longo do tempo. Neste caso, os resultados mostraram que, durante o século VI, tal concentração se manteve em um nível próximo de 500 ppm, compatível com os valores obtidos para as moedas romanas do século precedente, mas que, a partir daí, começou a diminuir de forma regular — o decréscimo pôde ser representado aproximadamente por uma recta, mediante regressão linear — até atingir, no século XI, valores entre 100 e 150 ppm. Estes resultados indicam, portanto, que a partir do século VI, i.e., numa época em que a inflação em Constantinopla era ainda praticamente inexistente, a renovação do stock de ouro terá sido efectuada recorrendo a matérias primas de nova proveniência, caracterizadas por uma concentração de platina mais baixa que a das usadas anteriormente. Os autores procuraram servir-se destes mesmos resultados para determinar a concentração média de platina no ouro adicionado durante o período de 500-1050, o qual terá de ser inferior ao valor obtido para o ouro utilizado em 1050, ou seja, inferior a 109 ppm, e

superior ao limite de detecção da platina no ouro arqueológico, i.e., superior a 5 ppm. Procuraram, além disso, estimar o aumento da massa monetária, no período considerado, para diferentes valores da concentração média de platina no ouro adicionado³.

2.2. Método de análise isotópica do chumbo

No chumbo natural existem quatro variedades de átomos desse elemento — os isótopos ^{208}Pb , ^{207}Pb , ^{206}Pb e ^{204}Pb — todos eles formados por um núcleo com 82 prótons, electricamente carregado com carga positiva e rodeado por 82 electrões, o qual difere de isótopo para isótopo quanto ao número das outras partículas constituintes — os neutrões. O núcleo do ^{208}Pb possui 126 neutrões, o do ^{207}Pb 125, o do ^{206}Pb 124 e o do ^{204}Pb 122. No chumbo terrestre, o ^{204}Pb — o isótopo menos abundante (percentagem média de 1,42%) — não deriva de nenhum processo radioactivo, i.e., não é radiogénico, estando somente associado ao processo de formação da Terra. Diz-se, por isso, que é apenas primevo. Pelo contrário, os três primeiros isótopos, que ocorrem em percentagens médias de 52,3%, 22,1% e 24,1% respectivamente, descendem em parte de isótopos radioactivos naturais do urânio e do tório, os quais se desintegram espontaneamente ao fim de certo tempo, de acordo com a bem conhecida lei do declínio radioactivo, gerando outras espécies também radioactivas e assim sucessivamente até se obterem esses três isótopos estáveis do chumbo. Com efeito, o ^{208}Pb é o último descendente da série radioactiva do tório, cuja espécie mãe é o ^{232}Th ; o ^{207}Pb é o último descendente da série radioactiva do actínio, cuja espécie mãe é o ^{235}U ; e o ^{206}Pb é o último descendente da série radioactiva do urânio, cuja espécie mãe é o ^{238}U . Assim, no que se refere aos isótopos ^{208}Pb , ^{207}Pb e ^{206}Pb , há que distinguir no chumbo actualmente presente numa dada jazida duas parcelas: o chumbo primevo e o chumbo radiogénico. Daí a composição isotópica do chumbo natural variar de jazida para jazida consoante as respectivas histórias geológica e geoquímica.

A composição isotópica do chumbo numa dada amostra é usualmente especificada por um de dois conjuntos de razões isotópicas: o conjunto (A), $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ e $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, em geral usado em arqueologia; e o conjunto (B), $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ e $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, normalmente utilizado em geologia. Para cada minério de chumbo os valores actuais das referidas razões isotópicas são determinados pelos efeitos integrados de todas as associações com o urânio e o tório entre um certo instante inicial — o da formação da Terra há cerca de $4,6 \times 10^9$ anos — e um instante posterior, correspondente ao momento da formação do minério, a partir do qual o chumbo deixou de estar associado a esses dois elementos radioactivos. Deste modo, os valores das razões $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ e $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ dependem não só da idade geológica do minério de chumbo como ainda da relação urânio/chumbo nos fluidos que contribuíram para a formação do minério. Do mesmo modo, o valor da razão $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ depende da idade do minério e da relação tório/chumbo nos referidos fluidos, enquanto o valor da razão $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ depende da idade do minério e da relação tório/urânio nos mesmos fluidos.

A determinação da proveniência de metais com base na caracterização isotópica do chumbo que contém parece não apresentar algumas das limitações dos métodos baseados na sua caracterização química. De facto, a experiência tem mostrado que a composição isotópica do chumbo em geral só varia dentro de limites muito apertados em cada jazida e, por outro lado, que ela não é praticamente alterada durante os processos metalúrgicos de transformação dos minérios.

A análise isotópica do chumbo, que se pratica recorrendo ao método da espectrometria de massa⁶, exige a recolha de uma amostra do objecto cuja proveniência se procura determinar, ou seja, é destrutiva. Note-se, contudo, que as modernas técnicas de espectrometria de massa permitem que se faça facilmente esta análise, com a precisão necessária (melhor do que $\pm 0,1\%$), usando uma quantidade de chumbo da ordem de grandeza de 1 mg, o que significa que, para analisar uma liga que tenha por exemplo uma concentração de chumbo de 0,01%, bastará dispor de uma amostra de cerca de 10 mg. Ora a colheita de uma amostra desta dimensão, quando efectuada com auxílio de uma broca de diâmetro muito pequeno, aplicada cuidadosamente no bordo das moedas, não provoca, em regra, danos muito significativos do ponto de vista estético.

Os resultados das análises são convencionalmente representados em gráficos que, nas aplicações arqueológicas, tomam em geral a forma de diagramas de $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ versus $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. É costume, além disso, introduzir nestes diagramas os contornos das áreas características dos minérios das jazidas estudadas, os quais são normalmente determinados por meio de métodos estatísticos para um certo valor da probabilidade — 95% ou 90% — de conterem a população da respectiva jazida. O estabelecimento rigoroso destes contornos não é, porém, tarefa fácil. Para tal, segundo Gale⁷, torna-se necessário que se analisem pelo menos cerca de 30 a 50 amostras diferentes de cada jazida, o que implica, para a elaboração de estudos de proveniência abrangendo uma região geográfica extensa, a realização de um número verdadeiramente gigantesco de análises.

Apesar disso, em 1992, Sayre, Yener *et al*⁸ já haviam conseguido reunir numa base de dados os resultados de mais de 1000 análises, por um lado, de minérios e de escórias de antigas minas situadas na Anatólia, e, por outro, de amostras de diversos artefactos do Calcolítico, da Idade do Bronze e da Idade do Ferro Inicial, achados em regiões vizinhas do Mediterrâneo Oriental e do Egeu, resultados esses obtidos por vários grupos de investigadores entre os quais o do próprio Yener. Isso permitiu-lhes fazer um estudo global sobre as relações entre as referidas amostras e avaliar se a área característica dos minérios das jazidas da região de Toros Daglari, na Anatólia, se sobrepunha ou não às áreas características dos minérios das jazidas do Mediterrâneo Oriental. Esse estudo acabou por se revelar muitíssimo interessante. Na verdade, ao contrário do que se esperava, veio mostrar que os minérios daquela região da Anatólia definiam quatro áreas características, e não uma, e que, portanto, haveria na referida região quatro jazidas distintas do ponto de vista da composição isotópica do chumbo. Além disso, permitiu reconhecer que a discriminação das áreas características dos minérios das diferentes jazidas melhorava significa-

tivamente quando na análise dos dados se incluíam os resultados relativos ao ^{204}Pb , se substituíam os valores das razões isotópicas pelas abundâncias dos isótopos, expressas em percentagem, se eliminavam os “outliers” e se usavam métodos de análise estatística multivariada em vez dos métodos estatísticos convencionais. Isto levou a que os autores pudessem em questão a validade da prática da análise de dados até então utilizada e a que, conseqüentemente, se gerasse uma enorme polémica. Com efeito, a revista *Archaeometry* convidou vários especialistas a apresentar os seus comentários ao citado estudo e os autores a expor as respectivas réplicas, o que deu lugar a uma discussão muito frutuosa⁹⁻¹¹.

A aplicação de métodos de análise isotópica do chumbo na determinação da proveniência de metais em investigação numismática foi sugerida pela primeira vez por Brill e Shields¹², em 1970. Todavia, o primeiro estudo razoavelmente fundamentado neste domínio, respeitando moedas gregas de prata da época arcaica, só veio a ser realizado cerca de dez anos mais tarde por Gale *et al.*¹³, visando dois objectivos: descobrir as minas que forneceram a prata para o fabrico dessas moedas e ganhar algum conhecimento sobre os processos então usados para produzir prata pura destinada à amoedação. Outros estudos foram depois disso efectuados, embora em número reduzido, os quais se encontram referenciados por Stos-Gale⁶, no seu artigo de revisão publicado em 1986. Esta escassez de estudos sobre a origem das matérias primas deve-se sobretudo às dificuldades associadas à realização de trabalhos de campo que é necessário desenvolver paralelamente.

3. ESTUDO DAS TÉCNICAS DE AMOEDAÇÃO

Desde a antiguidade até aos nossos dias que as moedas metálicas têm sido fabricadas por dois processos: a fundição em moldes e a cunhagem, o segundo dos quais tem predominado largamente na produção monetária ocidental. O conhecimento destes processos e das respectivas técnicas é indispensável aos numismatas, visto que poderá contribuir, embora indirectamente, tanto para a classificação e identificação de certas espécies monetárias, como para a detecção de falsificações, como ainda para o cálculo do volume das amoedações. É claro que o fabrico das moedas abrange, além disso, uma fase preliminar de preparação do metal ou da liga metálica de que será feita a espécie a produzir.

Testemunhos documentais de tais processos e técnicas conhecem-se apenas a partir do período medieval tardio. Daí que, para o seu estudo, se tenha de recorrer habitualmente à observação directa das moedas ou dos raros cunhos conservados, assim como a exames metalográficos dos materiais que as constituem, envolvendo diversos métodos de análise, alguns dos quais exigem a realização de operações de limpeza abrasiva ou a colheita de amostras. Os métodos mais correntes são os da microscopia óptica, da microscopia electrónica de varrimento e da difracção de raios-X.

3.1. Métodos de microscopia óptica e electrónica

Em investigação numismática, recorre-se à microscopia sobretudo com duas finalidades: para observar mais pormenorizadamente a superfície dos exemplares, bastando neste caso usar simplesmente um microscópio binocular de pequena ampliação; e para fazer a observação metalográfica da estrutura dos materiais constitutivos — fases presentes, grãos constituintes das diversas fases, tamanho dos grãos, limites de grão e proporções das fases —, o que exige a utilização de um microscópio óptico de grande ampliação, em geral de luz reflectida. No primeiro caso, os ensaios não são destrutivos. Mas no segundo já o são, uma vez que se torna indispensável fazer quer a recolha de uma amostra, na qual se prepara em seguida uma superfície plana e lisa que é depois polida cuidadosamente, quer a preparação de uma área aplanada e polida directamente na própria moeda a examinar. Deve notar-se, contudo, que, aplicando este segundo procedimento no bordo da maior parte das moedas, é possível obter a referida área sem originar nestas danos muito significativos do ponto de vista estético. Note-se, além disso, que os exames metalográficos também podem ser realizados, ou complementados, usando um microscópio electrónico de varrimento, vulgarmente conhecido por SEM*, o qual, se estiver equipado com um detector de silício, como acontece na maior parte deles, permite determinar ainda a composição química das diversas fases por intermédio do método da espectroscopia de raios-X.

Os exames metalográficos têm sido realizados por numerosos investigadores, seja para estudar em pormenor a estrutura das ligas de que são feitas as moedas, seja para distinguir moedas cunhadas, autênticas, de moedas fundidas, falsas — antigas ou modernas. Referências a exemplos da sua aplicação poderão ser encontradas num trabalho de revisão publicado por Oddy¹⁴. Normalmente, porém, estes exames não são considerados de grande interesse pela maioria dos numismatas, salvo quando permitem distinguir a cunhagem sem aquecimento prévio do *flan* da cunhagem com aquecimento, ou quando a detecção de inclusões de metais do grupo da platina, em moedas de ouro, pode dar alguma indicação sobre a origem deste metal.

Tais exames também têm sido realizados vantajosamente para obter informações sobre as técnicas de fabrico de moedas forradas, que, segundo uns, seriam falsificações da época ou, de acordo com outros, produtos genuínos de casas da moeda oficiais. A opinião preponderante, todavia, é a primeira. Alguns exemplos de aplicação neste domínio encontram-se do mesmo modo referidos por Oddy, no trabalho atrás citado¹⁴. Citação merecem ainda dois estudos sobre a tecnologia de moedas forradas de prata, efectuados posteriormente^{15,16}, o primeiro dos quais realizado de maneira inteiramente não-destrutiva.

* A sigla SEM deriva das iniciais das palavras *Scanning Electron Microscope*.

Tem interesse referir, por fim, um estudo sobre a tecnologia de moedas douradas, igualmente consideradas como falsificações¹⁷.

3.2. Métodos de difração de raios-X

Os microscópios, embora deixem pouca margem para dúvidas, não podem, naturalmente, fornecer uma prova directa do arranjo cristalino dos átomos nos materiais metálicos. Para a obtenção dessa prova, torna-se necessário recorrer a outros métodos, sobretudo aos de difração de raios-X. Assim, nos exames metalográficos, estes métodos são normalmente complementares dos de microscopia.

Embora se tivesse começado por concluir que a difração de raios-X não permitia distinguir se uma dada moeda teria sido cunhada ou fundida¹⁸, foi demonstrado mais tarde que tal conclusão era incorrecta¹⁹.

É interessante notar que os métodos de difração de raios-X também têm sido propostos para investigar a imagem subjacente a impressões duplas resultantes de recunhagens²⁰. No entanto, essas propostas nunca chegaram a ser comprovadas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como acabámos de ver, é grande o número de métodos físicos e químicos de análise que podem ser aplicados em investigação numismática, e muitas são também as questões que podem ser respondidas por seu intermédio. Nenhum, porém, é panaceia universal. Até para resolver o mesmo tipo de problemas, como por exemplo determinar a composição das ligas de que foram feitas as moedas, não é possível eleger nenhum dos métodos que têm sido utilizados com esse objectivo para o primeiro lugar de uma hipotética lista organizada por ordem de eficácia. Cada um deles apresenta vantagens e inconvenientes relativamente aos outros, na resolução de cada problema, cuja importância relativa varia de caso para caso de acordo com as circunstâncias inerentes ao problema em causa. Torna-se, portanto, indispensável que os numismatas definam com toda a clareza o que pretendem que seja investigado, para se poder fazer uma selecção conveniente do método a empregar na investigação. Deve notar-se, todavia, que para esta selecção contribui também significativamente o facto de haver, ou não, autorização dos proprietários das moedas para as submeter a operações susceptíveis de lhes provocar alguns danos, por mais pequenos que sejam.

É necessário, além disso, que se escolham com o máximo cuidado os exemplares que irão constituir a amostra que servirá de base à investigação. Com efeito, não poderão subsistir nenhuma dúvida sobre a autenticidade de tais exemplares e a sua identificação, quer do ponto de vista tipológico, quer de qualquer outro ponto de vista, designadamente o metroológico. Daí ser essencial que se faça previamente um estudo tipológico muito

cuidadoso, acompanhado de determinações do peso e, se possível, da composição química dos exemplares duvidosos.

É preciso, ainda, que a amostra seleccionada seja tanto quanto possível significativa do ponto de vista estatístico, o que torna forçoso determinar se o número de exemplares disponíveis para análise é suficiente. Doutra modo, nenhuma conclusão poderá merecer confiança.

Assim, é evidente que os numismatas, ao procurarem recorrer a estes métodos de análise, não devem tentar resolver todos os problemas envolvidos por si próprios e recorrer aos laboratórios de análise especializados para uma simples encomenda de serviços. É talvez por assim procederem que a aplicação de métodos físicos e químicos de análise em investigação numismática se tem mantido numa escala relativamente reduzida, em particular nos países da Península Ibérica.

Julgamos que a maneira mais adequada de encontrar uma solução para as dificuldades apontadas consiste na formação de grupos pluridisciplinares para realizar esta investigação, dos quais façam parte não só numismatas mas também especialistas de outras disciplinas nomeadamente investigadores de história monetária, físicos, químicos e metalurgistas. É o que já se fez em alguns países, sobretudo em França e no Reino Unido.

AGRADECIMENTOS

Ao Doutor Mário Gomes Marques agradeço a leitura do manuscrito e algumas sugestões que contribuíram para melhorar a qualidade pedagógica do texto.

BIBLIOGRAFIA

- 1 Cabral, J. M. P. — «Métodos não-destrutivos de análise química de moedas», *NVMMVS*, 2.^a S., VII/VIII, 1984 - 1985, pp. 7-35.
- 2 Cabral, J. M. P. — «Métodos físicos e químicos de análise no estudo da composição das ligas de que são feitas as moedas», *ANEJOS AEspA*, XIV, 1995, pp. 15-24.
- 3 Morrisson, C.; Barrandon, J. N.; Poirier, J. — «La monnaie d'or byzantine à Constantinople: purification et modes d'allitérations (491-1354)» in C. Morrisson *et al.* eds., *L'or monnayé. 1. Purification et Altérations de Rome à Byzance*, Cahiers Ernest-Babelon 2, Editions du C.N.R.S., Paris, 1985, pp. 113-170.
- 4 Barrandon, J. N.; Guerra, M. F.; Collin, B.; Le Roy Ladurie, E.; Morrisson, C. — «The diffusion of silver from Potosi in the XVI century European coinage» in E. Pernicka e G. A. Wagner, *Archaeometry '90*, Birkhäuser Verlag, Basel, 1991, pp. 11-18.
- 5 Callu, J. P.; Brenot, C.; Barrandon, J. N.; Poirier, J. — «Aureus obbryziacus», in *op. cit.* (v. nota 3), pp. 81-111.
- 6 Stos-Gale, Z. — «X-ray fluorescence and lead isotope analysis» in M. Price, E. Besly, D. MacDowall,

M. Jones e A. Oddy, eds., *A Survey of Numismatic Research 1978-1984, Vol. 2*, International Association of Professional Numismatists, Special Publication N° 9, London, 1986, pp. 978-1003.

7 Gale, N. H. — «Lead isotope analyses applied to provenance studies - A brief review» in Y. Maniatis, ed., *Archaeometry. Proceedings of the 25th symposium on archaeometry*, Elsevier, Amsterdam, 1989, pp. 469-502.

8 Sayre, E. V.; Yener, K. A.; Joel, E. C.; Barnes, I. L. — «Statistical evaluation of the presently accumulated lead isotope data from Anatolia and surrounding regions», *Archaeometry*, 34, 1992, pp. 73-105.

9 Gale, N. H.; Stos-Gale, Z. A.; Leese, M. N.; Pernicka, E.; Reedy, T. J.; Reedy, C. L.; Sayre, E. V.; Yener, K. A.; Joel, E. C. — «Evaluating lead isotope data: comments on E. V. Sayre, K. A. Yener, E. C. Joel and I. L. Barnes, 'Statistical evaluation of the presently accumulated lead isotope data from Anatolia and surrounding regions', *Archaeometry*, 34, 1992, pp. 73-105, and reply», *Archaeometry*, 34, 1992, pp. 311-336.

10 Budd, P.; Gale, D.; Pollard, A. M.; Thomas, R. G.; Williams, P. A. — «Evaluating lead isotope data: further observations», *Archaeometry*, 35, 1993, pp. 241-7.

11 Sayre, E. V.; Yener, K. A.; Joel, E. C.; Gale, N. H.; Stos-Gale, Z. A.; Pernicka, E.; Budd, P.; Gale, D.; Pollard, A. M.; Thomas, R. G.; Williams, P. A. — «Comments on P. Budd, D. Gale, A. M. Pollard, R. G. Thomas and P. A. Williams, 'Evaluating lead isotope data: further observations', *Archaeometry*, 35, 1993, and reply», *Archaeometry* 35, 1993, pp. 247-63.

12 Brill, R. H.; Shields, W. R. — «Lead isotopes in ancient coins» in E. T. Hall e D. Metcalf, eds., *Methods of Chemical and Metallurgical Investigation of Ancient Coinage*, Royal Numismatic Society, Special Publication N° 8, London, 1972, pp. 279-303.

13 Gale, N. H.; Gentner, W.; Wagner, G. A. — «Mineralogical and geographical silver sources of Archaic Greek coinage» in D. M. Metcalf e W. A. Oddy, eds., *Metallurgy in Numismatics, Vol 1*, The Royal Numismatic Society, Special Publication N° 13, London, 1980, pp. 3-49.

14 Oddy, W. A.; Hughes, M. J. — «The specific gravity method for the analysis of gold coins, in *op. cit* (v. nota 6), pp. 964-77.

15 Cabral, J. M. P.; Marinho, J. R. — «Non-destructive examination of four plated Almoravid qirats» in M. G. Marques e D. M. Metcalf, eds., *Problems of Medieval Coinage in the Iberian Area, 3.*, Sociedade Numismática Scalabitana e Instituto de Sintra, Santarém, 1988, pp. 175-186.

16 La Niece, S. — «Technology of silver-plated coin forgeries» in M. M. Archibald e M. R. Cowell, eds., *Metallurgy in Numismatics, Vol 3.*, Royal Numismatic Society, Special Publication N° 13, London, 1993.

17 Oddy, W. A.; Cowell, M. R. — «The technology of gilded coin forgeries», in *op. cit* (v. nota 16).

18 Page, R. — «The runic solidus of Schweindorf, Ostfriesland, and related runic solidi», *Medieval Archaeology*, 12, 1968, pp. 12-25.

19 Terry, K. W.; De Laeter, J. R. — «X-ray diffraction analysis of grain size as a method of detection of reproductions among seventeenth-century Spanish silver reales», *Num. Chron.*, 14, 1974, pp. 198-202.

20 Overbeck, B.; Born, E. — «Overstrikes on antique coins, possibilities of numismatic and historical evidence by scientific methods», *Archaeo-Physicka*, 10, 1979, pp. 247-52.





