

PADRONIZAÇÃO DA TÉCNICA DE DOSIMETRIA RETROSPECTIVA POR RPE UTILIZANDO ESMALTE DENTÁRIO

F. A. Pereira, O. Rodrigues Júnior e L. L. Campos.

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Comissão Nacional de Energia Nuclear,

Av. Prof. Lineu Prestes, 2242, São Paulo – SP

E-mail: fantunes@ipen.br

Recebido em 11 de outubro de 2004; aceito em 28 de junho de 2005.

Resumo

Neste trabalho são avaliados os resultados de estudos envolvendo amostras de hidroxiapatita sintética (hidroxiapatita tipo B) e biológica (esmalte dentário), irradiadas com radiação gama do ^{60}Co e raios-X de energia baixa com doses de 5 Gy. O objetivo principal do trabalho é realizar estudos para implantação dessa modalidade de dosimetria no IPEN, como um procedimento para avaliação retrospectiva de dose em casos de acidente em instalações de radioterapia e radiodiagnóstico. As medidas foram realizadas à temperatura ambiente com as amostras de hidroxiapatita tipo B sintética e esmalte dentário, na forma de pó, encapsuladas em tubo de polietileno, utilizando um equipamento de RPE da Bruker modelo EMX. São discutidos os processos de preparação de amostras, parametrização do equipamento de RPE e avaliação dos espectros brutos. Um estudo do decaimento do sinal RPE, comparando o comportamento de amostras de hidroxiapatita natural e sintética, irradiadas com energias, também é apresentado.

Palavras Chave: RPE, esmalte dentário, dosimetria retrospectiva.

Abstract

In this work are evaluated the results obtained studying B-type synthetic hydroxyapatite and biological hydroxyapatite (tooth enamel) irradiated with ^{60}Co gamma radiation and low energy X-rays with doses of 5Gy. The main objective is to perform complementary studies and introduce this dosimetry technique at IPEN such as a procedure for retrospective dose evaluations in cases of accidents in radiotherapy and radio diagnostic facilities. The measurements were performed at room temperature with samples of B-type synthetic hydroxyapatite and tooth enamel, in powder form, with 120 mg, encapsulated in polyethylene tube, using an EPR equipment Bruker model EMX. Processes of sample preparation, spectrometer parameters settings and evaluation of raw spectra are discussed. A study of the thermal fading of the EPR signal comparing the behavior of tooth enamel irradiated with ^{60}Co and X-Rays and synthetic hydroxyapatite is presented.

Keywords: EPR, tooth enamel, retrospective dosimetry.

Introdução

A interação da radiação ionizante com a matéria gera elétrons livres, alguns deles armadilhados por impurezas ou pelos defeitos em sólidos (Assenheim 1996). Alguns desses defeitos são estáveis com o tempo, e podem ser medidos por Ressonância Paramagnética Eletrônica (RPE), (Bersohn and Baird 1996). A técnica de RPE é capaz de detectar centros paramagnéticos criados pela radiação ionizante em diversas substâncias tais como alanina, carbonato de cálcio e hidroxiapatita presente no esmalte dentário e ossos (Romanyuka and Regulla 1996; Da Costa 1999; Sagstuem *et al* 1983).

A hidroxiapatita, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, é a fase mineral de dentes e ossos. O esmalte dentário é constituído de 95-97% de hidroxiapatita.

A hidroxiapatita possui elevada cristalinidade, isto faz do esmalte dentário um dos materiais mais adequados para aplicação em dosimetria retrospectiva. Os radicais de carbonato presentes na hidroxiapatita são extremamente estáveis, 10^7 anos a 25°C (Desrosiers and Schauer 2000).

Após a irradiação da hidroxiapatita são criadas uma variedade de espécies de radicais como: CO_3^- , O^{3-} , CO , e também, o radical dominante do espectro RPE do esmalte dentário, que é o CO_2^- .

Materiais e Métodos

Obtenção de amostras

Hidroxiapatita sintética: As amostras de hidroxiapatita sintética tipo B foram obtidas da Faculdade de Odontologia da USP. O material, na forma de pó, tem tamanhos de grãos entre 80 - 200 μm .

Hidroxiapatita natural: A hidroxiapatita biológica (esmalte dentário), foi extraída de dentes os quais não puderam ser recuperados em tratamentos odontológicos, mas sem apresentar doenças como caries, tártaro, etc. Os dentes escolhidos foram os molares e os

54 Pereira *et al*: Dosimetria retrospectiva

pré-molares (Sato 1979), pois são os que apresentam menor exposição à radiação UV natural e artificial (Jonas *et al* 2001). Todos os dentes possuem históricos conhecidos, garantindo que não sofreram exposição a raios-X dentários, o que contribui para o crescimento do sinal nativo.

Preparação das amostras

Separação mecânica: o esmalte foi separado da dentina com o auxílio de uma broca dentária de 0,5mm. Durante todo o processo de separação o sistema foi resfriado com água, para evitar o aquecimento do esmalte, o qual induz outros sinais espúrios (Desrosiers 1989).

Separação dos componentes orgânicos: as amostras foram submetidas a um banho ultra-sônico, em água destilada por 4 horas, a uma potência de 50W, e secas à temperatura ambiente por 2 horas (Wieser *et al* 2000).

Obtenção do pó: Com o auxílio de um almofariz, a camada de esmalte foi triturada, padronizando o tamanho dos grãos entre 80 – 200 μm , para evitar a dependência do sinal anisotrópico RPE do esmalte dentário com o posicionamento da amostra na cavidade ressonante.

Preparo das amostras: Foram preparadas amostras, na forma de pó, com massa de 120 mg e encapsuladas em tubos de polietileno, especialmente desenvolvidos para dosimetria RPE/alanina, com dimensões de 2mm de diâmetro interno e 30mm de comprimento (Galante 2000). Esse sistema facilita o manuseio das amostras e evita a perda de material.

Sistemas de Irradiação das amostras

Radiação gama: As irradiações com radiação gama foram realizadas utilizando uma fonte Panorâmica de ^{60}Co , pertencente ao Centro de Tecnologia das Radiações do IPEN. As amostras foram posicionadas a 40 cm da fonte, no ar, em condições de equilíbrio

eletrônico. A taxa de exposição foi de $54,6 \text{ Gy/h} \pm 0,017$ determinada por dosimetria Fricke.

Raios X: As irradiações com raios-X de energia baixa foram realizadas empregando uma máquina Rigaku, modelo Geiguerflex, pertencente ao Laboratório de Calibração e Instrumentos do IPEN, a uma distância de 50 cm da fonte, no ar, com taxa de dose de $8,7 \text{ mGy/h} \pm 0,02$ e energia efetiva de 17,7 keV, cujo espectro é apresentado na figura 1 e a qualidade na tabela 1.

Tabela 1. Qualidade NPL da radiação X de energia baixa.

Corrente (mA)	Tensão (kV)	Filtração (mm Al)	Energia Efetiva(keV)	1° CSR (mm Al)	2° CSR (mm Al)	Coef. Homog.
30	40	0,68	17,7	0,53	0,81	0,59

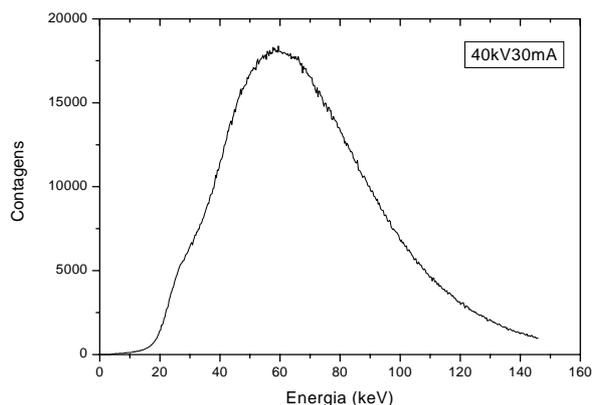


Figura 1. Espectro NPL dos raios-X de 17,7 keV.

Parametrização do Equipamento de RPE

As leituras RPE foram efetuadas empregando um espectrômetro Bruker – EMX, que opera na banda X, pertencente ao Instituto de Física da Universidade de São Paulo-IFUSP. Os parâmetros do espectrômetro foram ajustados especificamente para realizar as leituras do esmalte dentário. Todas as amostras foram lidas à temperatura ambiente. Os parâmetros de medida selecionados são apresentados na tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros de leitura do espectrômetro RPE estabelecidos para o esmalte dentário.

Campo Central	348mT
Largura de Varredura	8 mT
Resolução	1024 pontos
Tempo de Conversão	164 ms
Constante de tempo	164 ms
Nº de scans	5
Frequência de modulação	100 kHz
Potencia de microondas	10 mW
Amplitude de modulação	0,3 mT

Com a parametrização do equipamento de leitura definida, foram feitas análises dos espectros brutos das amostras de hidroxiapatita sintética e biológica, que são compostos por dois tipos de sinais:

- ✚ - sinal nativo, produzido pelo tratamento do material;
- ✚ - sinal dosimétrico, proveniente da formação de radicais livres gerados pela interação da radiação com o material.

Resultados e Discussões

Espectros RPE brutos

As figuras 2 e 3 mostram os espectros da hidroxiapatita sintética tipo B e do esmalte dentário, respectivamente, irradiadas com radiação gama do ^{60}Co e radiação X de energia baixa (17.7 keV), com doses de 5Gy. O espectro da hidroxiapatita sintética tipo B varia significativamente em função do modo de preparo do material, mas, o espectro obtido é semelhante ao apresentado por (Schramm and Rossi 2000) para a hidroxiapatita tipo B. O espectro obtido para as amostras de esmalte dentário também apresenta as mesmas características dos espectros apresentados por (Schramm and Rossi 2000), para esse tipo de amostra.

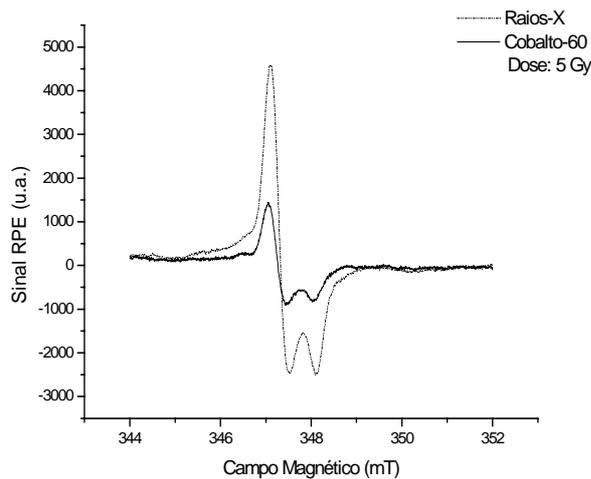


Figura 2. Espectros RPE da hidroxiapatita sintética tipo B.

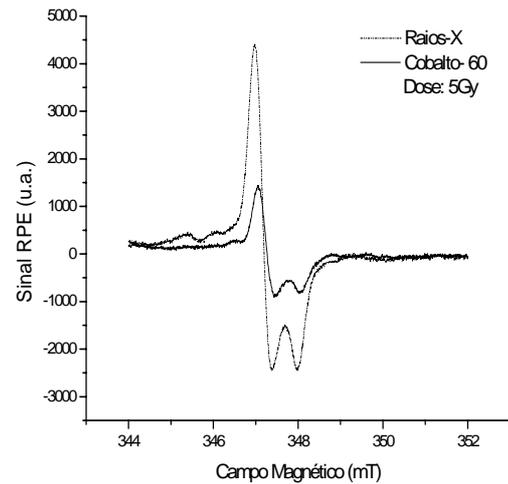


Figura 3. Espectros RPE do esmalte dentário.

Dependência energética

Observa-se a forte dependência energética do sinal RPE com a energia da radiação incidente. A dependência energética é cerca de um fator 3 para a radiação-X de energia efetiva é de 17,7 keV. Esse resultado é explicado considerando o relativamente alto número atômico efetivo da hidroxiapatita, e o intervalo de energia de raios X empregado, que está na região onde há predominância do efeito fotoelétrico.

Decaimento térmico do sinal RPE

Uma análise de decaimento térmico do sinal RPE foi feita empregando amostras de esmalte dentário. Para corrigir as flutuações na estabilidade do espectrômetro foi usado um padrão de $MgO:Mn^{2+}$, o qual foi medido simultaneamente com as amostras de esmalte, em uma posição fixa na cavidade. As amostras foram irradiadas com radiação X e gama, com doses de 5Gy e armazenadas em dessecador, com temperatura e umidade controladas, por um período de 12 dias. Cada ponto apresentado na curva é a média de três medidas, e as barras de erro, o desvio padrão da média. A curva de decaimento térmico do sinal RPE do esmalte dentário em função do tempo de armazenamento é apresentada na figura 4. Observa-se um decaimento do sinal RPE inferior a 2 % nos três

58 Pereira et al: Dosimetria retrospectiva

primeiros dias após irradiação. O mesmo comportamento foi verificado para as amostras de hidroxiapatita tipo B.

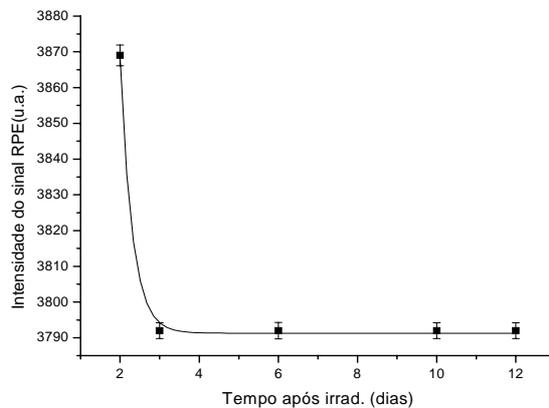


Figura 4. Curva de decaimento térmico do sinal RPE do esmalte dentário. Radiação gama ^{60}Co , dose de 5Gy.

Limite mínimo de detecção

O limite mínimo de detecção dos detectores de esmalte calculado foi de 0,2Gy determinado tomando-se 3 vezes o desvio padrão da média de 10 leituras de menor leitura significativa somada ao valor da média.

Incertezas

A incerteza nas medidas foi estimada, em uma primeira avaliação, em $\pm 5\%$. As incertezas serão reavaliadas após a conclusão da avaliação de todos os parâmetros que envolvem a padronização do método.

Conclusões

A partir dos resultados obtidos, podemos concluir que os métodos de escolha dos dentes e de extração do esmalte dentário empregados foram adequados, permitindo obter um espectro RPE apropriado para o emprego em dosimetria retrospectiva. A parametrização escolhida permite a obtenção do sinal RPE bem definido e com uma relação sinal-ruído satisfatória. O decaimento térmico do sinal, da ordem de 2%, permite o

emprego do esmalte dentário para a retrospectiva de dose, sendo que a hidroxiapatita sintética pode ser empregada como padrão de referência, para calibração, em casos de acidente.

Referências Bibliográficas

Assenheim, H. M. (1996). *Introduction to Electron Spin Resonance*. Hilger & Watts, London.

Bersohn, M. and Baird, J. M. (1996). *An Introduction to Electron Paramagnetic Resonance*. W.A. Benjamin Inc, New York.

Da Costa, Z. M. (1999). *Desenvolvimento de um sistema dosimétrico para situações de emergência envolvendo pessoas do público em geral*. Tese de doutorado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – USP, São Paulo.

Desrosiers, M. F., Simic, M. G., Eichmiller, F. C., Johnston, A. D., Bowen, R. L. (1989). Mechanically-induced generation of radicals in tooth enamel. *Appl. Radiat. Isot.* 40, p. 1195 – 1197.

Desrosiers, M. F. and Schauer, D. A. (2000). Electron paramagnetic resonance (EPR) biodosimetry. *Nucl. Inst. Meth. Phys. Res. B* 184, p. 219 – 228.

Galante, O. L. (2000). *Padronização do método de dosimetria de doses altas pela Técnica de Ressonância Paramagnética Eletrônica*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – USP, São Paulo.

60 Pereira et al: Dosimetria retrospectiva

Nilsson, J., Lund, E. and Lund, A. (2001). The effects of UV- irradiation on the ESR – dosimetry of tooth enamel. *Appl. Radiat. Isot.* 54, p. 131-139.

Romanyuka, A. A. and Regulla, D. F. (1996). EPR dosimetry with different biological and synthetic carbonated materials. *Radiat. Prot. Dosim.* 65, p. 389- 392.

Sagstuem, E.; Theisem, H. and Henriksen, T. (1983). Dosimetry by ESR spectroscopy following a radiation accident. *Health Physics* 45, p. 961 – 968.

Sato, K. (1979). Study of asymmetric ESR signal in X-irradiated human tooth enamel. *Calcif. Tiss. Int.* 29, p. 95-99.

Schramm, D. U. and Rossi, A. M. (2000). Electron spin resonance (ESR) studies of CO_2^- radicals in irradiated A and B-type carbonate-containing apatites. *Appl. Rad. Isot.* 52, p. 1085- 1091.

Wieser, A.; Onori, S. and Aragno, D. (2000). Comparison of sample preparation and signal evaluation methods for EPR analysis of tooth enamel. *Appl. Radiat. Isot.* 52, p. 1059-1064.