



CONGRESSO GERAL DE ENERGIA NUCLEAR

24 A 29 DE ABRIL DE 1988

ANAIS - PROCEEDINGS

RESPOSTA ENERGÉTICA E ANGULAR DE DETECTORES PARA RADIAÇÃO BETA

Maria da Penha P. Albuquerque

Marcos Xavier

Linda V.E. Caldas

Departamento de Proteção Radiológica

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

Comissão Nacional de Energia Nuclear - SP

São Paulo, Brasil

SUMÁRIO

Utilizando-se o sistema de referência para detecção da radiação beta, constituído principalmente por uma câmara de extrapolação e um eletrômetro, para comparação, vários tipos de instrumentos normalmente detectores de radiação gama foram estudados quanto à dependência energética e angular quando expostos à radiação beta. Foram testados os aparelhos portáteis do tipo Geiger-Müller, dosímetros de bolso e câmaras de ionização cilíndricas. As medidas foram feitas utilizando-se fontes de $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$, ^{204}Tl e ^{147}Pm .

ABSTRACT

Using for comparisons the reference system for beta radiation detection, with mainly an extrapolation chamber and an electrometer, several types of monitoring instruments normally used in gamma radiation were studied in relation to their energy and angular dependence, when exposed to beta radiation. Portable instruments as Geiger-Müller type, pocket dosimeters and cylindrical ionization chambers were tested. The instrument measurements were taken during their irradiation with $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$, ^{204}Tl and ^{147}Pm sources.

INTRODUÇÃO

O Laboratório de Calibração de Instrumentos do IPEN é constituído por várias salas com arranjos especiais de radiação X, gama e beta. Uma de suas atividades principais consiste na prestação de serviços a firmas externas. São calibrados anualmente cerca de 550 aparelhos em todas as escalas e com 2 ou 3 energias diferentes de radiação, sendo que em sua maioria estes aparelhos são monitores portáteis utilizados a nível de Proteção Radiológica por firmas de gammagrafia industrial, hospitais e clínicas de radioterapia. Entre os clientes, figuram ainda indústrias de tecidos, metais finos, cigarros, etc, que se utilizam de fontes de radiação beta (em geral ^{85}Kr , ^{90}Sr + ^{90}Y) para o controle e medida de espessuras.

Cada firma possuidora de fontes radioativas tem que ser credenciada pela CNEN para poder utilizá-las profissionalmente, assim como ser proprietária de monitores portáteis de radiação, calibrados obrigatoriamente uma vez por ano por um dos laboratórios de calibração oficiais. Isto implica em que o Laboratório de Calibração do IPEN receba várias solicitações por ano para calibrar aparelhos com radiação beta também.

A finalidade do presente trabalho foi estudar tanto a sensibilidade como a dependência energética e angular de diversos tipos de instrumentos monitores, normalmente utilizados no Brasil para radiação X e gama, em relação à radiação beta. Walker e Jacobs⁽¹⁾ estudaram alguns instrumentos produzidos especialmente para a detecção da radiação beta.

Pode-se observar radiação beta e gama simultaneamente em vários materiais radioativos. A contribuição da radiação beta à taxa total de dose é, na maioria das vezes na prática, até mesmo desprezada, embora justamente nas irradiações parciais do corpo é que a taxa de dose beta pode ter um significado decisivo. Na Tabela 1 são apresentados, por exemplo, as taxas de dose na vizinhança de uma fonte aberta, puntiforme, de ^{60}Co , desprezando-se a auto-absorção na própria fonte. Este exemplo mostra que à proximidade da fonte a taxa de dose beta pode exceder de modo considerável a taxa de dose gama. Em atividades perto de fontes radiativas abertas e pequenas, a taxa de dose devida à radiação beta muitas vezes é inesperadamente alta e as pontas dos dedos podem receber uma dose indesejável.

Tabela 1

Taxa de dose D na vizinhança de uma fonte aberta, puntiforme, de ^{60}Co , no ar⁽²⁾

Distância (cm)	\dot{D}_β ($\mu\text{Gy/h}$)	\dot{D}_γ ($\mu\text{Gy/h}$)	$\dot{D}_\beta + \dot{D}_\gamma$ ($\mu\text{Gy/h}$)	$\frac{\dot{D}_\beta}{\dot{D}_\beta + \dot{D}_\gamma}$ (%)
1	$9,60 \cdot 10^6$	$1,12 \cdot 10^5$	$9,71 \cdot 10^6$	98,9
5	$2,50 \cdot 10^5$	$4,48 \cdot 10^3$	$2,54 \cdot 10^5$	98,4
10	$4,70 \cdot 10^4$	$1,12 \cdot 10^3$	$4,81 \cdot 10^4$	97,7
50	$4,12 \cdot 10^2$	$4,48 \cdot 10^2$	$8,60 \cdot 10^2$	47,9
100	0	$1,12 \cdot 10^2$	$1,12 \cdot 10^2$	0

A dificuldade principal na dosimetria beta é devida à fácil absorção desta

radiação na matéria e, em consequência, do seu curto alcance. Devido à forte dependência da taxa de dose beta com a distância e da fácil absorção da radiação, para se ter medidas precisas, são necessários dosímetros de dimensões muito reduzidas e cobertos por um invólucro muito fino. Ambas exigências são difíceis de serem satisfeitas na prática. Um dosímetro extenso, como é o caso dos detectores portáteis, somente fornece a dose média no volume sensível, e este valor médio pode às vezes ser muito diferente do valor da dose máxima. Este fato pode ser decisivo num eventual dano por radiação. Daí surge a grande necessidade da calibração dos instrumentos, que consiste em se determinar o fator de calibração para cada qualidade de radiação, para a correção das medidas realizadas.

MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Diversos tipos de detectores de radiação foram testados, utilizando-se o sistema padrão secundário de radiação beta, do qual fazem parte fontes calibradas de $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}(1,85\text{GBq})$, $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}(74\text{MBq})$, $^{204}\text{Tl}(18,5\text{MBq})$ e $^{147}\text{Pm}(518\text{MBq})$. O detector de referência para a radiação beta é constituído por uma câmara de ionização de placas paralelas, com janela de entrada fina e de volume variável, chamada câmara de extrapolação (PTW, Alemanha), acoplada a um eletrômetro (Keithley, USA), que permite a medida de correntes de até 10^{-15}A . Este sistema de referência⁽³⁾ foi aqui utilizado, para comparação com as respostas dos detectores testados.

Foram utilizados os dosímetros termoluminescentes de $\text{CaSO}_4:\text{Dy} + \text{Teflon}$ ⁽⁴⁾ de espessura 0,3mm, fornecidos pelo Laboratório de Produção de Materiais Dosiométricos do IPEN. Os tratamentos térmicos, o procedimento de calibração, e as características principais destes dosímetros foram definidos e estudados por Campos⁽⁴⁾.

Todos os detectores foram irradiados no ar, tomando-se como referência o centro do volume sensível, exceto no caso das câmaras de ionização de placas paralelas, onde a referência foi mantida na superfície da janela de entrada. As câmaras de ionização de placas paralelas foram expostas à radiação sempre de forma frontal, enquanto que nos outros casos, a irradiação deu-se perpendicularmente ao eixo longitudinal dos detectores, para a determinação da dependência energética.

A resposta dos detectores foi ainda medida, variando-se o ângulo de incidência da radiação entre 0° e 90° , onde 0° significa uma irradiação frontal.

Como a grandeza exposição não é definida no caso de radiação beta, e os instrumentos testados são normalmente utilizados para detecção da radiação gama e portanto apresentam unidades de exposição (ou taxa de exposição), tomou-se a unidade de Roentgen neste caso como "unidade de escala" (u.e.).

RESULTADOS

Os detectores testados quanto à sensibilidade e à dependência energética e angular neste trabalho apresentam janelas de entrada de espessuras diferentes (no caso das câmaras de ionização de placas paralelas) e invólucros de espessuras diferentes (nos outros detectores). Para se ter uma idéia da influência do material absorvedor existente entre uma fonte e a sonda, foram determinados os fatores de transmissão da radiação beta em material equivalente a tecido. A Fig. 1 apresenta o comportamento da câmara de extrapolação em função

da espessura do material absorvedor posicionado à sua frente, durante as exposições à radiação beta de $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$, ^{204}Tl e ^{147}Pm . Na ordenada foram representados os fatores de transmissão. Para a obtenção destes fatores, foram utilizados folhas de plástico Hostaphan, com densidade superficial entre 0,324 e 38,9mg/cm², e placas finas de Lucite, com densidade superficial entre 116 e 916mg/cm². Durante as irradiações, estes absorvedores foram colocados sucessivamente à frente da câmara de extrapolação, com volume fixo de 40mm², às distâncias de calibração de 30, 30 e 20cm respectivamente para as fontes de $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$, ^{204}Tl e ^{147}Pm . Nestas condições foram feitas as medidas de corrente de ionização. No caso de $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ pode-se observar que o fator de transmissão inicialmente cresce, satura e depois decresce, enquanto que para ^{204}Tl e ^{147}Pm o comportamento é sempre decrescente, mostrando como ocorre a absorção da radiação pela matéria (camadas absorvedoras equivalentes a tecido).

Nas Tabelas 2 e 3 são apresentadas as características principais dos instrumentos (tipo câmara de ionização e tipo Geiger-Müller), que possuem janela de entrada fina. Os outros tipos de detectores constam da Tabela 4. Os fatores de correção para a sensibilidade de cada detector em relação à radiação de $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ foram também representados nas tabelas.

Todos os detectores das Tabelas 2 e 3 foram testados com as três fontes com energias diferentes, exceto a câmara de ionização de placas paralelas, da Nuclear Enterprises, porque esta câmara apresenta um volume sensível muito pequeno, detectando por isso altas taxas de dose absorvida, que não era o caso das fontes de ^{204}Tl e ^{147}Pm . A dependência energética destes instrumentos pode ser observada na Fig. 2.

A câmara de extrapolação PTW é a mais indicada para a radiação beta: principalmente entre as energias de ^{204}Tl e $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ não apresenta dependência energética. Esta câmara tem a possibilidade de permitir a troca da janela de entrada, de modo a se ter medidas para várias espessuras de janela. Extrapolando-se para uma espessura nula, tem-se uma independência total com a energia da radiação beta incidente. Mas esta câmara não é portátil e portanto é pouco prática. A câmara normalmente conhecida por Melinex, com um volume sensível de 600cm³, também é um detector muito útil para este tipo de radiação, mas também não é portátil. Entre a região de detecção da radiação beta mais importante (entre 0,24 e 0,80MeV), os dosímetros termoluminescentes constituem os detectores mais importantes, abaixo da câmara PTW. A câmara Victoreen 471 é um sistema detector beta-gama e é o mais útil dos instrumentos eletrônicos portáteis para a detecção da radiação beta, na região energética estudada.

Entre os instrumentos eletrônicos nacionais, o fabricado pelo IPEN (PI-760) mostrou a maior sensibilidade para a radiação de $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ e a menor dependência energética em todo o intervalo de energia estudado. O aparelho da Nuclear Chicago (Geiger-Müller) mostrou-se também de interesse neste caso, mas atualmente não é mais fabricado.

Os detectores da Tabela 4 foram testados apenas com a radiação de $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$, porque não permitem a detecção de radiações beta de energias menores, devido à espessura de suas sondas. Pode-se notar que a caneta dosimétrica foi o detector de sensibilidade mais alta entre eles, apresentando o fator de correção mais baixo.

A Fig. 3 apresenta a dependência angular da câmara de ionização Victoreen 471, para as fontes de $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$, ^{204}Tl e ^{147}Pm . Na Fig. 4 foram representadas as respostas angulares em relação à radiação de $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ de um dosímetro de bolso (caneta dosimétrica 541R) e de um aparelho Geiger-Müller (Victoreen modelo minimonitor II). A importância de se estudar a dependência energética no caso de radiação beta fica evidente por estas figuras. Tem-se uma dependência angular de apenas 19% entre 0 e 30° no caso da câmara de ionização (Fig. 3). A caneta dosimétrica apresentou uma independência angular dentro de 5% (perfeitamente dentro da incerteza associada à medida), devido a sua forma geométrica (cilíndrica).

CONCLUSÕES

Todos os detectores das Tabelas 2, 3 e 4 podem ser utilizados com radiação beta, desde que previamente calibrados; devem, entretanto, ser preferidos aqueles com alta sensibilidade e baixa dependência energética. Excetuando-se a câmara padrão PTW, foi possível observar que entre os aparelhos portáteis, a câmara de ionização Victoreen 471 apresentou o comportamento mais indicado para a detecção da radiação beta.

BIBLIOGRAFIA

1. WALKER, E. and JACOBS, R.. The response of Selected Portable Survey Instruments to Various Types and Energies of Beta Radiation.
IN: Proc. Intern. Beta Dosim. Symp., Washington, USA, February 15-18, 1983, NUREG/CP-0050, p. 221.
2. HEINZELMANN, M.. Probleme der Betadosimetrie im Strahlenschutz.
IN: Fachverband für Strahlenschutz EV, FS-3, Jülich, Alemanha (1975).
3. CALDAS, L.V.E.. Performance Characteristics of an Extrapolation Chamber for Beta Radiation Detection.
IN: Appl. Radiat. Isot. 37 (9), p. 998-990 (1986).
4. CAMPOS, L.L. and LIMA, M.F.. Thermoluminescent CaSO_4 : Dy Teflon Pellets for Beta Radiation Detection.
IN: Radiat. Prot. Dosim. 18 (2), p. 95-97 (1987).

Tabela 2: Características principais dos instrumentos com janela de entrada fina. Irradiação frontal

Fabricante	Instrumento		Espessura da Janela de Entrada (mg/cm ²)	Faixa de Operação do Aparelho	Fator de Correção para Radiação 90Sr + 90Y (10 ⁻² Gy/u.e.)
	Modelo	Tipo de Detector			
IPEN (Brasil)	CaSO ₄ :Dy + Teflon	Dosímetro Termoluminescente	15µm (Hostaphan)	Harshaw 2.000AB Mínimo Detectável 100µGy	1,64 x 10 ⁻²
PTW (Alemanha)	23391	Câmara de Exposição (Placas Paralelas)	4,5 (Hostaphan)	Eletrômetro Keithley 616 10 ⁻¹ - 10 ⁻¹⁴ A	7,48 x 10 ⁻¹⁰ $\frac{\text{Gy} \cdot \text{mm}}{\text{h} \cdot \text{A}}$
Nuclear Enterprises (Inglaterra)	Melinox 2581/3	Câmara de Ionização (Placas Paralelas)	1,0 (Melinex Aluminizado)	Eletrômetro BF 0-100mR 0-1000mR	1,03
Nuclear Enterprises (Inglaterra)	Superficial 2536/3	Câmara de Ionização (Placas Paralelas)	2-3 (Mylar Grafitado)	Eletrômetro NPL 0-100mR 0-1000mR	7,99 x 10 ⁻¹
Victoreen (EUA)	Panoramica 470A	Câmara de Ionização (Eletrômetro Central)	17 (Poliestireno Expandido)	0-3/1000mR/h 0-3/1000R/h 0-3/1000mR (Integração)	1,21
Victoreen (EUA)	471	Câmara de Ionização (Eletrômetro Central)	0,83 (Mylar Aluminizado)	0-1/10/30/100/300mR/h 0-1/10/30/100/300R/h 0-1/10/30/100/300mR (Integração)	0,969
Bicron Corporation (EUA)	RSO-50 TM	Câmara de Ionização (Placas Paralelas)	7 (Mylar Aluminizado)	0-50mR/h 0-500mR/h 0-5R/h 0-50R/h	0,970

Tabela 3: Características principais dos instrumentos com janela de entrada fina. Irradiação frontal.

Instrumento		Espessura da Janela de Entrada (mg/cm ²)	Faixa de Operação do Aparelho	Fator de Correção para radiação ⁹⁰ Sr + ⁹⁰ Y (10 ⁻² Gy/u.e.)
Fabricante	Modelo			
Nuclear Chicago (EUA)	2661	1,5 - 2,0 (Mica)	0,1 - 100mR/h	1,35
Norton (Brasil)	NMR-1000	1,5 - 2,0 (Mica + Folha Fina de Plástico)	0 - 1mR/h 0 - 1000mR/h	1,54
Norton (Brasil)	NDG-1000	1,5 - 2,0 (Mica)	0 - 1mR/h 0 - 1000mR/h	2,83
IPEN (Brasil)	PI-760	1,5 - 2,0 (Mica)	0,1 - 100mR/h	1,35

Tabela 4: Características principais dos instrumentos sem janela de entrada fina. Irradiação perpendicular ao eixo longitudinal do detector.

Fabricante	Instrumento		Faixa de Operação do Aparelho	Fator de Correção para Radiação de $90\text{Sr} + 90\text{Y}$ (10^{-2}Gy/u.e.)
	Modelo	Tipo de Detector		
Victoreen (EUA)	656R	Caneta Dosimétrica	0-500mR	3,47
Victoreen (EUA)	541R	Caneta Dosimétrica	0-200mR	4,67
Victoreen (EUA)	Minimonitor II	G-M	0-10mR 0-100mR 0-1000mR	$1,13 \times 10^2$
Victoreen (EUA)	692	G-M	0-10mR/h 0-100mR/h 0-1000mR/h 0-10000mR/h	$2,99 \times 10^2$
G.E. Smith & Ass. (EUA)	GS 1000A	G-M	0-10mR/h 0-100mR/h 0-1000mR/h	8,89
Gamma Industries (EUA)	SMAC 252B	G-M	0-10mR/h 0-100mR/h 0-1000mR/h	$6,31 \times 10^2$
Nortron (Brasil)	NDG-50R	G-M	0-10mR/h 0-100mR/h 0-1000mR/h 0-50R/h	$7,05 \times 10^1$
Graetz (Alemanha)	GAMMA-100m	G-M	0-10mR/h 0-100mR/h	$2,78 \times 10^3$
Eberline (EUA)	E130G	G-M	0-10mR/h 0-100mR/h 0-1000mR/h	$2,94 \times 10^3$

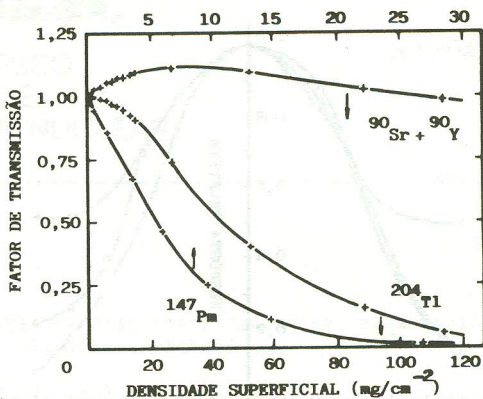


Fig. 1: Fatores de transmissão para radiação beta em função da densidade superficial de camadas absorvedoras equivalentes a tecido. Medidas realizadas com a câmara de extrapolação PTW.

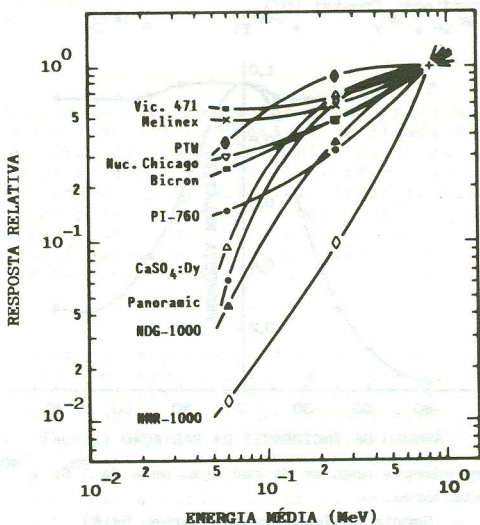


Fig. 2: Dependência da resposta de diferentes detectores com a energia média da radiação beta.

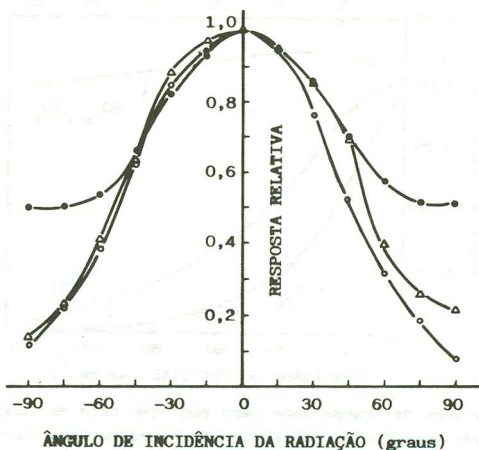


Fig. 3: Dependência angular da resposta da câmara de ionização Victoreen 471 para radiação beta, normalizada para a irradiação frontal (0°):
 • $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ ◻ ^{204}Tl ◻ ^{147}Pm

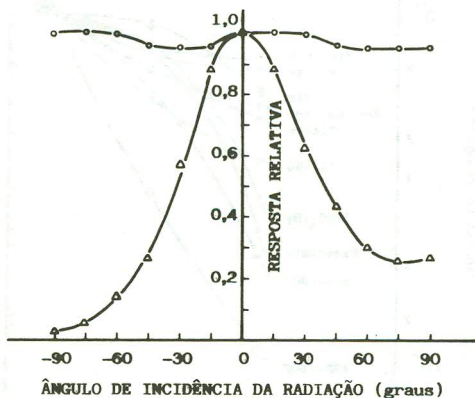


Fig. 4: Dependência angular da radiação beta de $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ dos detectores:
 ◻ - Caneta dosimétrica (Victoreen 541R)
 ◻ - Instrumento Geiger-Müller (Victoreen-Minimonitor II)