

LABORATÓRIO ABERTO DE FÍSICA NUCLEAR PAC 2018

Proposal	N°
Title: Full Field PIXE - implementação e exploração da técnica e sua aplicabilidade usando detector à gás.	
Responsable: Hellen Santos	e-mail: hsantos@if.usp.br
Participants Hellen C. Santos, Nemitala Added, Vitor A. P. Aguiar, Geovane Grossi, Hugo Luz, Nilberto H. Medina, Tiago Fiorini da Silva, Manfredo Harri Tabacnick.	
Spokeperson: Hellen Santos	e-mail: hsantos@if.usp.br
Telephone: 3091-7139	Skype:
Number of days for experiment: 5	
Period planned for the experiment (are the setup ready for beam time?): Agosto 2019	

Technical information

Ion source			Accelerator			Experimental Area	
Beam	Cathode	$I_{\text{mínima}}$	V_{min}	V_{max}	Bunched beam?	Beam line	Target
1H	H ₂ Ti	300nA	4	6	NÃO	0	197Au

Other relevant/needed information:

Full Field PIXE - implementação e exploração da técnica e sua aplicabilidade usando detector à gás.

Hellen C. Santos, Nemitala Added, Vitor A. P. Aguiar, Geovane Grossi, Hugo Luz, Nilberto H. Medina, Tiago Fiorini da Silva, Manfredo Harri Tabacnick.

Instituto de Física da Universidade de São Paulo

1 Introdução

As técnicas de espectroscopia são particularmente indicadas para a caracterização de bens culturais e material arqueológico. Neste contexto, a técnica PIXE (*Particle Induced X-rays Emission*) vem sendo utilizada por mais de três décadas [1-3] em aplicações diversas como por exemplo estudos atmosféricos que envolvam a medida de aerossóis, estudos geológicos e biológicos, etc. Nos últimos anos, sua aplicação tem sido muito disseminada nas áreas de arqueologia e bens culturais, por se tratar de uma técnica não invasiva e alta capacidade analítica [4-6]. No cenário atual, há um esforço dentre a maioria das técnicas analíticas em desenvolver capacidade de produzir mapas elementares que permitem arguir sobre o aspecto heterogêneo das amostras estudadas [7-10]. A determinação da distribuição espacial da espécie química que compõe objetos antigos é de grande interesse científico, pois resulta no aprofundamento do conhecimento da matéria prima utilizada, da tecnologia de fabricação empregada, além de revelar o estado de conservação do objeto sob análise.

A técnica PIXE foi uma das pioneiras no mapeamento de amostras usando prótons como feixe primário. A partir do momento que se pôde produzir um feixe focado em poucos microns, foi possível mapear amostras planas, ponto a ponto, variando a posição do feixe na amostra. No entanto, é necessário que se tenha uma linha de feixe dedicada, o que muitas vezes não é viável pelo custo altíssimo tanto para construir quanto para mantê-la, devido ao seu alto grau de complexidade. A ideia de fazer uma imagem iluminando um campo maior da amostra, sem a necessidade de fazer um mapeamento ponto a ponto, é uma alternativa que tem sido adotada por alguns grupos de pesquisas e é conhecida por Full Field PIXE ou sua versão com raios X, Full Field XRF (X-rays Fluorescence)[11-12].

2 Funcionamento da técnica

O *full field* funciona como uma câmara escura para luz visível. O feixe primário (prótons ou raios X) ilumina uma porção grande da superfície da amostra (parâmetro dependente da óptica do acelerador ou do tubo de raios X). A fluorescência de raios X induzida na amostra é detectada segundo sua posição e energia através de um colimador pinhole (uma espécie de disco que permite modificar a magnitude da área sensível do detector) ou uma óptica policapilar, colocada entre a amostra e o detector. Desta maneira o mapa de resolução espacial dos elementos da amostra pode ser obtido no plano do detector.

Podemos elencar algumas vantagens em se usar o FF-PIXE com respeito à técnica de escaneamento convencional micro-PIXE:

1. Não é necessário operar em uma linha dedicada que permita focar o feixe a níveis de poucos microns.

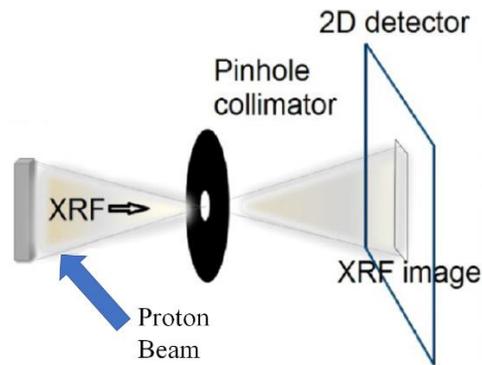


Figura 1: Desenho esquemático do princípio de funcionamento da técnica FF-PIXE.

2. O feixe e a amostra permanecem fixos durante a irradiação.
3. Não é necessário refocalizar o feixe no caso de amostra não planas (a profundidade de campo do FF-PIXE é bem ampla).
4. A imagem elementar é obtida de uma só vez, podendo ser visualizada imediatamente após pouco tempo de medida. O mapa elementar no plano do detector será obtido por análise de um único espectro (espectro integral), selecionando a linha de fluorescência correspondente a cada elemento da amostra.

O tempo de medida para que se tenha uma boa estatística depende muito do tipo de amostra analisada. A limitação da técnica está na eficiência de detecção, considerando que o sistema está em ar e que a seção de choque de produção de raios X para prótons em torno de 3 MeV de energia é maior para elementos com $Z > 13$.

2.1 GEMs

Gas Electron Multiplier (GEM) são os detectores proporcionais gasosos que vão fazer parte da nova TPC (*Time Projection Chamber*) do experimento ALICE [13]. Esses detectores fazem parte da nova geração de detectores proporcionais, substituindo as antigas MWPC (*Multi-Wire Proportional Chambers*) e são capazes de realizar medidas com uma taxa de eventos 50kHz, uma taxa de aquisição cerca de 50x maior do que a atual.

Utilizando um read-out segmentado e uma cadeia resistiva, é possível obter informação sobre a posição de interação de um fóton ou partícula carregada que entra no detector. Devido a esses fatores, uma justa resolução em energia, ganho, o tamanho da área de detecção e baixo custo, os GEMs estão sendo utilizados em experimentos de mais baixa energia, como medida de fluorescência de raios X aplicada ao estudo e caracterização de pigmentos empregados em objeto do bem cultural [14-15].

Nossos testes indicaram uma resolução em posição e em energia de 1.2 mm (FWHM) e 6.49% (σ), respectivamente, para o detector GEM montado no IFUSP, ambos na faixa de energia dos 5.9keV (em modo de transmissão).

3 Objetivo da proposta de pedido de utilização acelerador

A proposta apresenta um aspecto inovativo que é a aplicação da técnica Full Field PIXE utilizando como método de detecção um detector GEM. O principal objetivo da nossa proposta é a diversificação do uso do acelerador, expandindo sua utilização na área de física

aplicada, afim de um melhor aproveitamento do potencial de aplicação da nova linha 0°, recentemente implementada.

As características da linha 0°, como degradação do feixe em energia, abertura do feixe por espalhamentos múltiplos, campo de iluminação homogêneo e extração do feixe em atmosfera, preenchem os requisitos experimentais da nossa proposta. Nesse experimento pretendemos utilizar, preferivelmente, uma tensão em torno de 4-6MV e 30-50nA de prótons na amostra. Para chegar na energia de 3MeV na amostra, devemos degradar o feixe o fazendo passar por alvos grossos, e para isso, a linha 0° conta com dois porta alvos localizados nas câmaras posicionadas em 10 e 12 (figura 2), além da janela de extração do feixe em 16. O uso desses alvos e da janela de extração do feixe em ar resulta não só na perda de energia como também da abertura (stragglings lateral) do feixe, necessária para a iluminação de uma área grande na amostra. A dispersão em energia não será um problema dado que o método é qualitativo. A detecção dos fótons resultantes da interação do feixe com a amostra, raios X característicos, serão reveladas pelo GEM, acoplado-se um colimador *pinhole*, e é esta projeção que permite a reconstrução offline da imagem da distribuição elementar da amostra.

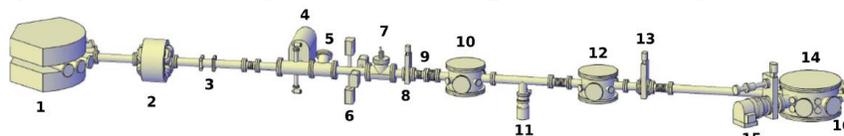


Figura 2: Desenho do projeto simplificados da linha 0° do acelerador Pelletron (desenho de J.C. Terassi)

Solicitamos 10 dias de máquina para testar as condições de irradiação, comportamento do detector e medidas de algumas amostras.

REFERÊNCIAS

- [1] Murao, S., Sie, S.H., PIXE (Particle/Proton Induced X-ray Emission): A Powerful Quantitative Tool for Mineral Exploration, (1997) 47 (1), pp. 21-28.
- [2] van der Ent, A., Przybyłowicz, W.J., de Jonge, M.D., Harris, H.H., Ryan, C.G., Tylko, G., Paterson, D.J., Barnabas, A.D., Kopittke, P.M., Mesjasz-Przybyłowicz, J., X-ray elemental mapping techniques for elucidating the ecophysiology of hyperaccumulator plants (2018) 218 (2), pp. 432-452.
- [3] Cichoński, T., Heck, D., Jarczyk, L., Rokita, E., Strzałkowski, A., Sych, M., Elemental composition of the human atherosclerotic artery wall (1985) 83 (1), pp. 87-92.
- [4] J.C. Dran, J. Salomon, T. Calligaro, P. Walter, Ion beam analysis of art works: 14 years of use in the Louvre, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B 219-220 (2004) 7-15.
- [5] P.A. Mandò, Nuclear Physics and Archaeometry, Nucl. Phys. A 751 (2005) 393-408.
- [6] Hellen C. Santos, Nemitala Added, Tiago F. Silva, C.L. Rodrigues, External-RBS, PIXE and NRA analysis for ancient swords, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, Volume 345, 2015, Pages 42-47.
- [7] Janssens, K., Van Der Snickt, G., Alfeld, M., Noble, P., van Loon, A., Delaney, J., Conover, D., Zeibel, J., Dik, J. Rembrandt's 'Saul and David' (c. 1652): Use of multiple types of smalt evidenced by means of non-destructive imaging (2016) *Microchemical Journal*, 126, pp. 515-523.
- [8] Romano, Francesco Paolo ; Caliri, Claudia ; Nicotra, Paolo ; Dimartino, Sandra ; Pappalardo, Lighea ; Rizzo, Francesca ; Santos, Hellen Cristine . Real-time elemental imaging of large dimension paintings with a novel mobile macro X-Ray Fluorescence (MA-XRF) scanning technique. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry (Print)* v. 1, p. 1, 2017

- [9] Hellen Cristine dos Santos, Claudia Caliri, Lighea Pappalardo, Roberto Catalano, Andrea Orlando, Francesca Rizzo, Francesco Paolo Romano, Real-time MA-XRF imaging spectroscopy of the Virgin with the Child painted by Antonello de Saliba in 1497, *Microchemical Journal*, Volume 140, 2018, Pages 96-104.
- [10] Hellen Cristine Santos, Claudia Caliri, Lighea Pappalardo, Roberto Catalano, Andrea Orlando, Francesca Rizzo, Francesco Paolo Romano, Identification of forgeries in historical enamels by combining the non-destructive scanning XRF imaging and alpha-PIXE portable techniques, *Microchemical Journal*, Volume 124, 2016, Pages 241-246.
- [11] Francesco Paolo Romano, Claudia Caliri, Luigi Cosentino, Santo Gammino, David Mascali, Lighea Pappalardo, Francesca Rizzo, Oliver Scharf, and Hellen Cristine Santos, Micro X-ray Fluorescence Imaging in a Tabletop Full Field-X-ray Fluorescence Instrument and in a Full Field-Particle Induced X-ray Emission End Station. *Analytical Chemistry* 2016 88 (20), 9873-9880.
- [12] O. Scharf et al., Compact pnCCD-Based X-ray Camera with High Spatial and Energy Resolution: A Color X-ray Camera, *Anal. Chem.* 2011, 83, 2532–2538.
- [13] - The ALICE Collaboration, “*Technical Design Report for the Upgrade of the ALICE Time Projection Chamber*”, CERN-LHCC-2013-020 **2014**
- [14] A. L. M. Silva et al., A large area full-field EDXRF imaging system based on a THCOBRA gaseous detector, *J.Anal.At.Spectrom.*, 2015, 30 ,343– 352.
- [15] Geovane Souza and Hugo Da Luz, Characterization of a triple-GEM position sensitive detector for X-ray fluorescence Imaging. Resumo apresentado na conferência EXRS2018, <https://exrs2018.ijs.si/abs/exrs2018-book.pdf>, pag. 169.