

CÁLCULO DA NÃO-UNIFORMIDADE E ASSIMETRIA DE UM APLICADOR DE BETATERAPIA DE $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ BASEADOS NA NORMA NCS.

Calculation of non-uniformity and asymmetry of an applicator for betatherapy of $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ according to standard NCS.

Talita Salles Coelho^{1*}, Marco Antônio Rodrigues Fernandes^{2*}, Helio Yoriyaz^{1*}, Milena Giglioli^{1*}

¹Centro de Engenharia Nuclear – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN/USP

* tasallesc@ipen.br; hyoriyaz@ipen.br; mgiglioli@ipen.br

²Departamento de Dermatologia e Radioterapia – Faculdade de Medicina de Botucatu – FMB – UNESP/Botucatu

* marco@cetea.com.br

Resumo

Os aplicadores de betaterapia de $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ fabricados nas décadas de 90 ainda estão em uso, por possuírem uma meia-vida de 28,5 anos. A maioria destes aplicadores só possui certificado de calibração dado pelos seus fabricantes, onde poucos foram recalibrados. Desta forma a NCS publicou recentemente o report 14, que abrange recomendações sobre procedimentos e detectores utilizados na dosimetria beta. Baseado nestas recomendações foi realizado neste trabalho um cálculo de não-uniformidade e assimetria de um aplicador de $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$, utilizando o filme radiocrômico como detector. Os resultados dos cálculos ficaram dentro dos limites estipulados pelo NCS.

Abstract

Betherapy's applicators of $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ manufactured in the decades of 1990 are still in use, due its half-life of 28.5 years. The most of these applicators has only calibration certificate given by its manufacturers, and few of these were calibrated again. Then, NCS recently published the report 14, that covers respects about procedures and detectors used in beta dosimetry. Based in these recommendations, it were realized, in this work, a calculation of non-uniformity and asymmetry of the applicator of $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$, using radiochromic film like a detector. The calculation's results are in agreement with the stipulated limits by NCS.

1. Introdução

A betaterapia é uma modalidade de radioterapia que utiliza fontes emissoras de radiação do tipo beta (β) para prevenção e tratamento de doenças dermatológicas tais como quelóides e algumas lesões bastante superficiais da pele, e doenças oftalmológicas como pterígio. A betaterapia administrada com placa oftalmológica de ^{90}Sr , impede a formação da nova cicatriz por inibição das células endoteliais dos brotos vasculares, com conseqüente inibição da migração fibroblástica [1],[2].

Os aplicadores de betaterapia mais comumente usados no Brasil possuem como elementos emissores de radiação o $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$. Estes aplicadores normalmente são constituídos de placas metálicas nas quais o ^{90}Sr é depositado em uma das superfícies. A face da placa colocada em contato com a pele ou com a esclera é coberta por um plástico de polietileno de espessura de aproximadamente de 1,0 mm, no sentido de barrar os elétrons de baixa energia que são gerados no decaimento do ^{90}Sr . Estes aplicadores têm como barreira primária um material de baixo número atômico como o plástico de espessuras de aproximadamente 10,0 mm, para a proteção do profissional durante o manuseio [3],[4],[5],[6].

É estimado que cerca de um terço das clínicas que realizam aplicação de betaterapia não realizam dosimetria de seus aplicadores, tendo em vista que a dosimetria destes aplicadores de $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ é um procedimento bastante complexo devido à altos gradientes de dose e baixo poder de penetração das partículas e no caso dos aplicadores côncavos a geometria da fonte dificulta ainda mais a dosimetria, fazendo-se necessário que o campo de radiação seja minuciosamente definido, para garantir a reprodutibilidade nos laboratórios [7].

Tentando minimizar esta estimativa a NCS (*Netherlands commission on radiation dosimetry*) publicou recentemente um *report* 14, que aborda um sistema de controle de qualidade para estes aplicadores, indicando os equipamentos mais apropriados para a realização desta dosimetria beta e quais os parâmetros que devem ser determinados. Dentre estes parâmetros estão os cálculos da taxa de dose, da não-uniformidade e da assimetria máxima destes aplicadores de $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$.

Quanto aos detectores, o filme radiocrômico é citado como o mais apropriado para verificação dos perfis de distribuições radiais de doses.

Os filmes radiocrômicos mais comumente utilizados são da marca *GafChromic*[®], produzidos pela *International Specialty Products* (ISP), eles são incolores e quando o componente ativo (corante especial) deles são expostos a radiação desenvolvem uma coloração azul. Este filme não necessita de sala escura durante o manuseio, é auto revelador, ou seja, não requer nenhum tipo de revelador nem fixador, pode ser utilizado para dosimetria em regiões com alto gradiente de dose e possui uma resolução espacial mais alta do que a dos filmes radiográficos [8].

Dentre os diversos tipos de filmes radiocrômicos o *GafChromic*[®] EBT QD+, tem se mostrado o mais sensível, sendo seu uso designado para uma escala de dose de 0,01 à 8 Gy [8].

A utilização e o manuseio destes aplicadores no serviço de radioterapia são limitados pelos dados que são fornecidos pelos fabricantes internacionais, além disso, a rotina exaustiva dos físicos nos serviços de radioterapia não favorece a execução de procedimentos de dosimetria para confirmação dos parâmetros físicos destas fontes, o que, de certa forma, pode comprometer a qualidade e flexibilidade do tratamento.

Não existe concordância internacional sobre os procedimentos de calibração de aplicadores de $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$. A dose de radiação na superfície da placa pode variar em até 57% entre laboratórios de dosimetria, o que torna problemática a intercomparação dos resultados [9].

2. Objetivo

Realizar a dosimetria de um aplicador de betaterapia de $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$, utilizando filme radiocrômico, para obtenção do perfil de distribuição radial de dose, e cálculos de não-uniformidade e assimetria, baseados nas recomendações da NCS.

3. Metodologia

3.1. Dados Experimentais

Para obtenção do perfil de distribuição radial de dose foi utilizado o filme radiocrômico *GafChromic*[®] EBT QD+. Foi analisado o perfil de distribuição de dose de um aplicador de betaterapia de $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$, de uso em dermatologia (prevenção de quelóides), da marca Amershan, com taxa de dose de 0,0353 Gy/s, correspondendo a uma atividade de 20,38 mCi (2009) e diâmetro ativo de 22,57 mm. A Figura 1 apresenta uma visão lateral da fonte radioativa.



Figura 1: Aplicador de betaterapia de $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$.

Como o filme já estava pré calibrado, o tempo de exposição da fonte foi de 30 s, proporcionando uma dose de radiação de 1,06 Gy, tendo em vista que essa dose esta situada na região de linearidade da curva característica do filme.

Uma relação direta com a taxa de dose é obtida quando a não-uniformidade é determinada na distância de referência de 2,0 mm da superfície da fonte. Desta forma, uma placa de acrílico de 2,0 mm de espessura foi interposta entre a fonte de $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ e o filme radiocrômico.

3.2. Cálculos através da norma NCS

Uma vez irradiado o filme, este foi scaneado, gerando assim uma imagem digitalizada, na forma de matriz de *pixels*. Identificado o *pixel* de maior valor, pode-se correlacioná-lo com a dose máxima absorvida no campo de radiação. A partir deste *pixel*, analisando a área total e restante de radiação, são localizados os *pixels* que apresentam 50% da dose máxima.

A não-uniformidade e a assimetria da fonte podem ser definidas usando o conceito de campo centrado e procurando a variação máxima em uma área circunvizinha e estendida do centro do campo até 50% da curva de isodose.

O campo centrado é definido como o centro da curva de isodose de 50%, isto é, o centro da área no qual a dose relativa medida no plano, na profundidade de 2,0 mm, é 50% ou mais da dose máxima neste plano [8].

Matematicamente pode-se calcular o campo centrado a partir de uma matriz de *pixels* em um sistema de coordenadas cartesianas, como apresenta a Figura 2, onde as esferas azuis indicam a localização das coordenadas $x_i \pm$ e as esferas

amarelas indicam a localização das coordenadas $y_{j\pm}$.

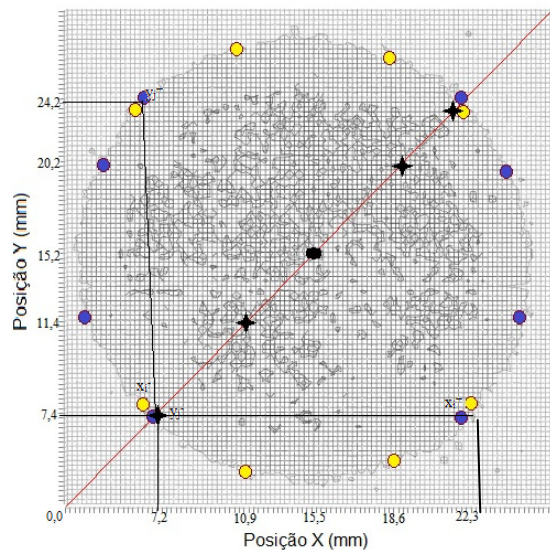


Figura 2: Matriz de Campo Centrado

As coordenadas da fonte centrada (x_c, y_c) são dadas por:

$$x_c = \left(\frac{1}{n} \right) \sum_{i=1}^n \frac{x_i^- + x_i^+}{2} \quad (4.1)$$

$$y_c = \left(\frac{1}{m} \right) \sum_{j=1}^m \frac{y_j^- + y_j^+}{2} \quad (4.2)$$

onde n é o número de linhas e m o número de colunas contendo valores da dose maior ou igual do que 50% da dose máxima da curva de isodose e x_i e y_i são as posições x e y de 50% da dose máxima determinada pela interpolação linear de i -ésima linha e j -ésima coluna. O sinal positivo (+) indica os valores acima e a direita, e o negativo (-) indica abaixo e a esquerda.

A interpolação linear apresentada na figura 2 foi feita da seguinte maneira:

- primeiro passo: Foi suposto uma localização do centro da imagem, isto é, metade do n° total de linhas e metade do n° total de colunas da matriz de *pixels*. Em seguida, foi traçada uma reta da origem, passando pelo centro, escolhendo alguns pontos aleatórios na reta, dentro da curva de isodose de 50%. Estes pontos estão representados na Figura 2 por estrelas pretas.

- segundo passo: Foram encontrados os valores de x_i^+ , x_i^- , y_j^+ , y_j^- , x_{50k} e y_{50k} , determinados pelos quatro pontos escolhidos na reta. Por exemplo, o primeiro ponto de coordenada x é o x_{50k} , para encontrar o valor de y_j^- basta seguir com a régua nesta coluna do x_{50k} até encontrar o *pixel* de 50% ou mais da curva de isodose. Identificando a

coordenada em y , para este ponto y_j^- , para encontrar o y_j^+ , desloca-se ascendentemente com a régua nesta mesma coluna até o último *pixel* de 50% ou mais da curva de isodose.

O valor de y_{50k} , é o valor da coordenada do primeiro ponto em y , o x_i^- foi encontrado seguindo com a régua nesta linha do y_{50k} até localizar o *pixel* de 50% ou mais da curva de isodose, este *pixel* é o x_i^- . Para encontrar o x_i^+ , deslocou-se à direita com a régua nesta mesma linha até o último *pixel* de 50% ou mais da curva de isodose, este é o x_i^+ .

A tabela 1 apresenta os valores de x_i^+ , x_i^- , y_j^+ , y_j^- , x_{50k} e y_{50k} , encontrados a partir da matriz de *pixels* e os valores de x_c e y_c calculados através das fórmulas 4.1 e 4.2, que ilustram uma determinação de conte centrada.

Tabela 1: Coordenadas do campo centrado

i	y_{50k}	x_i^-	x_i^+	$(x_i^- - x_i^+)/2$
1	7,4	7,2	23,0	15,1
2	11,4	4,9	25,8	15,3
3	20,2	4,9	25,4	15,1
4	24,2	7,9	22,6	15,2
				15,2= x_c
j	x_{50k}	y_j^-	y_j^+	$(y_j^- - y_j^+)/2$
1	7,2	7,4	23,0	15,2
2	10,9	4,9	26,1	15,5
3	18,6	4,9	27,0	15,9
4	22,3	7,0	24,0	15,5
				15,5= y_c

Uma vez encontrado as coordenadas da fonte centrada (x_c, y_c) , deve-se calcular o R_{50} . O R_{50} é definido como o raio médio da curva de isodose de 50% de uma distribuição de dose no qual 100% é dado pela dose máxima [10]. O raio médio (R_{50}) pode ser calculado pela equação 4.3:

$$R_{50} = \left(\frac{1}{q} \right) \sum_{k=1}^q \sqrt{(x_c - x_{50k})^2 + (y_c - y_{50k})^2} \quad (4.3)$$

Onde: q é o número total de pontos utilizados na interpolação linear, neste trabalho, $q=4$.

Calculado o R_{50} , determina-se o $0,8R_{50}$, este valor delimita a região de interesse para cálculo de não-uniformidade e de assimetria.

A NCS propõe usar o conceito no qual a não-uniformidade apresenta um valor percentual da variação máxima da taxa de dose da fonte. A taxa de dose é definida sobre o eixo axial da fonte a 2,0 mm de profundidade $D_{r=0} = D(0,2)$.

A fórmula 4.4 é utilizada para cálculo de não-uniformidade e a fórmula 4.5 para cálculo de assimetria:

$$U_F = \max(|D_{\min} - D_{r=0}|, |D_{\max} - D_{r=0}|) / D_{r=0} \times 100\% \quad (4.4)$$

Onde: D_{\max} e o D_{\min} são, respectivamente, os valores de dose máxima e mínima dentro da área de $0,8R_{50}$.

A assimetria (U_{AS}) é a variação da dose calculada sobre um círculo com raio r . O máximo desta variação, em uma escala de $r=0$ a $0,8R_{50}$ determina o valor da assimetria [36]:

$$U_{AS} = \max\{|D_{\max}(r) - D_{\min}(r)| / D_{\text{avg}}(r)\} \times 100\% \quad (4.5)$$

onde D_{avg} é a dose média absorvida, em um conjunto de valores variando de $r=0$ a $0,8R_{50}$.

4. Resultados

A Figura 3 apresenta o perfil de distribuição radial de dose, obtido da medida experimental com o filme radiocrômico, utilizando o aplicador de betaterapia de $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$. Nesta figura todos os *pixels* são apresentados como pontos, a área sombreada do gráfico contém pontos com dados utilizados no cálculo da não uniformidade.

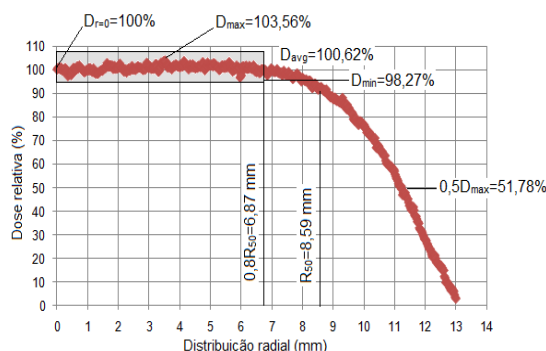


Figura 3: Perfil de distribuição radial da dose.

Os dados encontrados na Figura 3 foram utilizados nas equações 4.4 e 4.5 a fim de se obter os valores de não-uniformidade e assimetria deste aplicador de betaterapia.

A não-uniformidade calculada foi de 1,73%, e o de assimetria foi de 5,25%. Os valores calculados estão dentro dos limites estabelecidos pela norma, onde a não-uniformidade deve ser menor do que 30% e a assimetria menor do que 20%.

5. Discussão e Conclusões

Os cálculos de não-uniformidade e assimetria proposto pela norma NCS, foram realizados de maneira rápida e eficaz, podendo ser aplicados em

qualquer clínica que possua aplicadores de $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$, tendo em vista que a dosimetria destes aplicadores asseguram uma melhor qualidade no tratamento dos pacientes.

O filme radiocrômico, *GafChromic*® EBT QD+, utilizado neste trabalho como detector do perfil de distribuição radial da dose, se mostrou um equipamento adequado para este tipo de dosimetria, uma vez que possui uma alta resolução espacial, além de seu manuseio ser prático e rápido, devido suas características de auto-revelação e a não necessidade de uma câmara escura durante o seu manuseio.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem a Comissão nacional de Energia Nuclear (CNEN), pelo apoio financeiro parcial.

7. Referências

- [1] FUKUSHIMA, S.; INOUE, T.; OZEKI, S. Postoperative irradiation of pterygium with ^{90}Sr eye applicator. *Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys.*, 1999, pp. 597-600.
- [2] FERNANDES, M.A.R.; OLIVEIRA Jr, B; COELHO, T.S.; YORIYAZ, H. ; LOUZADA, M.J.Q.; FERNANDES, M.F.S. Avaliação dosimétrica e aspectos clínicos da betaterapia em quelóides e pterígio. *Periódico: UNIVERSITAS –Revista do Centro Universitário Católica Salesiano Auxilium- Araçatuba*, São Paulo, 2009, pp. 133-144.
- [3] BENTEL, G.C.. *Radiation Therapy Planning*. New York: Mc Graw Hill, 1996.
- [4] FERNANDES, M.A.R.; PERNOMIAN, A.C.; COELHO, T.S.; LOUZADA, M.J.Q.; FERNANDES, M.F.S. Desenvolvimento de uma Metodologia para Verificação da Distribuição da Radiação em Aplicadores de Betaterapia de Estrôncio-90. *Anais do IX Congresso da Sociedade Brasileira de Radioterapia e VII Jornada de Física Médica*, Gramado, R.S., 2007.
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Calibration of photon and beta ray sources used in brachytherapy*. IAEA-TECDOC-1274, Vienna, 2002.
- [6] OLIVEIRA, M.L. *Desenvolvimento de um sistema de referência e de uma metodologia para calibração de aplicadores oftálmicos utilizados em braquiterapia*. 2005. Tese (Doutorado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo.
- [7] NETHERLANDS COMMISSION ON RADIATION DOSIMETRY. *Quality control of sealed beta source in brachytherapy*. NCS report 14, Netherlands, 2004.
- [8] INTERNATIONAL SPECIALTY PRODUCTS. *Gafchromic® EBT Self-Developing Film for Radiotherapy Dosimetry*. 2007. Disponível em: <http://online1.ispcorp.com/_layouts/Gafchromic/content/products/ebt/pdfs/EBTwhitepaper.pdf> Acesso em: 9 mar. 2010.
- [9] SALVAJOLI, J.V.; SOUHAMI, L.; FARIA, S.L. *Radioterapia em Oncologia*, Rio de Janeiro, R.J.: MEDSi, 1999.

[10] THE INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS. *Dosimetry of beta-rays and low-energy photons for brachytherapy with sealed sources*, ICRU report n°72, 2004, England.