Métodos e técnicas de caracterização aplicadas ao estudo do patrimônio cultural: trabalhos desenvolvidos pelo LFNA-DFIS

Carlos Roberto Appoloni *, Paulo S. Parreira **, Fabio Lopes ***

Universidade Estadual de Londrina (UEL)
Laboratório de Física do Depto. de Física – CCE
Nuclear Aplicada (LFNA - DFIS / UEL)
www.fisica.uel.br/gfna

Resumo

O Laboratório de Física Nuclear Aplicada da Universidade Estadual de Londrina (LFNA/UEL) introduziu, em 1994, a arqueometria entre as suas principais linhas de pesquisas. Este trabalho é uma avaliação dessas atividades bem como da formação de recursos humanos até a presente data. Estas atividades podem ser divididas em quatro níveis:

1. Implementação de metodologias experimentais. Para cada método experimental utilizado, é necessário uma pesquisa na literatura sobre o estado da arte, implementação e experimentação e o conhecimento dos aplicativos necessários antes da aplicação real dessas metodologias.

2. Pesquisa básica relacionada. A física envolvida nas aplicações de arqueometria conduzem à necessidade do desenvolvimento de pesquisas básicas interessantes, as quais também resultam em publicações, disponíveis no site do LFNA: www.fisica.br/gfna

3. Trabalhos com materiais específicos. Entre as diversas análises realizadas, deve-se mencionar: cerâmicas do sítio arqueológico Tupi Guarani Fazenda Sta. Dalmácia, PR; dois sítios arqueológicos na Floresta Amazônica; peças da coleção do MAE/USP; pinturas murais na Igreja da Paróquia Imaculada Conceição, SP; moedas e outras peças da coleção do MHN/RJ; obsidianas do Equador, etc.

4. Desenvolvimento de Recursos Humanos. Neste item temos dois componentes: orientação de estudantes de Iniciação Científica, Mestrado e Doutorado em metodologias atômico-nucleares aplicadas à arqueometria, e um curso de técnicas nucleares não destrutivas, desde 1997, na caracterização de materiais

arqueológicos e de arte, destinado a arqueólogos e conservadores. Houve também a implementação de uma infra-estrutura com “softwares” e desenvolvimentos básicos de sistemas experimentais direcionados para estudos arqueométricos.

Palavras-chave: Raios X. Raios gama. Herança cultural.

Introdução

A Arqueometria é uma área estabelecida desde os anos 60, com ampla utilização de métodos atômico-nucleares na caracterização de objetos de arte, arqueológicos e de patrimônio cultural em geral. No Brasil, no entanto, até o início dos anos 90, empregando métodos da Física, estava implementada apenas a área de datação arqueológica, em especial envolvendo a técnica de termoluminescência. Em 1992, um dos membros do LFNA se envolveu com as possibilidades da tomografia na arqueometria (APPOLONI; CESAREO, 1992), assim como com a técnica de EDXRF na análise de bronzes antigos. Dessa forma, face à potencialidade da área no Brasil, à riqueza de possibilidades de aplicações, assim como o desafio científico e a beleza intrínseca destes trabalhos inter e multidisciplinares envolvendo arte e ciência, o Laboratório de Física Nuclear Aplicada da Universidade Estadual de Londrina (LFNA/UEL) introduziu, pioneiramente em 1994, a Arqueometria e temas correlatos entre suas linhas prioritárias de pesquisa. A primeira pesquisa foi o estudo de uma seleção de fragmentos de cerâmica arqueológica da coleção do Museu Histórico da UEL por EDXRF (fluorescência de raios X por dispersão em energia), RBS (retroespalhamento Rutherford) e GT (transmissão de raios gama) (APPOLONI, C. R. et al, 1994).O presente trabalho visa apresentar um painel dessas atividades de pesquisa e formação de recursos humanos até o momento.

Materiais e métodos

As atividades da linha de pesquisa em Arqueometria no LFNA podem ser divididas nos seis níveis, detalhados a seguir.

a) Estudo e implementação de metodologias experimentais

Para cada um dos métodos experimentais utilizados se faz necessário seu estudo, levantamento do “estado da arte” na literatura, implementação e experimentação, e

domínio dos softwares envolvidos, antes de sua efetiva aplicação. Além disso, também é preciso, além da compra criteriosa dos equipamentos, projetar e confeccionar sistemas especiais para a montagem e posicionamento de detectores, fontes radioativas, tubos de raios X, etc. As metodologias correntemente empregadas no LFNA para estes trabalhos são: Fluorescência de Raios X por Dispersão em Energia (EDXRF) e a Transmissão de Raios Gama (GRT). A EDXRF permite a medida da composição química elementar das amostras. A GRT permite realizar medidas de densitometria e porosidade das amostras. Nas Figuras 1 e 2 podemos ver os sistemas de EDXRF portátil, projetados e montados no LFNA/UEL, respectivamente para uso com fonte radioativa e tubo de raios X. Na figura 3 podemos ver a mesa micrométrica automatizada para as medidas com a metodologia de GRT com fonte de ^{241}Am.

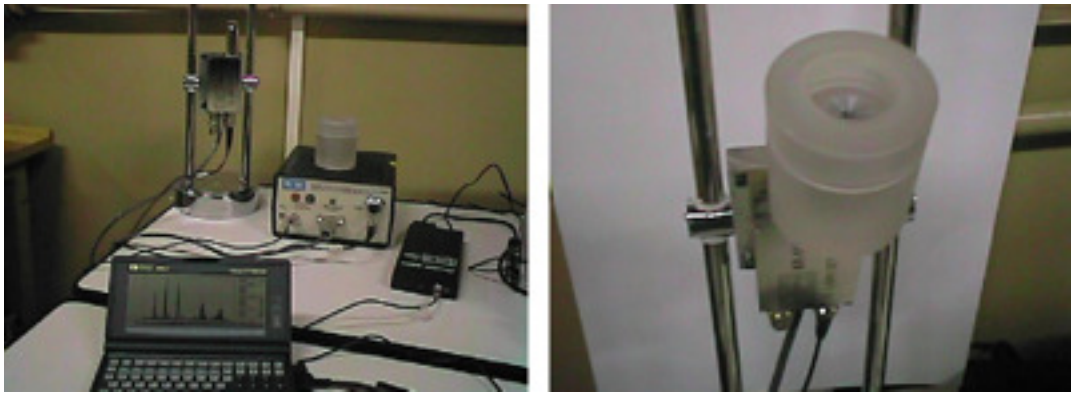

FIGURA 1 - Sistema portátil de EDXRF com detector não-criogênico de Si-PIN para uso com fonte radioativa anelar de ^{238}Pu. No detalhe o sistema de excitação montado no detector.

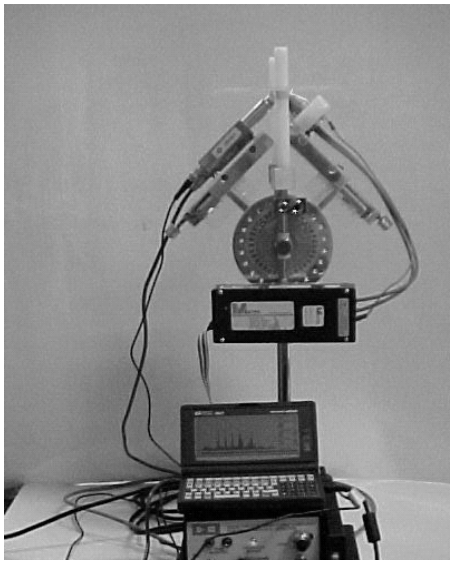

FIGURA 2 - O sistema portátil de EDXRF com detector não-criogênico de Si-PIN para uso com mini tubo de raios X com anodo de Ag.

FIGURA 3 - Mesa de transmissão de raios gama com fonte de ^{241}Am, com movimentação XZ micrométrica da amostra e sistema automatizado de tomada de dados.

b) Pesquisas básicas correlatas

Os problemas de física envolvidos nas aplicações arqueométricas também levam a temas de pesquisas básicas específicas, que também precisam ser desenvolvidas. Por exemplo, para realizar a densitometria de cerâmicas arqueológicas, devido à irregularidade de espessura das amostras, foi necessário desenvolver o método dos dois meios para a determinação do coeficiente de atenuação linear de raios gama da cerâmica, sem necessitar do conhecimento da espessura da amostra (CUNHA DA SILVA; APPOLONI, 2000).

c) Trabalhos com materiais específicos

Dentre os vários trabalhos realizados podemos listar: cerâmicas do sítio arqueológico Tupi Guarani Fazenda Sta. Dalmácia, PR (APPOLONI, C. R. et al, 1997); dois sítios arqueológicos na Amazônia; objetos do acervo do MAE/USP; cerâmicas arqueológicas do Museu Emílio Goeldi; estudo da composição química elementar dos pigmentos de uma pintura atribuída a Thomas Gainsborough (século XVIII); e pinturas murais da Igreja da Paróquia Imaculada Conceição, SP. Aqui incluem-se tanto medidas realizadas no próprio LFNA, como experimentos em colaboração, realizados em outros laboratórios, tais como: de EDXRF com detector de Si(Li) no LIN/CENA/USP; de micro EDXRF no Laboratório Nacional de Luz Sincrotron; de Retroespalhamento Rutherford no Laboratório Pelletron e, mais tarde, no LAMFI, do Instituto de Física da USP; de Emissão Estimulada de Raios X por Partículas (PIXE) no já citado LAMFI; entre outras. O primeiro trabalho *in situ* realizado com o sistema portátil de EDXRF, com fonte de ^{232}Pu, foi realizado em abril de 2003 no Laboratório de Conservação do MAE/USP. Foram analisadas as seguintes peças: dois braceletes afro-brasileiros; cinco pulseiras africanas; um adorno africano; três Edans masculinos (estatuetas etnológicas, Nigéria, África,

início do séc. XX, Sociedade Secreta Ogboni, Grupo Cultural Ilobu-Ioruba); um conjunto chamado de "Procissão real africana" (Nigéria, África), constituído de 33 figuras; uma escultura de madeira policromada de "Santa Luzia" (8 áreas medidas); uma urna marajoara; cerâmicas Matogrosso, Guarita, Açutuba; um ornamento metálico peitoral Peruano. Na Figura 4 apresentamos uma curva de calibração de concentração de Mo versus contagens, realizada com padrões de referência de aço contendo Fe, Cr, Mo, V e W, com o sistema portátil usando fonte de ^{238}Pu. Na Tabela 1 podemos ver o bom resultado de validação da metodologia com padrões de aço, onde os desvios nas medidas informadas são de cerca de 10%.

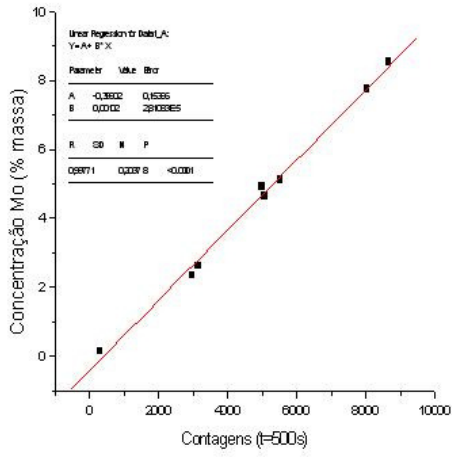

FIGURA 4 - Correlação entre contagens e quantidade de Mo nos padrões de aço medidos por EDXRF portátil.

Tabela 1. Resultados para padrões de referência de aço com EDXRF portátil com fonte de ^{232}Pu.

ELEMENTO	PADRÃO 1			PADRÃO 2		
	Valores certificados (%)		Determinado EDXRF (%)	Valores certificados (%)		Determinado EDXRF (%)
	CD[1]	ED[2]		CD[1]	ED[2]	
Fe	84,33	83,47	84,77	78,80	79,92	80,06
Mo	4,65	4,68	5,14	0,26	0,34	0,23
W	6,33	5,77	6,12	18,34	14,27	16,17
V	2,11	2,00	1,57	1,15	0,99	1,23
Cr	4,10	4,08	3,51	4,51	4,50	3,32

[1] CD – dissolução convencional

[2] ED – dissolução eletrolítica

Na Figura 5 vemos o Edan A na situação de medida. Na Figura 6 apresentamos uma foto do Edan A e suas regiões de corrosão, obtidas por lupa estereoscópica. Nas Figuras 7 e 8 apresentamos os espectros de Raios X de duas regiões do Edan A, respectivamente uma da região normal da liga e outra com corrosão cinza. Na Tabela 2 estão os resultados das concentrações medidas para os elementos em três regiões do Edan A.

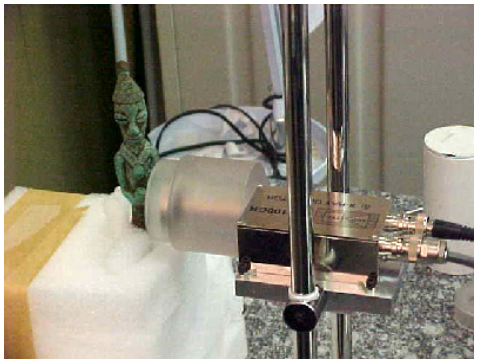

FIGURA 5 - Medida do Edan A EDXRF portátil.

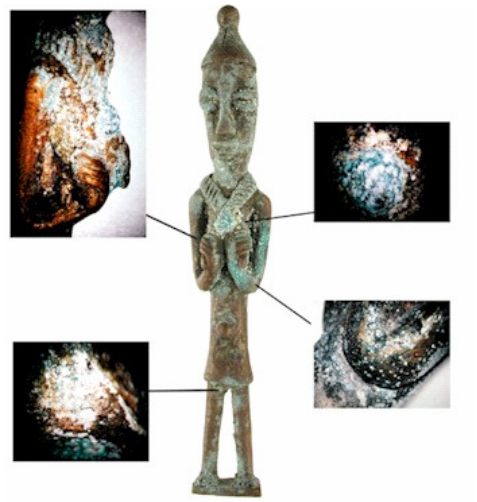

FIGURA 6 - Foto do Edan A e detalhe de quatro regiões, obtidas por lupa estereoscópica.

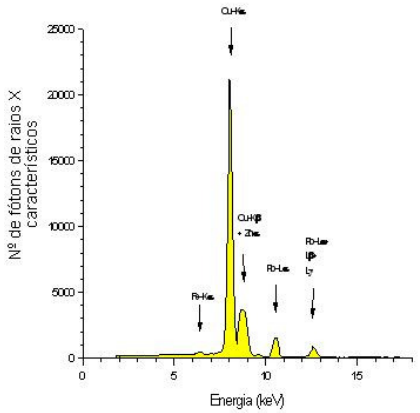

FIGURA 7 - Espectro de Raios X de uma região sem corrosão do Edan A.

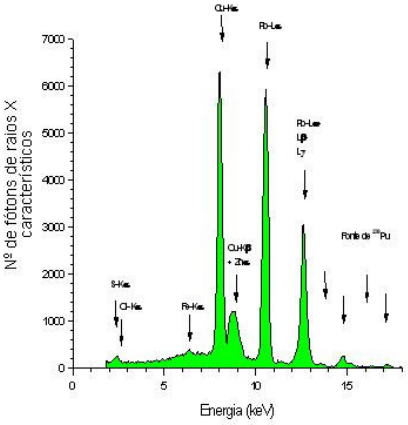

FIGURA 8 - Espectro de Raios X de uma região com corrosão cinza Edan A.

Tabela 2. Concentrações medidas para os elementos em três regiões do Edan A, com EDXRF portátil com fonte de 232Pu.

ÁREA INVESTIGADA	Cu %	Zn %	Mn %	Fe %	Co %	Ni %
Corrosão cinza	86,2	11,1	0,37	1,16	0,51	0,65
normal	86,2	11,8	0	0,79	0,20	1,05
Corrosão rosa pastel	85,7	12,2	0	0,70	0,23	1,20

Na Figura 9 apresentamos uma foto do detalhe do arranjo experimental da medida do conjunto “Procissão real africana” (Benin, Nigéria, África), Grupo Cultural Fon, Séc. XIX-XX, constituído de 33 figuras fixadas em base de madeira, onde foram medidas as concentrações dos elementos em oito áreas diferentes.

FIGURA 9 - Detalhe da medida do conjunto “Procissão real africana”.

As análises realizadas por EDRXF portátil permitiram identificar os componentes principais e secundários das ligas-base e dos diferentes produtos de corrosão, de modo não-destrutivo. Na figura 10 está um detalhe do arranjo experimental utilizado num conjunto de medidas realizadas no MAE, em outubro de 2005, em que foram estudadas as concentrações elementares nos pigmentos de cinco estátuas de madeira policromada, com o sistema portátil de EDXRF empregando tubo de Raios X.

FIGURA 10 - O sistema portátil de EDXRF posicionado para a medida de uma escultura em madeira policromada, no Laboratório de Conservação do MAE/USP.

d) Formação de Recursos Humanos

Neste item incluem-se duas frentes: Orientação de alunos de IC, Mestrado e Doutorado em metodologias atômico-nucleares aplicadas à arqueometria e áreas correlatas (BLONSK, 2006; DA COSTA, 2005) e um curso de técnicas nucleares não-destrutivas para a caracterização de materiais arqueológicos e de arte, ministrado para arqueólogos e conservadores desde 1997 (no Museu de Arqueologia e Etnologia da USP, São Paulo, em 1997, 2001 e 2006; na programação da Reunião Anual da Sociedade de Arqueologia Brasileira de 2001 e na VIII Semana da Física / UEL, em 2003).

e) Colaborações Científicas

Dado o caráter trans e multidisciplinar desta área de pesquisa, é fundamental a colaboração científica tanto com outros grupos de física aplicada como com os grupos ou pessoas que detêm os objetos a serem analisados. A construção de uma linguagem comum entre físicos e arqueólogos, conservadores e outros profissionais envolvidos nesta área é um trabalho de contínuo aprendizado mútuo e condição necessária para o sucesso dos projetos. Os principais grupos / entidades / pessoas com os quais o LFNA manteve ou desenvolve atualmente colaboração nesta área são: Setor de Arqueologia do Museu Paranaense; Museu de Arqueologia e Etnologia

(MAE) da USP; Laboratório de Eletroquímica e Corrosão da Escola Politécnica da USP; Laboratório de Espectroscopia Molecular, Instituto de Química/USP; Laboratório de Ciências da Conservação (LACICOR), CECOR/EBA/UFMG; Agência de Estudos e Restauro do Patrimônio (AERPA), Recife, PE; Grupo de Física Aplicada com Aceleradores, Instituto de Física/USP; Laboratório de Instrumentação Nuclear, COPPE, UFRJ; MRizzo Restaurações - Laboratório de Conservação e Restauração de Bens Culturais Ltda.; Dr. Roberto Cesareo, Departamento de Física, Universidade de Sassari, Itália; Dra. Conceição Lage, Departamento de Química, Universidade Federal do Piauí; Dr. Virgilio Franco do Nascimento Filho, Laboratório de Instrumentação Nuclear, LIN/CENA/USP.

Resultados

Implementou-se uma infraestrutura de softwares, desenvolvimentos básicos e sistemas experimentais dedicados a estudos arqueométricos, com destaque para um sistema portátil de EDXRF. A produção científica (artigos, trabalhos em congressos e publicações técnicas) e de formação de recursos humanos nesta área está disponível no site do LFNA: www.fisica.uel.br/gfna

Conclusões

A quantidade e qualidade dos trabalhos realizados, assim como o sempre crescente número de colaborações científicas com arqueólogos e conservadores de várias partes do país, demonstraram o acerto no desenvolvimento desta linha de pesquisa no LFNA, o que, inclusive, ao longo do tempo, tem estimulado outros grupos de física experimental a entrar nesta estimulante área, multi e transdisciplinar por excelência (APPOLONI, 1999).

Referências Bibliográficas

APPOLONI, Carlos Roberto. Arqueometria e Metodologias Nucleares: [Conferência n. 12]. In: REUNIÃO DE TRABALHO SOBRE FÍSICA NUCLEAR NO BRASIL, 22., 1999; São Lourenço, MG. *Programa e Resumos...*[S.n.t.].

APPOLONI, Carlos Roberto; CESAREO, Roberto. The impact of X and gamma ray tomography in the field of archaeometry. In: CONFERENZA INTERNAZIONALE SULLE PROVE NON DESTRUTIVE PER LO STUDIO DELLE OPERE D´ARTE, 2., 1992, Viterbo, Itália. *Anais...*

APPOLONI, Carlos Roberto et al. A gamma ray study of indian ceramics from southern Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NON-DESTRUCTIVE TESTING OF WORKS OF ART, 4., 1994, Berlim, Alemanha. *Conference Records...* [S.l.], 1994. p. 400-407. v. 1.

APPOLONI, Carlos Roberto et al. Estudo de cerâmica arqueológica do Paraná por técnicas nucleares não destrutivas. *Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia,* São Paulo, Suplemento 2, p. 135-149, *1997*.

BLONSK, Maria Sélia. *Estudo da composição elementar e disposição física de pigmentos em estátuas de madeira policromada usando um sistema portátil de EDXRF*, 2006. Tese de Doutorado em andamento. Orientador: C. R. Appoloni, Departamento de Física da Universidade Estadual de Londrina.

CUNHA DA SILVA, Richard Maximiliano; APPOLONI, Carlos Roberto. Two Means Method of Gamma Ray Attenuation Coefficient Determination of Irregular Sample. *Applied Radiation and Isotopes*, [s.l.]*,* v. 53, n. 6, p. 1011-1016, 2000.

DA COSTA, Elizabeth Cristina Soares. M*edidas semi-quantitativas e quantitativas por EDXRF da composição química elementar de pigmentos em madeira policromada.* Dissertação (Mestrado)-Departamento de Física da Universidade Estadual de Londrina, 2005. Orientador: C. R. Appoloni.

* É doutor em Física Nuclear pela Universidade de São Paulo (1983) com Pós-Doutorado em Física Nuclear Aplicada pela Universitá di Roma La Sapienza (1993). É docente da Universidade Estadual de Londrina (UEL) e coordenador do Laboratório de Física Nuclear Aplicada desta universidade.
e-mail : appoloni@uel.br

** Doutor em Ciências (Energia Nuclear na Agricultura) pelo Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Brasil e Físico do Laboratório de Física Nuclear Aplicada da Universidade Estadual de Londrina (UEL).
e-mail: parreira@uel.br

*** Mestre em Ciências (Energia Nuclear na Agricultura) pela Universidade de São Paulo, USP, Brasil e Físico do Laboratório de Física Nuclear Aplicada da Universidade Estadual de Londrina (UEL)
e-mail: bonn@uel.br

Os autores agradecem ao LIN/CENA/USP, Piracicaba, SP, pela cessão da fonte de ^{238}Pu e padrões de aço, empregados em vários trabalhos.
À Oficina Mecânica do Departamento de Física da UEL pela confecção dos vários sistemas empregados no LFNA.
Aos órgãos de fomento CNPq, CAPES e Fundação Araucária (PR), pelos auxílios financeiros e bolsas recebidas.
Aos estudantes de Iniciação Científica, Mestrado e Doutorado do Depto. de Física da UEL que, ao longo dos anos, participaram dos projetos de pesquisa do LFNA relatados neste trabalho.
Aos membros dos grupos citados neste artigo com os quais mantemos colaboração científica.