

FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X APLICADA À ARQUEOMETRIA

C. Calza (*); M. José dos Anjos (**); A. Brancaglioni Jr. (***); S. Mendonça de Souza (***); T. Andrade Lima (***); R. Tadeu Lopes (*); (*) Laboratório de Instrumentação Nuclear – COPPE/UFRJ; (**) Instituto de Física – UERJ; (***) Museu Nacional – UFRJ.

Introdução

O desenvolvimento de métodos analíticos não-destrutivos na análise de obras de arte e objetos arqueológicos vem adquirindo crescente interesse, possibilitando a datação desses artefatos e ainda fornecendo informações acerca das técnicas utilizadas e do local de manufatura, permitindo estabelecer, desta forma, sua autenticidade, além de possibilitar uma avaliação de tratamentos de conservação e restauração.

A Fluorescência de Raios X encontra-se entre estes métodos, permitindo análises qualitativa e quantitativa multielementares de pigmentos (em manuscritos, pinturas, etc.), ligas metálicas e objetos cerâmicos. O presente trabalho relata aplicações desta técnica na área de arqueometria desenvolvidas pelo Laboratório de Instrumentação Nuclear (LIN) da COPPE/UFRJ.

Materiais e Métodos

O primeiro experimento trata da análise da composição elementar de pigmentos encontrados em pinturas decorativas na cartongem do sarcófago de uma múmia egípcia do Período Romano. A múmia em questão (n.158) trata-se de uma mulher bastante jovem e pertence à Coleção Egípcia do Museu Nacional do Rio de Janeiro, sendo considerada sua peça mais rara, em decorrência de seu embalsamamento com braços e pernas enfaixados separadamente.

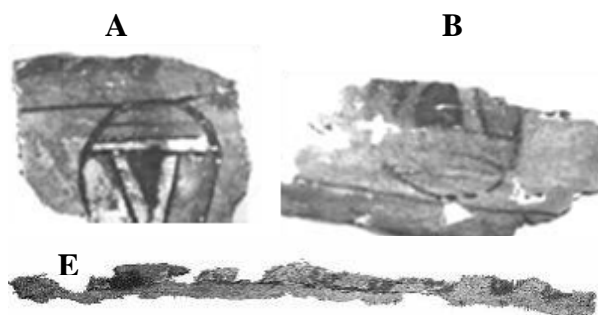


Fig.1. Fragmentos de cartongem (amostras A e B) e fragmento de linho do peitoral da múmia (E).

Alguns pigmentos naturais, minerais e orgânicos são conhecidos desde a antiguidade, enquanto outros se tratam de descobertas mais recentes. Portanto, sendo conhecidas a cronologia e a utilização da maioria dos pigmentos, pode-se estabelecer uma data aproximada de um artefato e das partes restauradas do mesmo, se existirem. Desta forma, o conhecimento de sua composição permite que um pigmento seja caracterizado em seus constituintes majoritários e minoritários, tornando possível estabelecer-se a

procedência, a idade, e, conseqüentemente, a autenticidade do artefato.

Fragmentos da cartongem do sarcófago (amostras A, B, C, D, F, H e I) foram comparados com um fragmento de linho do peitoral da múmia (amostra E), cuja autenticidade era comprovada, de forma a estabelecer se ambos apresentavam a mesma procedência; além disso, comparou-se a composição obtida para os pigmentos da cartongem com a daqueles utilizados pelos egípcios durante o Período Romano.

Utilizou-se a técnica de Microfluorescência de Raios X (μ XRF) e as análises foram realizadas na linha de XRF do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), utilizando feixe branco e um detector de Si(Li), com resolução de 165 eV. As amostras de cartongem e o fragmento de linho foram colocados num suporte de acrílico e movimentados através do feixe por meio de um sistema motorizado (nas direções XYZ), de forma que regiões específicas na superfície de cada amostra fossem irradiadas. Em cada região selecionada foi adquirido um espectro de XRF com tempo de 100 segundos. Todos os resultados obtidos nos estudos aqui apresentados foram analisados com auxílio do *software* QXAS-AXIL, da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA). Além disso, foram realizados testes de correlação de forma a verificar se as amostras apresentavam a mesma procedência.

No segundo experimento analisou-se a composição elementar de quatro fragmentos e duas tangas de cerâmica Marajoara, pertencentes ao acervo do Museu Nacional. Verificou-se ainda a procedência de um fragmento de tanga, amostra 22245 (fig.2), que apresentava diferentes padrões geométricos em relação às demais amostras.

A cerâmica Marajoara é considerada um dos mais belos e sofisticados estilos de arte Pré-Colombiana e suas técnicas decorativas exibem intrincados desenhos de formas geométricas, representando uma mitologia baseada na fauna local. Através de datações radiocarbônicas, o período de maior crescimento e expansão da cultura Marajoara foi situado entre os séculos V e XIV, e o seu desaparecimento nas primeiras décadas da dominação européia, motivado pelas doenças, guerras e pela missionização. Entretanto, devido à utilização da cerâmica nos rituais funerários, a arte Marajoara sobreviveu até os dias atuais. As tangas analisadas neste trabalho são peças cerâmicas triangulares e côncavas, decoradas com motivos geométricos, possuindo formato anatômico, com orifícios nas extremidades para ajuste da peça ao corpo, por meio de cordões. Provavelmente, eram usadas pelas meninas durante os rituais de puberdade (1).

Estudos de procedência de cerâmicas antigas baseiam-se na suposição de que objetos cerâmicos produzidos a partir de uma argila específica irão apresentar uma composição química similar, o que possibilitará distingui-los de objetos produzidos a partir de uma argila distinta. Em termos químicos, as argilas contêm elementos em diferentes proporções, sendo originadas a partir de diversos tipos de rochas (ígneas, vulcânicas ou metamórficas), gerando, portanto, diferentes composições químicas. Desta forma, pode-se associar uma cerâmica a um grupo de produção particular, que, por sua vez, está associado a uma determinada região. Os componentes de interesse no estudo da composição das cerâmicas, chamados de “caracterizantes”, são utilizados para identificar o material, assim como estabelecer sua procedência mais provável (2, 3, 4).

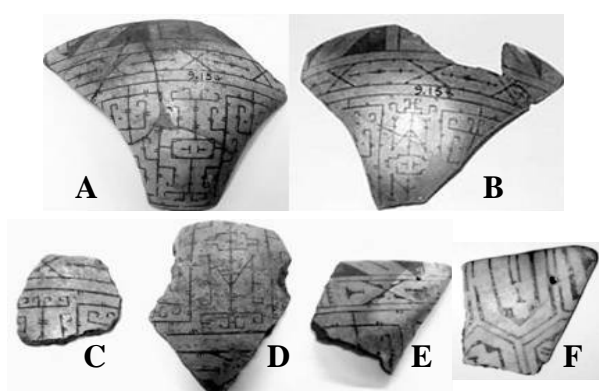


Fig. 2. Amostras de tangas de cerâmica Marajoara: (a) 9154, (b) 9158, (c) 22286, (d) 22284, (e) 22236 e (f) 22245.

As amostras (fig.2) foram analisadas através da técnica de Fluorescência de Raios X por Dispersão em Energia (EDXRF) no Laboratório de Instrumentação Nuclear. O sistema utilizado consiste num detector semiconductor de Si(Li) da ORTEC, com resolução de 180 eV, para detectar a radiação fluorescente, e um mini tubo de raios X com anodo de molibdênio (Mo), operando em 35 kV e 600 μ A. O ângulo do feixe de raios X incidente é de 16° e o detector é posicionado a um ângulo de 90° em relação à superfície da amostra.

As concentrações elementares foram calculadas utilizando-se o *software* WinIrrad, desenvolvido pelo LIN. A acurácia das medidas foi determinada através da análise de uma amostra de argila utilizada como padrão de referência. Esta amostra foi preparada no LIN com características de composição e espessura similares àquelas das tangas, contendo elementos específicos (Ni, Mn, Bi e Pb) em concentrações bem estabelecidas.

De forma a corroborar a caracterização das amostras, foi realizada a análise por Difração de Raios X. O sistema utilizado foi um difratômetro Shimadzu XRD 6000, tubo de raios X com anodo de Cu, operando a 40 kV e 30 mA, variando o ângulo de difração de 5 a 80°, passos de 0,02°/2 s.

Resultados

Análise dos pigmentos da cartonagem

Os elementos encontrados nas amostras de cartonagem e linho foram: Si, S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Hg e Pb. A partir da análise por XRF foram estabelecidos os possíveis pigmentos para cada cor e amostra estudadas, baseando-se nos elementos que apresentaram maiores concentrações em cada caso. Na tabela 1 são mostrados os elementos que apresentaram as maiores concentrações, os possíveis pigmentos e suas respectivas fórmulas químicas. Testes de correlação, realizados para os resultados obtidos, confirmaram que todas as amostras analisadas, à exceção da amostra F (que não pertencia à cartonagem), possuíam a mesma procedência do fragmento de linho do peitoral da múmia.

Tabela 1. Amostras de cartonagem analisadas, elementos que apresentaram maiores concentrações, possíveis pigmentos e respectivas fórmulas químicas.

Amostra	Cor	Elementos	Possíveis pigmentos	Fórmula química
A, B	rosa	Fe, Ca, As	vermelho ocre realgar	$Fe_2O_3 \cdot H_2O$ + argila + sílica. As_2S_3
	verde escuro	Ca, Cu, K, Fe	terra verde verdigris malaquita	$K[(Al^{III}, Fe^{III})(Fe^{II}, Mg^{II})]$, $(AlSi_3Si_4O_{10})(OH)_2$ $Cu(CH_3COO)_2 \cdot 2Cu(OH)_2$ $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$
	branco	Ca	giz gesso branco de osso	$CaCO_3$ $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ $Ca_3(PO_4)_2$
	negro	Ca	negro de marfim	$Ca_3(PO_4)_2 + C + MgSO_4$
C	verde escuro	Ca, Cu, K, Fe	terra verde verdigris malaquita	$K[(Al^{III}, Fe^{III})(Fe^{II}, Mg^{II})]$, $(AlSi_3Si_4O_{10})(OH)_2$ $Cu(CH_3COO)_2 \cdot 2Cu(OH)_2$ $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$
D, I	vermelho	Fe, Ca	vermelho ocre	$Fe_2O_3 \cdot H_2O$ + argila + sílica.
E	rosa	Fe, Ca, As	vermelho ocre realgar	$Fe_2O_3 \cdot H_2O$ + argila + sílica. As_2S_3
	marrom	Fe, Ca	ocre negro de marfim magnetita	$Fe_2O_3 \cdot H_2O$ + argila + sílica $Ca_3(PO_4)_2 + C + MgSO_4$ Fe_3O_4
H	turquesa	Cu, Fe, Ca, K	azul egípcio verde egípcio terra verde	$CaO \cdot CuO \cdot 4SiO_2$ $(Ca, Cu)_3Si_3O_9$ $K[(Al^{III}, Fe^{III})(Fe^{II}, Mg^{II})]$, $(AlSi_3Si_4O_{10})(OH)_2$

Pigmento vermelho

Os pigmentos vermelhos mais utilizados no Egito compreendiam dois tipos principais: óxido de ferro vermelho (hematita) e vermelho ocre (óxido de ferro hidratado, talvez goethita parcialmente desidratada), embora vermelho de chumbo (minium) e sulfeto de arsênio vermelho (realgar) também fossem utilizados (5). Óxidos de ferro ocorrem naturalmente no Egito de forma que, tanto o óxido anidro quanto o hidratado, podiam ser utilizados como pigmentos vermelhos sem a necessidade de nenhum tipo de tratamento por calor.

Nos pigmentos vermelhos das amostras de cartonagem D e I os elementos majoritários foram: Fe e

Ca. Este resultado indica o pigmento vermelho ocre. O uso de vermelho ocre entre os egípcios tem sido relatado por diversos autores (6, 7, 8, 9, 10).

Pigmento rosa

Nos pigmentos rosa das amostras A, B (fragmentos de cartongem) e E (fragmento de linho), os elementos que apresentaram maiores concentrações foram: Fe, Ca e As. As possibilidades, neste caso, são realgar (sulfeto de arsênio) e vermelho ocre (óxido de ferro). Este resultado sugere uma mistura de pigmentos vermelhos e brancos (gesso ou giz) assim como descrito por (5), (6) e (10).

Tabela 2. Concentrações elementares (em $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) obtidas para as amostras de tangas de cerâmica Marajoara.

	Amostras					
	#22236	#22245	#22284	#22286	#9154	#9158
K	7719 ± 439	9732 ± 1432	5514 ± 559	6497 ± 212	7181 ± 773	9508 ± 1823
Ca	1536 ± 224	2191 ± 451	1454 ± 149	1281 ± 183	1226 ± 155	1472 ± 377
Ti	1415 ± 96	1445 ± 67	978 ± 36	1159 ± 62	1576 ± 84	1642 ± 100
Mn	38 ± 4	48 ± 10	25 ± 3	27 ± 4	27 ± 5	60 ± 11
Fe	2910 ± 483	2863 ± 257	1387 ± 211	1860 ± 135	3193 ± 357	3457 ± 286
Cu	9 ± 2	10 ± 1	7 ± 1	8 ± 1	10 ± 1	11 ± 2
Zn	26 ± 4	20 ± 2	13 ± 2	20 ± 2	18 ± 2	29 ± 8
Ga	3 ± 1	4 ± 1	2 ± 0,4	2 ± 1	4 ± 1	4 ± 1
Rb	18 ± 2	16 ± 1	11 ± 2	14 ± 1	18 ± 2	21 ± 2
Sr	20 ± 3	24 ± 3	16 ± 3	17 ± 1	22 ± 3	25 ± 3
Y	17 ± 3	15 ± 3	12 ± 2	12 ± 1	12 ± 1	15 ± 2
Zr	89 ± 8	100 ± 15	61 ± 9	61 ± 6	74 ± 11	78 ± 12
Pb	80 ± 6	47 ± 9	48 ± 12	32 ± 2	83 ± 23	66 ± 20

Pigmento verde-escuro

Nos pigmentos verde-escuros das amostras A, B e C, os elementos Ca, Cu, K e Fe apresentaram as maiores concentrações, a presença de Fe e K sugere a possibilidade de terra verde (uma mistura de celadonita e glauconita) e, a presença de Cu, pode indicar os pigmentos verdigris ou malaquita. Neste caso, existem três possibilidades de pigmentos uma vez que a Fluorescência de Raios X não é capaz de determinar a composição química da amostra analisada, mas apenas a concentração elementar. A utilização de malaquita e verdigris em pigmentos verdes, no Antigo Egito, foi descrita por (8) e (9), respectivamente.

Pigmento turquesa

Por volta de 3000 a.C., os egípcios criaram o primeiro pigmento sintético produzido pelo homem – o azul egípcio ($\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$). Este pigmento foi largamente utilizado durante a Antiguidade e seu uso difundiu-se por todo o Mediterrâneo, desaparecendo após o século VII (7, 11, 12, 13). Pouco depois do azul egípcio, foi criado o verde egípcio, de composição semelhante, apresentando uma coloração turquesa e bastante utilizado em decorações de folhagens, que, por muito tempo foi confundido com o azul egípcio. Atualmente, sabe-se que o verde egípcio é caracterizado pela presença de parawollastonita (CuSiO_3) e sílica residual (12).

No pigmento turquesa da amostra H, os elementos que apresentaram as maiores concentrações foram: Cu, Fe, Ca e K. A presença de Cu e Ca sugere a possibilidade de azul ou verde egípcio. Por outro lado,

a presença de Fe e K sugere o pigmento terra verde. Em muitos casos pequenas quantidades de azul egípcio eram adicionadas para aumentar o brilho de outras cores, a mistura de azul egípcio com pigmentos verdes (celadonita e glauconita) foi relatada por (6) e (14).

Pigmento negro

No pigmento negro das amostras A e B, o elemento majoritário foi o cálcio. Tal resultado sugere a possibilidade de negro de marfim (fosfato de cálcio).

Pigmento marrom

No pigmento marrom do fragmento de linho (amostra E), os elementos que apresentaram maiores concentrações foram: Ca e Fe. As possibilidades envolvem pigmentos negros (como negro de marfim ou magnetita) e pigmentos vermelhos (como vermelho ocre). Neste caso, o pigmento marrom seria obtido através da mistura dos pigmentos vermelho e negro. Outra possibilidade seria o pigmento marrom ocre (óxido de ferro).

Pigmento branco

No pigmento branco das amostras A e B, o elemento majoritário foi o cálcio, e os possíveis pigmentos, neste caso, são: giz (carbonato de cálcio), gesso (sulfato de cálcio) ou branco de osso (fosfato de cálcio). Sabe-se que carbonato de cálcio, sulfato de cálcio e argila calcífera eram utilizados no Antigo Egito para pigmentos brancos, e existem relatos de carbonato de cálcio utilizado como pigmento em cerâmicas romanas (14).

Análise das tangas de cerâmica Marajoara

Os elementos identificados nos fragmentos e tangas de cerâmica Marajoara foram: K, Ca, Ti, Mn, Fe, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr e Pb. As maiores concentrações obtidas foram para os seguintes elementos: K, Ca, Fe e Ti (tabela 2). Eram esperadas altas concentrações de Al e Si, pelo fato da argila ser um aluminossilicato. Entretanto, devido às características da janela de Be do detector usado (espessura da janela: 0,254 mm) estes elementos não podem ser detectados. Todavia, na análise adicional por Difração de raios X, foram encontrados quartzo (SiO_2) e caolinita ($\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$), que contêm Al e Si.

Um estudo de fragmentos de cerâmica de populações indígenas pertencentes à tradição Tupi-Guarani, através de EDXRF, revelou a presença de: Al, Si, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y e Zr (15). No trabalho citado, Fe e Ti também exibem altas concentrações, entretanto, K e Ca apresentam concentrações relativamente mais baixas. Tais diferenças podem ser explicadas devido às diferenças na composição da argila das regiões estudadas.

A amostra 22245, um fragmento de tanga decorado com diferentes padrões geométricos, parecia apresentar uma procedência distinta das demais amostras. Entretanto, a análise do fragmento por EDXRF apresentou os mesmos elementos em concentrações bastante próximas às das outras amostras. Nas figuras 3 e 4 podem ser observados espectros de XRF das amostras 9154 e 22245, ficando evidente sua

similaridade. Testes de correlação aplicados às concentrações médias revelaram forte correlação entre todas as amostras, incluindo o fragmento 22245. A despeito destes resultados, que reforçariam a hipótese de mesma procedência para todas as amostras, aplicou-se estatística multivariada aos resultados, utilizando o Método dos Componentes Principais (PCA).

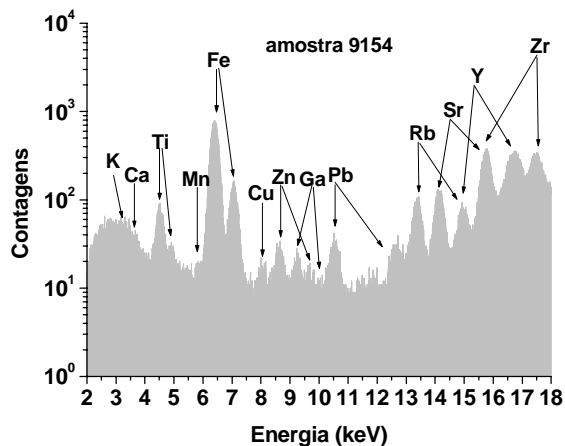


Fig.3. Espectro de XRF da amostra 9154.

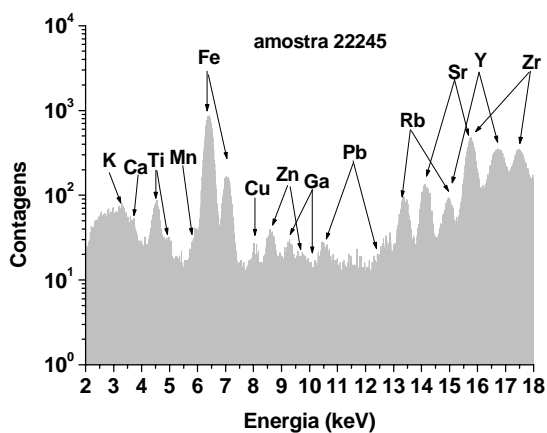


Fig.4. Espectro de XRF da amostra 22245.

A Análise por Componentes Principais é uma poderosa ferramenta de visualização, que possibilita a representação de conjuntos de dados multivariados em um novo sistema de referência, caracterizado por um número menor de variáveis ortogonais em relação ao conjunto original, chamado de componentes principais (PCs). Tal característica é especialmente importante quando se trabalha com espectros, porque ela permite visualizar e extrair importantes informações aparentemente ocultas.

O método PCA gera uma representação gráfica que permite a identificação de grupos de amostras que

apresentam comportamentos similares ou características distintas. A informação relativa ao conjunto de dados originais é resumida nos gráficos de *scores* e *loadings*. Observando-se o gráfico dos *loadings* é possível identificar as variáveis que são responsáveis pelas analogias ou diferenças detectadas, enquanto o gráfico dos *scores* fornece informações acerca das amostras (16, 17).

Neste trabalho, a Análise por Componentes Principais foi desenvolvida utilizando-se a média das contagens dos espectros de XRF obtidos para cada amostra. Observando-se os resultados mostrados na figura 5, pode-se concluir que as amostras encontram-se separadas em três grupos distintos. No primeiro grupo: amostras 22236, 9154 e 9158 (T3, T5 e T6, respectivamente), no segundo: 22284 e 22286 (T1 e T2), e, mais afastada das demais, no terceiro grupo, a amostra com diferentes padrões de desenho, 22245 (T4). Estes resultados estão de acordo com os padrões de Difração de Raios X obtidos para as amostras, que igualmente apresentam três grupos distintos, como observado na figura 6.

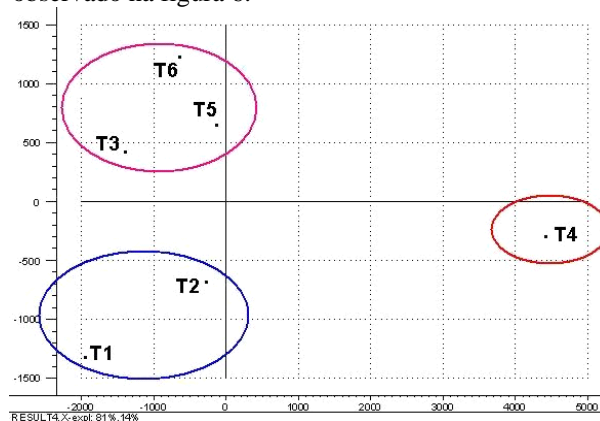


Fig.5. Gráfico dos *scores* para PC1 e PC2 mostrando as amostras separadas em três grupos.

Como o primeiro componente principal (PC1) incorpora 81% da variância observada (PC2 incorpora 14%), ele pode ser utilizado para representar o conjunto de variáveis estudadas. As principais variáveis que contribuem para esta variabilidade são a concentração de Cu (8,04 keV) e o espalhamento, na amostra, dos raios X característicos do Mo (constituente do anodo do tubo de raios X). Apesar do efeito de espalhamento ser considerado indesejável em medidas de XRF, a utilização dos espalhamentos Compton, Rayleigh e Raman como sinais de medida (após tratamento utilizando métodos de análise multivariada como PCA e HCA) vem sendo reportada em estudos recentes (17).

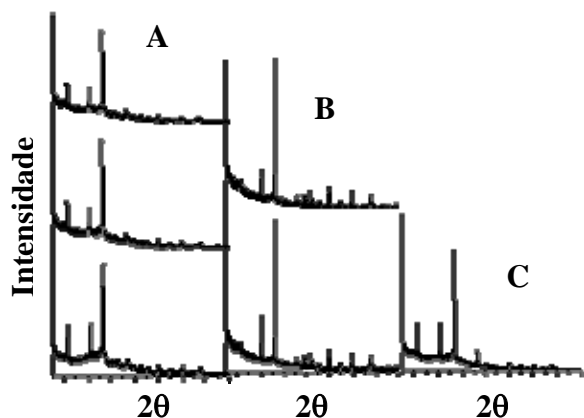


Fig.6. Padrões de XRD: (a) Grupo I: amostras 22236, 9154 e 9158. (b) Grupo II: amostras 22284 e 22286. (c) Grupo III: amostra 22245.

Conclusões

No estudo das pinturas decorativas na cartongem da múmia egípcia, concluiu-se, a partir das análises dos resultados obtidos por μ XRF, que os pigmentos utilizados neste caso correspondiam àqueles utilizados pelos egípcios durante o Período Romano. Entretanto, foi possível estabelecer-se apenas os pigmentos possíveis para cada amostra, uma vez que a Fluorescência de Raios X fornece a composição elementar e não a forma como os elementos encontram-se ligados (composição química). Para uma identificação mais precisa seria necessário utilizar-se uma técnica investigativa adicional, como a Difração de Raios X.

A composição elementar das tangas de cerâmica Marajoara foi caracterizada utilizando-se a técnica de EDXRF. Embora as análises qualitativa e quantitativa por XRF tenham indicado, a princípio, a mesma procedência para todas as amostras, a análise multivariada através de PCA demonstrou que as amostras encontram-se separadas em três grupos distintos.

Os casos abordados neste trabalho demonstram a versatilidade e a praticidade da técnica de Fluorescência de Raios X em arqueometria, além de enfatizar seu caráter não-destrutivo, o que é bastante importante quando se trabalha com objetos de valor histórico e/ou artístico.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio parcial das Agências de fomento CNPq e FAPERJ.

Referências

(1) Schaan, Denise P.; "A linguagem iconográfica da cerâmica Marajoara", 1996, 232 fls., M. Sc. Thesis, PUC-RS, Porto Alegre.

- (2) Tsolakidou, A.; Buxeda i Garrigós, J.; Kilikoglou, V.; *Analytica Chimica Acta*, **2002**, Vol. 474, pg. 177.
- (3) Barone, G.; Crupi, V.; Galli, S.; et al.; *Journal of Molecular Structure*, **2003**, Vol. 651-653, pg. 449.
- (4) Hein, A.; Day, P.M.; Cau Ontiveros, M.A.; et al.; *Applied Clay Science*, **2004**, Vol. 24, pg. 245.
- (5) Uda, M.; Tsunokami, T.; Murai, R.; et al.; *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, **1993**, Vol. 75, pg. 476.
- (6) Mazzochin, G.A.; Agnoli, F.; Mazzochin, S.; et al.; *Talanta*, **2003**, Vol. 61, pg. 565.
- (7) Uda, M.; Nakamura, M.; Yoshimura, S.; et al.; *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, **2002**, Vol. 189, pg. 382.
- (8) David, A.R.; Edwards, H.G.M.; Farwell, D.W.; et al.; *Archaeometry*, **2001**, Vol. 43, n. 4, pg. 461.
- (9) Olsson, A.M.B.; Calligaro, T.; Colinart, S.; et al.; *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, **2001**, Vol. 181, pg. 707.
- (10) Edwards, H.G.M.; Villar, S.J.; David, A.R.; et al.; *Analytica Chimica Acta*, **2004**, Vol. 503, pg. 223.
- (11) Mirti, P.; Appolonia, L.; Casoli, A.; et al.; *Spectrochimica Acta Part A*, **1995**, Vol. 51, n.3, pg. 437.
- (12) Pagès-Camagna, S.; Colinart, S.; *Archaeometry*, **2003**, Vol. 45, n. 4, pg. 637.
- (13) Mazzochin, G.A.; Rudello, D.; Bragato, C.; et al.; *Journal of Cultural Heritage*, **2004**, Vol. 5, pg. 129.
- (14) Mazzochin, G.A.; Agnoli, F.; Colpo, I.; *Analytica Chimica Acta*, **2003**, Vol. 478, pg. 147.
- (15) Appoloni, C.R.; Espinoza Quiñones, F.R.; Aragão, P.H.A.; et al.; *Radiation Physics and Chemistry*, **2001**, Vol. 61, pg.711.
- (16) Marengo, E.; Aceto, M.; et al.; *Analytica Chimica Acta*, **2005**, Vol. 537, pg. 359.
- (17) Bueno, M.I.M.S; Bortoleto, G.G.; et al.; *Analytica Chimica Acta*, **2005**, Vol. 539, pg. 283.

E-mails dos autores

ccalza@lin.ufrj.br (Cristiane Calza);
marcelin@lin.ufrj.br (Marcelino José dos Anjos);
ricardo@lin.ufrj.br (Ricardo Tadeu Lopes).