



22 a 27 de abril de 1990

ANAIS - PROCEEDINGS

**ESTUDO DO ACOPLAMENTO ÓPTICO DE DETECTORES PLÁSTICOS
CINTILADORES: AVALIAÇÃO DE DIFERENTES
PRODUTOS DE SILICONE**

**Margarida Mizue Hamada
Tufic Madi Filho
Carlos Henrique de Mesquita**

**Departamento de Proteção Radiológica
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
Comissão Nacional de Energia Nuclear - São Paulo**

SUMÁRIO

Efetou-se uma análise das características de acoplamento óptico de quatro produtos de silicone para utilização com detectores plásticos cintiladores. Esses estudos abrangeram a análise da transmitância, índice de refração dos produtos, a fluorescência do detector plástico e suas influências na resolução energética e altura de pulso do sistema. O presente trabalho esquematiza um programa de avaliação das qualidades dos produtos de acoplamento com os detectores cintiladores.

ABSTRACT

Properties of different optical oils and greases in the range of 320-560 nm were studied. Several parameters as the transmittance, index of refraction, plastic scintillator fluorescence emission and its influence in the resolution and pulse height of the detection system were described. This paper shows a design to analyse the optical quality or adequacy of the silicon oils and greases in the coupling between the detector and the photocathode of the photomultiplier.

INTRODUÇÃO

Estudos recentes têm mostrado a importância da graxa de acoplamento entre os detectores cintiladores com os sensores ópticos^(2,3). Price⁽¹⁾ descreve a influência do índice de refração da graxa de silicone na eficiência do sistema detector mostrando que as diferenças do índice de refração entre o detector e a graxa resultam na diminuição do ângulo crítico com conseqüente redução na eficiência da transparência do sistema. Mais recentemente Klamra et al.^(2,3) e Moszyński et al.⁽⁴⁾ estudaram o efeito óptico da transmitância e da eficiência de produção de fotoelétrons na região UV de diversas graxas de silicone, tipos de fotomultiplicadoras e configurações do detector. Relacionaram a eficiência na produção de fotoelétrons com a transmitância de diferentes graxas de silicone em acoplamento com o detector BaF₂.

No acoplamento de detectores plásticos cintiladores com fotomultiplicadoras tais considerações devem ser observadas. Relativamente, poucas informações têm sido dedicadas a esse tópico. A proposição deste trabalho consiste em avaliar alguns aspectos ópticos de acoplamento do detector plástico com produtos de silicone. Neste sentido foram apreciados quatro produtos de silicone comumente disponíveis em nossos laboratórios.

MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizou-se um detector plástico de 5x2mm (diâmetro e espessura) produzido no Laboratório de Desenvolvimento de Plásticos Cintiladores do IPEN⁽¹⁾ acoplado a uma fotomultiplicadora bialcalina RCA-6342A (EUA) de resposta espectral tipo S11. No acoplamento foram utilizados quatro produtos de silicone, a saber: Dow Corning 1McStokes (EUA), Dow Corning 0,5McStokes (EUA), General Electric RTV 615-A (EUA) e óleo de silicone Homma 47V-350 (Brasil). Para cada um desses produtos determinou-se a atividade de uma fonte ²⁴¹Am mantendo-se constantes as características dos equipamentos eletrônicos. Os espectros de energia da radiação α do ²⁴¹Am foram levantados com um analisador multicanal marca Norland-Ortec mod. 7450 (EUA). A transmitância desses acopladores foi medida na faixa de 320nm a 560nm utilizando um espectrofotômetro digital marca Micronal mod. B342II (Brasil).

O perfil de fluorescência do plástico cintilador foi levantado com um espectrofotômetro de fluorescência marca Perkin Elmer mod. MPS-2A (EUA), conforme descrito por Hamada e Mesquita⁽¹⁾.

Estudou-se o efeito da atenuação da luz em função da espessura da camada de acoplamento da graxa de silicone utilizando dois processos estimativos. Primeiramente, intercalou-se diferentes quantidades da graxa entre o detector e a fotomultiplicadora. Levantou-se o espectro de energia da radiação α do ²⁴¹Am anotando-se a posição relativa do canal de contagem máxima. A espessura da camada foi estimada pela expressão seguinte:

$$\text{Espessura(mm)} = \{m(g)/[10 \cdot \pi \cdot d(g \cdot \text{cm}^{-3}) \cdot [r(\text{cm})]^2]\} \quad (1)$$

onde $m(g)$ representa a massa da graxa de silicone intercalada, $d(g/\text{cm}^3)=0,975$ é a densidade da graxa e $r(\text{cm})=2,54$ representa o raio do detector plástico cintilador. O coeficiente de atenuação da luz foi estimado por regressão exponencial utilizando-se a equação (2):

$$\text{Altura de Pulso(\%)} = V_0 \cdot e^{-\sigma \cdot x} \quad (2)$$

onde V_0 corresponde ao valor da altura de pulso para $x=0$ (espessura ideal=0), σ é o coeficiente de atenuação linear de luz estimado por regressão de mínimos quadrados e x , a espessura da graxa intercalada (a Figura 4 mostra graficamente os resultados desse procedimento).

Outra estimativa do coeficiente de atenuação foi obtida por meio do perfil de transmitância espectrofotométrica de cada um dos quatro produtos. Neste procedimento preencheu-se um cubeta de quartzo com dimensões de $10 \times 10 \times 30 \text{mm}$ com cada um dos produtos de silicone. Em seguida levantou-se o valor da transmitância para o intervalo de comprimento de onda de 320 a 560 nm. Selecionou-se o nível de 420 nm para avaliar o grau de transparência do produto. O coeficiente de atenuação dos fótons à 420nm foi estimado pelo logaritmo neperiano da transmitância neste ponto dividido por 10. A constante 10 se deve ao fato da espessura do produto dentro da cubeta de quartzo ter sido 10mm. Posteriormente esse resultado foi expresso em percentagem de absorção por milímetro e lançado na Tabela 1.

Para uma comparação de transparência entre os produtos de silicone estudados, foram utilizados os resultados combinados da transmitância de cada produto de silicone e da fluorescência do detector plástico cintilador. Foi calculada a integral numérica do produto das funções de transmitância e fluorescência, conforme mostram as Figuras 2 e 3, e analiticamente expressa por:

$$\text{Transmitância Ponderada} = \int_{\lambda=320\text{nm}}^{\lambda=560\text{nm}} \text{Transmitância} \cdot \text{Fluorescência} \cdot d\lambda \quad (3)$$

onde $d\lambda$ representa a variação infinitesimal do comprimento de onda.

Fazendo incidir um feixe de luz obtido com lâmpada com gás de mercúrio e discriminando-se o comprimento de onda em 420 nm com um monocromador de rede de difração com largura de banda de 10nm, determinou-se o índice de refração dos produtos de silicone (n_{PRODUTO}) e do detector plástico. A razão entre o seno do ângulo incidente e do seno do ângulo refratado multiplicado por 1 ($n_{\text{AR}}(0)$) foi usada para calcular os índices de refração. A seguir calculou-se o ângulo de incidência para o qual o raio refratado emerge tangente à superfície (ângulo crítico ϕ_c) utilizando-se a fórmula (4):

$$\phi_c(\sigma_{\text{plástico}}) = \text{ARCSENO} [1,57 / \pi_{\text{PRODUTO}}] \quad (4)$$

onde 1,57 corresponde ao índice de refração do plástico cintilador, previamente determinado.

A resolução energética do sistema detector, i.é, a precisão na determinação da energia da radiação α do ^{241}Am , foi estimada pela fração da largura à meia altura de cada perfil espectrométrico da Figura 1 em relação à posição do canal do pico de contagem máxima respectivo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra os resultados dos espectros energéticos da radiação α obtidos com uma mesma fonte radioativa de ^{241}Am , mantendo-se o equipamento em idênticas condições e variando-se a marca da graxa de silicone para o acoplamento óptico.

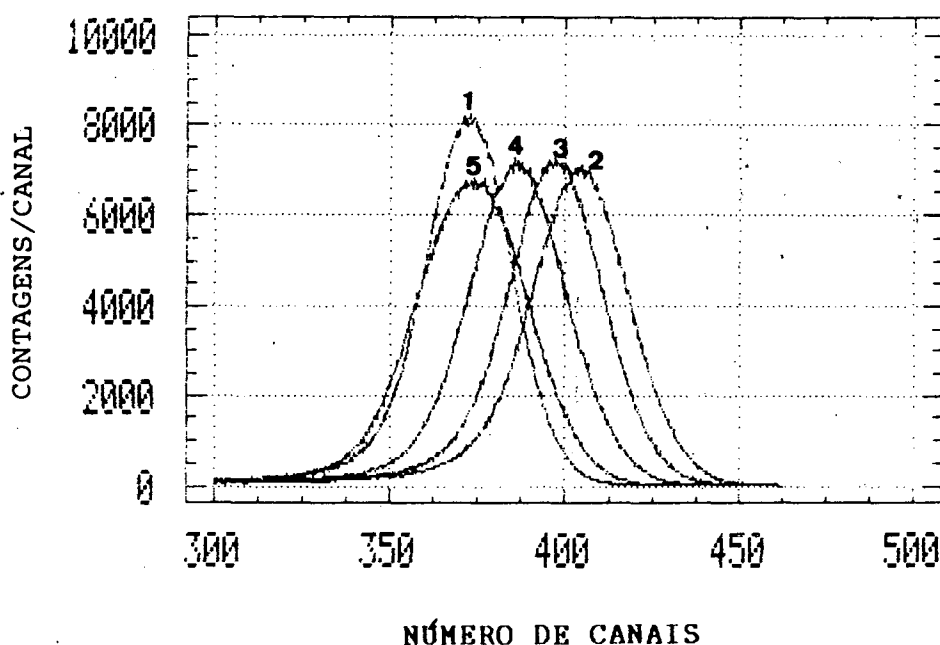


Figura 1 : Espectros da radiação α do ^{241}Am medidos pelo detector plástico cintilador acoplado à fotomultiplicadora com diferentes produtos à base de silicone. 1) Dow Corning 1McStokes, 2) Dow Corning 0,5McStokes, 3) RTV 615-A, 4) Homma 47V e 5) acoplamento direto (ar).

A discrepância da posição de cada espectro foi suposta inicialmente ser devida a efeitos de variação de ganho do equipamento eletrônico. Após a constatação da reprodutibilidade das medidas procurou-se outras hipóteses para explicar aqueles resultados. Dentre elas poder-se-ia admitir: I) a presença do efeito de diferentes coeficientes de atenuação de luz para cada um dos produtos de silicone; II) as diferenças de espessura das

camadas de silicone intercaladas entre o detector e a fotomultiplicadora; e finalmente, III) as diferenças do índice de refração do detector plástico e de cada camada de silicone.

A Tabela 1 mostra que o óleo de silicone Homma 47V seguido pela graxa Dow Corning 0,5McStokes acusam os menores coeficientes de atenuação a 420nm. Estes resultados podem ser também apreciados pela análise gráfica da Figura 2 na qual os perfis de transmitância do óleo Homma (nº 4) e Dow Corning 0,5McStokes (nº 2) se apresentam com seus perfis mais elevados (maior transmitância) principalmente na região UV. O item *Transmitância Ponderada* da Tabela 1 também confirma esses dados. Os perfis de transmitância espectrofotométricos, na região de fluorescência do detector plástico (entre 380 a 520 nm) são praticamente idênticos, a menos do produto RTV-615A que apresentou uma transmitância ponderada relativamente menor na região de fluorescência do detector plástico (55,9), conforme se observa na Tabela 1 e Figura 3.

Tabela 1
Características dos quatro produtos de silicone e do detector plástico cintilador.

PRODUTO	Altura Pulso (%)	Resolução (%)	Transmitância ^a (%)	Índice Refração	Angulo Crítico (grau)	Atenuação a 420 nm (%.mm ⁻¹)
Dow Corning 1McStokes	^b 72	9,9	58,4	1,50	73 ^c 19%	3,65 ^d 3,7
Dow Corning 0,5McStokes	100	10,1	61,3	1,58	90 0%	2,7
RTV 615-A ^e	92	10,2	55,9	1,60	90 0%	3,7
Homma 47V 350cStokes	81	11,2	60,6	1,46	68 24%	1,7
Sem Acoplam.	70	15,8	—	1 (2)	70 56%	—
Det. Plástico	—	—	46,4	1,57	—	—

^a - Transmitância ponderada estimada pela expressão (3)

^b - Valor relativo ao espectro de maior altura de pulso na Figura 1 (Dow Corning 0,5McStokes)

^c - Fração percentual dos fótons incidentes que não emergem do detector para a fotomultiplicadora.

^d - Determinado por regressão Figura 4

^e - Óleo à base de silicone produzido pela General Electric, EUA

(2) Referência nº 5, pag 177-8.

O produto Dow Corning 1McStokes, dentre os mais utilizados em acoplamentos (2,3), paradoxalmente mostrou o menor índice relativo

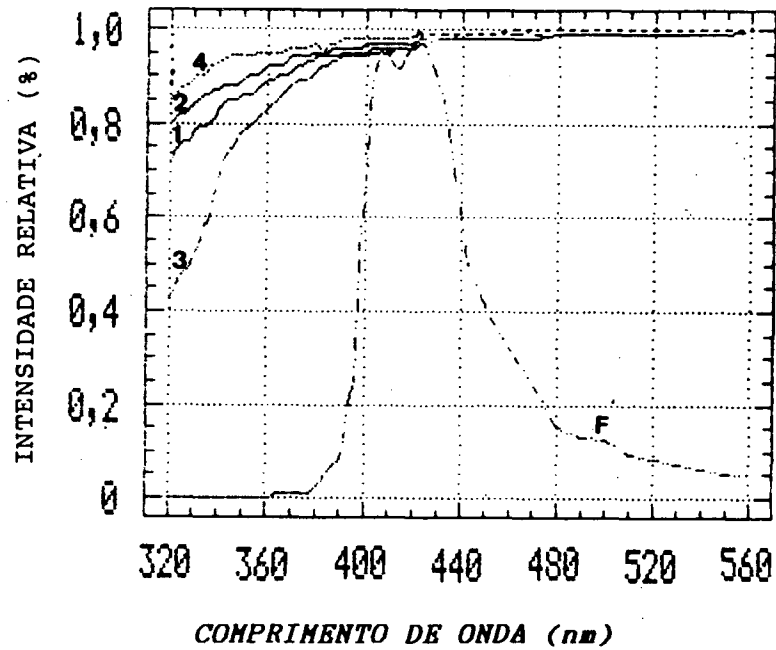


Figura 2 : Perfil de fluorescência do detector plástico cintilador (F) e transmitância dos quatro produtos de silicone. (1)-Dow Corning 1McStokes, (2)Dow Corning 0,5McStokes, (3)RTV-615A e (4)Homma 47V.

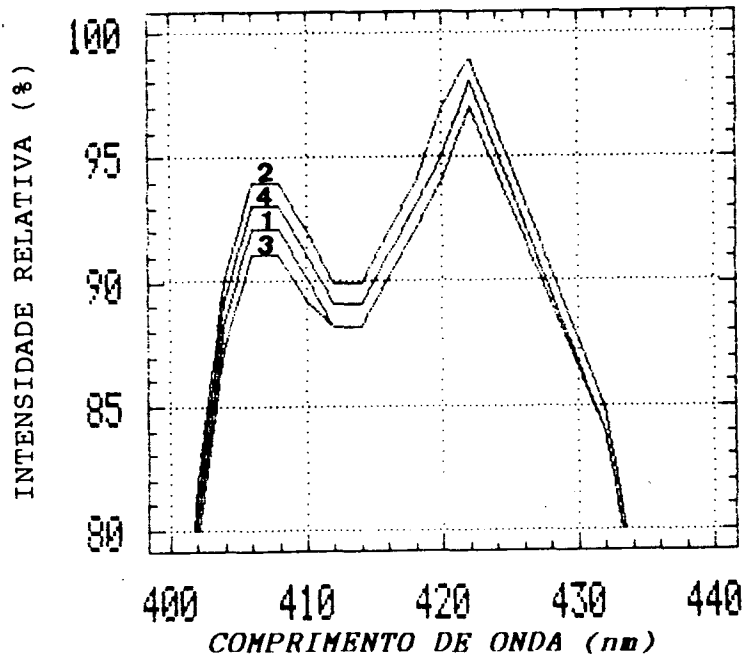


Figura 3 : Transmitância ponderada pelo perfil de fluorescência do detector plástico cintilador de acordo com a equação (3). Vista expandida da região 400-440 nm.

de altura de pulso, conforme Tabela 1 e Figura 1 (nº 1). Pelo efeito combinado dos dados da Tabela 1 sugere-se que o índice de refração desse produto, sendo menor do que o do detector plástico provoque conseqüentemente perdas por reflexão da ordem de 19%. A sua transparência é relativamente menor do que a de outros produtos. A sua alta viscosidade pode levar a camadas mais espessas de acoplamento. É razoável supor que, num processo de acoplamento, a espessura da graxa alcance valores da ordem de 0,5mm. Esta espessura poderá, de acordo com a expressão (2) e Figura 4, contribuir com 2% de atenuação do número de fótons e conseqüentemente diminuir a altura relativa de pulso. Já o óleo Homma 47V-350, embora também apresente um índice de refração desfavorável de 1,46 e ângulo crítico de 68° (reflexão de 24%) por ser menos viscoso, conduz acoplamento com espessura mais fina e conseqüentemente com menor absorção. Associado a isto, seu coeficiente de atenuação, na faixa de fluorescência do detector plástico, corresponde a menos da metade do produto de maior viscosidade (1,7%.mm⁻¹ versus 3,7%.mm⁻¹, Tabela 1). Assim, este produto em condições normais poderá apresentar maior altura relativa de pulso.

Coeficiente de Atenuação... = (3.65±0,64) % .mm⁻¹
 Coeficiente de Explicação r² = 91,51 %

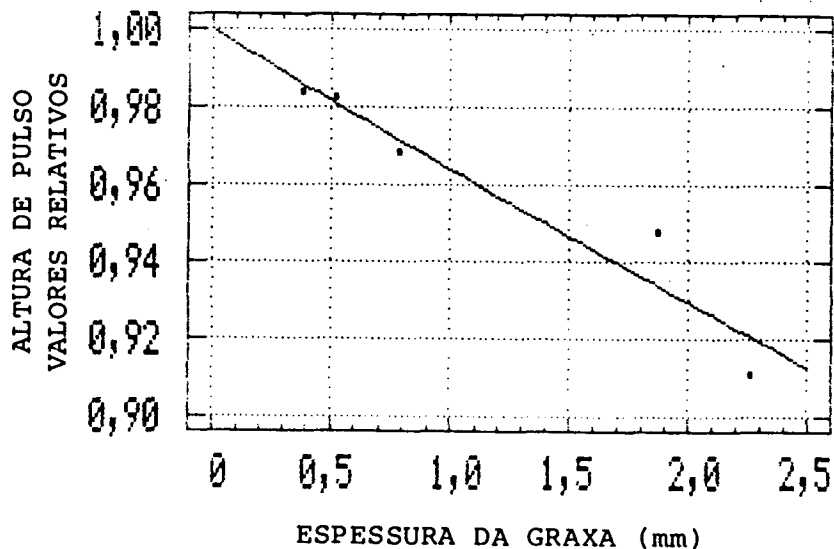


Figura 4 : Relação exponencial entre a Altura de Pulso Relativa (Número do canal de contagem máxima %) em função da espessura de silicone intercalado entre o detector e a fotomultiplicadora.

Essas análises devem levar em conta a montagem física final do sistema. Graxa com maior viscosidade permite melhor fixação do detector à fotomultiplicadora, evitando a formação de vacúolos (bolhas) no acoplamento. Nesses casos as graxas de maior viscosidade poderão apresentar melhores resultados. Por outro lado quando esse requisito não for preponderante, outros produtos siliconizados, mais econômicos, poderão ser usados sem comprometer a qualidade do acoplamento.

Os valores de resolução mostrados na Tabela 1, a menos de suas imprecisões experimentais, apresentam praticamente os mesmos níveis de qualidade. Os valores apresentados sugerem que o produto de 1McStokes produz o melhor resultado. Entretanto julga-se que os mesmos são muito próximos e que provavelmente esses resultados podem oscilar em torno da resolução de aproximadamente 10%, conforme anteriormente já relatado⁽¹⁾.

CONCLUSAO

Neste trabalho foi desenvolvida uma estratégia de análise de qualidade para selecionar produtos de acoplamento para a utilização em detectores plásticos cintiladores. Vários fatores devem ser levados em conta. Basicamente os critérios devem levar em consideração os parâmetros de transparência, índice de refração, viscosidade e finalmente custo ou disponibilidade do produto. Constatou-se nestes experimentos que um produto nacional atende razoavelmente às necessidades de acoplamento, a menos do item viscosidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Dra. Linda V.E. Caldas pelo contínuo estímulo, apoio científico e revisão do texto e aos técnicos Sr. Gilberto da Cunha Albano e Srta. Claudia Pereira Alvim pela dedicação mostrada nas fases experimentais.

BIBLIOGRAFIA

1. HAMADA, M.M. & MESQUITA, C.H. Preparação de detectores plásticos cintiladores e caracterização dos parâmetros físico-químicos. São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - CNEN/SP (IPEN Pub. 216), 1988.
2. KLAMRA, W.; LINDBLAD, Th.; MOSZYNSKI, M.; NORLIN, L.O. Properties of optical greases for BaF₂ scintillators. In: Nuclear Instr. and Meth., A254:85-7, 1987.
3. KLAMRA, W.; LINDBLAD, Th.; MOSZYNSKI, M.; NORLIN, L.O.; WEIMER, J. Properties of BaF₂ scintillator working with p-terphenyl wavelength shifter. In: Nuclear Instr. and Meth., A265:485-9, 1988.
4. MOSZYNSKY, .; ALLEMAND, R.; CORMORECHE, E.; LAVAL, M.; ODRU, R.; VACHER, J. Further study of scintillation counters with BaF₂ crystals for time-of-flight positron tomography in Medicine. In: Nuclear Instr. and Meth., 226:534-41, 1984.
5. PRICE, W.J. Scintillation detectors. In: McGraw-Hill Book Company, Inc. Nuclear Radiation Detection. New York, v. 1, cap.7, p.162-210, 1958.