

## **Utilização do Dosímetro ALANPOL<sup>®</sup> Composto por Alanina e Polietileno Para Determinação de Doses em Efluentes Industriais**

**Carolina S. Relat<sup>1</sup>, Maria Helena de O. Sampa<sup>1</sup>, Walter M. Pontuschka<sup>2</sup>, Célia M. Napolitano<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN / CNEN – SP)  
Av. Professor Lineu Prestes 2242  
05508-000 São Paulo – SP  
[csrela@ipen.br](mailto:csrela@ipen.br)

<sup>2</sup>Instituto de Física (IF/ USP- SP)  
Rua do Matão, Travessa R, 187 - Butantã  
05508-900 São Paulo - SP

### **ABSTRACT**

No presente trabalho foi realizado o estudo da eficiência e da exatidão do sistema dosimétrico ALANPOL<sup>®</sup> desenvolvido pelo IVHTJ/ Polônia que utiliza a alanina como dosímetro e o EPR como sistema de leitura. O dosímetro ALANPOL é um polímero composto agregado de alanina. O dosímetro tem o diâmetro exterior de 3 mm, e o comprimento de 25,4 mm (1 polegada). Os experimentos com feixes de elétrons e radiação gamma com ALANPOL<sup>®</sup> foram realizados com água demineralizada e efluente industrial. O resultado mostra que para uma taxa de dose que varia de 1 a 40 kGy o sistema dosimétrico ALANPOL<sup>®</sup> é apropriado para a monitoração de dose absorvida em baixo d' água e pode ser aplicado para avaliar o sistema dosimétrico em tempo real de calorimetria utilizado na planta de tratamento de efluentes desenvolvido pelo CTR/ IPEN.

### **1. INTRODUÇÃO**

A dosimetria das radiações determina a dose absorvida resultante das interações da radiação ionizante com o meio. Para isso, utilizam-se os dosímetros, que são dispositivos com capacidade de fornecer informações que estejam relacionados à dose absorvida [1].

Neste trabalho são apresentados os resultados preliminares sobre a eficiência do dosímetro ALANPOL<sup>®</sup> na utilização em dosimetria de doses altas para águas e efluentes industriais comparando as respostas obtidas utilizando irradiação gama de uma fonte de cobalto 60 e elétrons provenientes de 1,5 MeV provenientes de um acelerador industrial. O presente estudo tem o propósito de verificar o desempenho deste sistema dosimétrico para ser utilizado como meio de aferição do calorímetro instalado no dispositivo de irradiação da planta de tratamento de efluentes que fornece o valor da dose em tempo real permitindo o controle e automatização do processo de irradiação.

O dosímetro estudado, ALANPOL<sup>®</sup>, foi desenvolvido pelo Instituto de Química e Tecnologia Nuclear- INCT, da Polônia com a finalidade de medir doses em águas e efluentes industriais submetidos ao processo da radiação ionizante.

O dosímetro ALANPOL<sup>®</sup> foi manufaturado por extrusão de uma mistura de DL- $\alpha$  Alanina em pó com polietileno de baixa densidade variando de 0,91 a 0,93 g/cm<sup>3</sup>. O polietileno atua como um ligante e não contribui para o sinal induzido pela irradiação.

O dosímetro possui forma cilíndrica com 3mm de diâmetro externo, 2mm de diâmetro interno e 25,4 mm (1”) de comprimento, medidas essa similares a cavidade do Espectrômetro utilizado [2].

A Ressonância Paramagnética Eletrônica é uma técnica de medida que vem sendo muito utilizada na dosimetrias de doses altas. As vantagens apresentadas por esta técnica são: leitura não destrutiva; alta sensibilidade; facilidade de manuseio; boa reprodutibilidade e o mais importante, pequeno decaimento do sinal. E como desvantagem, pode-se citar o alto custo do equipamento de RPE [3].

Esta técnica tem como principio de funcionamento a detecção de elétrons desemparelhados apresentados em substancias que apresentam paramagnetismo, isto é, elétrons cujos momentos magnéticos não estão cancelados. Esses elétrons são medidos por espectroscopia de absorção de microonda, e a intensidade do sinal RPE é proporcional à dose absorvida[3].

Entre os vários aminoácidos estudados por Gordy e colaboradores (1955) utilizando a técnica de ressonância paramagnética eletrônica (RPE), a alanina apresentou um espectro bem resolvido, e um grande número de radicais livres formados por unidade de dose absorvida e, em razão destas características a alanina passou a ser estudada como dosímetro [4].

O sistema dosimétrico utilizando alanina pode ser considerado um sistema confiável para medidas de dose absorvida em processos de irradiação industrial, pois apresentam alta sensibilidade, fácil manuseio e boa reprodutibilidade [5-6-7].

O sinal dosimétrico obtido é estável por vários anos e esses dosímetros são resistentes à água e também não apresentam sensibilidade para a maioria dos contaminantes presentes em efluentes industriais e podem ser utilizados para radiação gama e elétrons de alta energia [2].

## **2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**

Com a finalidade de comparar as respostas dosimétricas em diferentes condições de irradiação e tipos de irradiadores, foram realizados experimentos com dosímetro ALANPOL<sup>®</sup>, submersos em água destilada e em efluentes industriais.

As medidas de Ressonância Paramagnética Eletrônica (RPE) foram realizadas em um espectrômetro Bruker, modelo EMX equipado com cavidade ressonante retangular modelo

ER4102 ST e localizado no Instituto de Física da Universidade de São Paulo. Na Tabela 1 são mostrados os parâmetros do espectrômetro RPE utilizado nos experimentos.

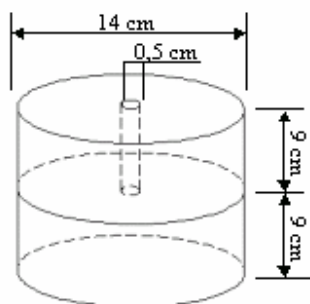
**Tabela 1. Valores Seleccionados o Espectrômetro RPE**

<b>Campo de varredura</b>	400 G
<b>Constante de tempo</b>	10,240 ms
<b>Amplitude de modulação</b>	5 G
<b>Ganho</b>	Variável
<b>Potencia de microondas</b>	10,13 mW
<b>Campo magnético</b>	3480 G
<b>Resolução</b>	1024 pontos
<b>Tempo de varredura</b>	21 s
<b>Frequência de modulação</b>	100 kHz
<b>Frequência de microonda</b>	9,76 GHz
<b>Temperatura de leitura</b>	20- 25 ° C

As irradiações com fonte gama foram realizadas utilizando o irradiador de Cobalto-60, tipo Gammacell 220 e em outubro de 2004 apresentava uma atividade total de  $1,3 \times 10^{10}$  Bq (4.855,409 Ci) e uma taxa de dose de 4,01 kGy/h, instalado no C.T.R. do IPEN.

Esse irradiador é constituído por 26 lápis contendo 7 pastilhas de Cobalto-60 cada um, dispostos em forma cilíndrica e com um volume útil para irradiação de 2 litros e foi previamente calibrado com dosímetros de Alanina no programa de Intercomparação da AIEA – IDAS (Serviço Internacional de Garantia de Dose) que apresentou uma incerteza de medida de 0,98%.

Para a irradiação dos dosímetros ALANPOL<sup>®</sup> utilizou-se um suporte de isopor, apresentado na Figura 1, composto por dois discos com uma cavidade central de 0,5 cm de diâmetro onde os dosímetros foram posicionados para absorver uma dose de irradiação homogênea.



**Figura 1. Suporte de Isopor**

As irradiações com feixes de elétrons de alta energia foram realizadas utilizando-se o Acelerador Industrial de Elétrons tipo Dynamitron II – RDI pertencente ao CTR- IPEN e, seus parâmetros de operação foram: energia: 1,125 MeV; corrente do feixe: 2,39 mA, taxa de dose: 11,1912 kGy/s e largura do feixe de varredura: 2 cm e comprimento: 100 cm.

Os dosímetros ALANPOL<sup>®</sup> foram posicionados no centro da esteira, perpendicular à direção do feixe de varredura e irradiado a uma velocidade de 6,72 m/mim com várias passadas sob o feixe para obter-se a dose total desejada. Utilizaram-se dosímetros de CTA, triacetato de celulose, para medir e comparar a dose real absorvida pelos dosímetros irradiados.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

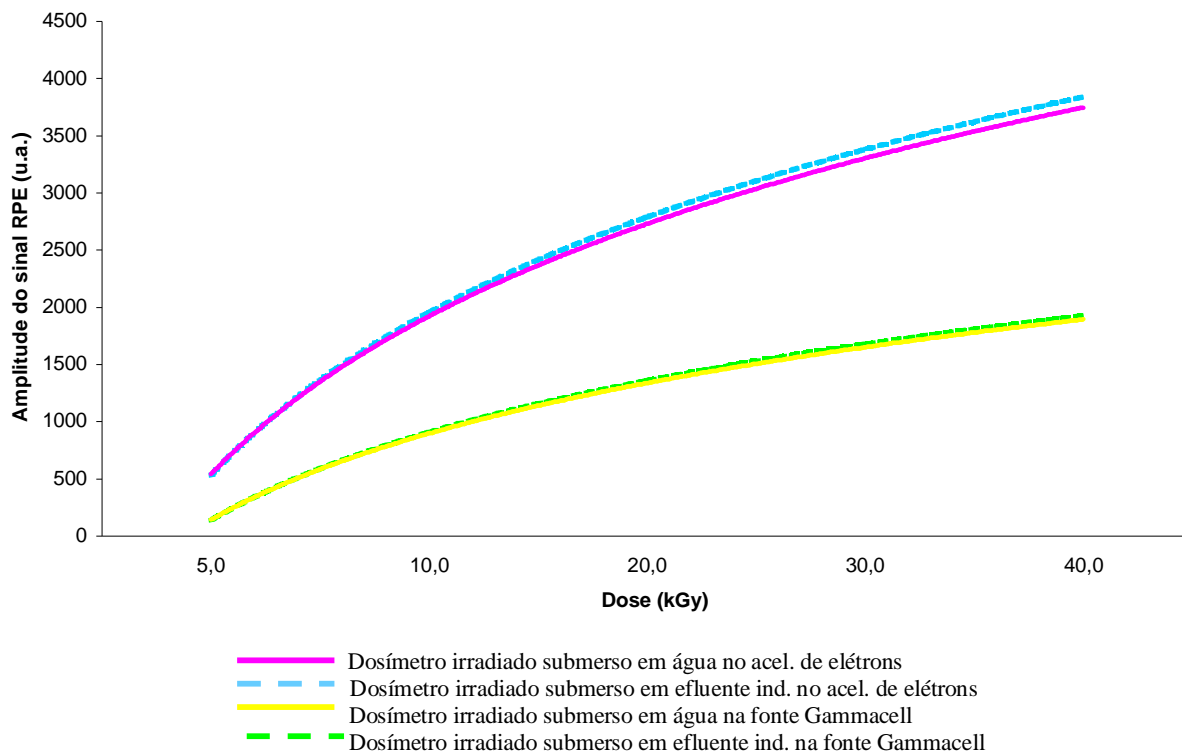
Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 2 e 3 e na Figura 2, onde cada ponto é a média aritmética de 3 leituras realizadas no RPE com dosímetros irradiados na fonte Gammacell e no acelerador de elétrons. A diferença entre os valores das medidas realizadas nos diferentes meios (submersos) variam de 0 a 1,2% na Fonte Gammacell e de 0 a 1,6% no Acelerador de Elétrons.

**Tabela 2. Resultados obtidos de dose, amplitude de sinal e o desvio entre diferentes meios dos dosímetros irradiados em água destilada e efluente industrial na Fonte Gammacell.**

FONTE GAMMACELL				
Dosímetro irradiado submerso em água destilada		Dosímetro irradiado submerso em efluente industrial.		Valor do desvio entre diferentes meios (%)
Amplitude do sinal de RPE	Dose (kGy)	Amplitude do sinal de RPE	Dose (kGy)	
320	5,0	320	5,0	0,0
650	10,0	650	10,0	0,0
1250	20,0	1250	20,0	0,0
1610	30,0	1700	31,7	1,2
2100	40,0	2100	40,0	0,0

**Tabela 3. Resultados obtidos de dose, amplitude de sinal e desvio entre diferentes meios dos dosímetros irradiados em água destilada e efluente industrial no Acelerador de Elétrons.**

ACELERADOR DE ELÉTRONS				
Dosímetro irradiado submerso em água destilada		Dosímetro irradiado submerso em efluente industrial		Valor do desvio entre diferentes meios (%)
Amplitude do sinal de RPE	Dose (kGy)	Amplitude do sinal de RPE	Dose (kGy)	
850	5,4	850	5,4	0,0
1500	9,8	1500	9,8	0,0
2550	18,4	2550	18,4	0,0
3255	30,9	3500	33,2	1,6
4100	41,8	4100	41,8	0,0



**Figura 2. Dependência do sinal RPE com o tipo de radiação incidente**

Analisando a figura 2, nota-se que há uma diferença nos valores de amplitude de sinal entre os dosímetros irradiados na Fonte Gammacell com relação aos dosímetros irradiados no Acelerador de Elétrons. Isso ocorre devido a grande variação da taxa de dose aplicada, que no acelerador de elétrons é de 11,1912 kGy/s e na Fonte Gammacell é de 2,15 kGy/h.

Para a realização do teste de decaimento do sinal de RPE em função do tempo foi irradiado um dosímetro na fonte Gammacell com dose de 20 kGy. A primeira leitura do detector, denominada zero dia, foi efetuada imediatamente após a irradiação. Para as demais leituras seguiu-se o tempo de leitura descrito na Tabela 4.

**Tabela 4. Valores de Tempo decorrido após a irradiação e leitura da amplitude do sinal RPE**

Leitura	Tempo decorrido após a irradiação (horas)	Leitura da amplitude do sinal RPE (u.a.)
1	0	1100
2	1	1100
3	2	1100
4	129	1100
5	144	1100
6	206	1100
7	209	1100

Nota-se que o decaimento do sinal RPE dos dosímetros ALANPOL<sup>®</sup> após 209 horas permanece inalterado.

#### 4. CONCLUSÕES

De acordo com a Figura 2, o dosímetro ALANPOL<sup>®</sup> apresenta boa reprodutibilidade e estabilidade de sinal para diferentes meios aquosos (água e efluente industrial), podendo ser utilizado na dosimetria de processos de tratamento de efluentes industriais utilizando o acelerador de elétrons. Em se tratando de diferentes taxas de dose, o dosímetro ALANPOL<sup>®</sup> não apresentou boa reprodutibilidade, sendo necessário fazer uma curva de calibração para cada fonte de irradiação devido a diferença de comportamento ocasionadas com diferentes taxas de doses.

#### 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- 1.MCLAUGHLIN W.L.; BOYD, A. W.; CHADWICK, K.; MCDONALD, J.C; MILLER *A Dosimetry for Radiation Processing*. New York, Philadelphia. Taylor & Francis, London 1989.
- 2.PIEMEL,Z.; BRYL T. *Alanpol- An Alanine Polymer Dosimeter For Measurement of Technological Doses of Ionizing Radiation*. Institute of Nuclear Chemistry and Technology (INCT) Polonia, 2002.
- 3.PAKE,G.E. *Paramagnetic Resonance*. New York, N.Y. WASHINGTON University, W.A. Benjamin, INC, 1962.
- 4.GORDY, W.; ARD,W.B.; SHIELDS, H. *Microwave Spectroscopy of Biological Substances*. Paramagnetic Resonance in X- Irradiated Amino Acids and Proteins. **Proc Nat. Acad Sci.**, v.41, p.983-996,1996.
- 5.CONINCKS, H.; SCHONBACHER, H.; ONORI, S.; BARTOLOTTA, A. *Alanine Dosimetry as the Reference Dosimetric System in Accelerator Radiation Environments*. **Appl. Radiat. Isot.**, v. 40 (10-12), p. 977- 83, 1989.
- 6.KEIZER, P. N.; NOTON, J.R.; PRESON, K.F. *Electron Paramagnetic Resonance Radiation Dosimetry: Possible Inorganic Alternatives to the EPR / Alanine Dosimeter*. **J. Chem. Soc. Faraday Trans.**, v.87 (19) p 3147-9, 1991.
- 7.KOJIMA, T.; TANAKA, R.; MORITA, Y.; *Alanine Dosimeters Using Polymers as Binders*. **Appl. Radiat. Isot.** v.37, p 517-20, 1986.

