

# RASTREABILIDADE DAS REFERÊNCIAS METROLÓGICAS EM DOSE ABSORVIDA NA ÁGUA DO PROGRAMA DE QUALIDADE EM DOSIMETRIA\*

Carlos Eduardo deAlmeida<sup>1</sup>, Mariella Affonseca<sup>1</sup>, Carmen Sandra Guzmán Calcina<sup>1</sup>, Evandro Pires<sup>1</sup>, Heloisa Carvalho<sup>2</sup>, Antonio Peregrino<sup>1</sup>, Edilson Pelosi<sup>3</sup>, Ivaldo Humberto Ferreira<sup>4</sup>

**Resumo** **OBJETIVO:** Este trabalho tem por objetivo apresentar a estrutura solidamente estabelecida de rastreabilidade dos padrões ionométricos e do sistema de medidas com dosímetros termoluminescentes, como parte da confiabilidade do Programa de Qualidade em Dosimetria (PQD), que visa a garantir o mais elevado nível de exatidão às suas medidas. **MATERIAIS E MÉTODOS:** A exemplo de outros programas, usaram-se dosímetros termoluminescentes (DTL 937) na forma de pó, colocados em uma cápsula de plástico, em “kits” específicos para cada aplicação, os quais foram enviados, por via postal, aos centros participantes. **RESULTADOS:** Os resultados da intercomparação realizada entre o Laboratório de Ciências Radiológicas da Universidade do Estado do Rio de Janeiro e o EQUAL-ESTRO para o feixe de raios gama de <sup>60</sup>Co, expressos para (1σ), e os resultados das medidas de dose absorvida, obtidos com as câmaras do Programa EQUAL e as câmaras do PQD, apresentaram discordância menor que 0,5%. **CONCLUSÃO:** Dos resultados conclui-se que o PQD alcançou o nível desejado de confiabilidade, necessário à implementação do Programa.

*Unitermos:* Controle da qualidade; Radioterapia; Intercomparação dosimétrica; Dosimetria termoluminescente; TLD.

**Abstract** *Traceability of metrologic references of dose absorbed to water used in a Dosimetry Quality Assurance Program.*

**OBJECTIVE:** To present the solidly established traceability structure for ionometric standards and for thermoluminescent dosimetry system that ensures reliability of the Dosimetry Quality Assurance Program and is aimed to certify the highest level of accuracy of the measurements. **MATERIALS AND METHODS:** Thermoluminescent powder dosimeters (DTL 937) placed into plastic capsules and packed in specific kits for each intended application were mailed to the participant centers. **RESULTS:** The results of the intercomparisons performed between “Laboratório de Ciências Radiológicas da Universidade do Estado do Rio de Janeiro” and EQUAL-ESTRO for the beam of <sup>60</sup>Co gamma rays, expressed for (1σ), and the results of the dose absorbed measurements obtained with the chambers of the Program EQUAL and the chambers of the Dosimetry Quality Assurance Program were lower than 0.5%. **CONCLUSION:** Based on these results we concluded that the Dosimetry Quality Assurance Program reached the desired level of reliability to allow its implementation.

*Key words:* Quality assurance; Radiotherapy; Dosimetric intercomparison; Thermoluminescent dosimetry; TLD.

## INTRODUÇÃO

A sofisticação tecnológica crescente no uso de feixes de radiação na radioterapia tem exigido uma contínua busca pela redução das incertezas associadas à dose

realmente dada ao volume tumoral de um paciente.

Uma das formas de os centros de radioterapia conseguirem uma melhoria na uniformidade dos procedimentos dosimétricos é participar de programas de intercomparação metrologicamente consistentes e com enfoque educativo, e que incluam visitas de auditoria que busquem esclarecer as dúvidas remanescentes.

Na área da radioterapia três programas de grande porte vêm sendo conduzidos: pela Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA), que focaliza os países que preferencialmente não tenham programas estabelecidos; pela European Society for Therapeutic Radiology and Oncology

(EQUAL-ESTRO), que visa às instituições européias; e pelo Radiological Physics Center (RPC-Houston), que atende as instituições americanas. No Brasil, o Programa de Qualidade em Radioterapia (PQR) atende as instituições filantrópicas, e o Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) o utiliza como parte do seu programa de fiscalização.

O Programa de Qualidade em Dosimetria (PQD), a exemplo dos outros programas, utiliza dosímetros termoluminescentes (TLD) na forma de pó, acondicionados em uma cápsula de plástico, em “kits” específicos para cada aplicação, que são encaminhados, por via postal, aos centros participantes. Para isso, duas situações são

\* Trabalho realizado no Laboratório de Ciências Radiológicas (LCR) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, RJ.

1. LCR-UERJ.

2. Sociedade Brasileira de Radioterapia (SBRT).

3. Associação Brasileira de Física Médica (ABFM).

4. EQUAL-ESTRO Measuring Laboratory, Service de Physique, Institut Gustave-Roussy, France.

Endereço para correspondência: Carlos E. de Almeida. Laboratório de Ciências Radiológicas, UERJ. Rua São Francisco Xavier, 524, Pav. Haroldo Lisboa da Cunha, sala 136, Maracanã. Rio de Janeiro, RJ, 20550-013. E-mail: cea71@yahoo.com.br

Recebido para publicação em 18/5/2004. Aceito, após revisão, em 15/9/2004.

estudadas: condições de referência (medidas realizadas em uma única profundidade na água), de acordo com o programa da IAEA<sup>(1)</sup>, e condições de não referência (medidas realizadas em diferentes condições experimentais), de acordo com o programa EQUAL-ESTRO<sup>(2)</sup>.

Este trabalho tem por objetivo apresentar a estrutura solidamente estabelecida de rastreabilidade dos padrões ionométricos e do sistema de medidas com TLD, como parte da confiabilidade do PQD, que visa a garantir o mais elevado nível de exatidão às suas medidas.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Dosímetro

O fluoreto de lítio utilizado é o DTL 937 (Philitech Company, França), dopado com Na, Mg e Ti e enriquecido com <sup>7</sup>Li (99,994%). O DTL 937 foi escolhido por apresentar uma taxa de desvanecimento do sinal menor que 5% por ano na temperatura ambiente, além de distribuição favorável da informação dosimétrica na curva de termoluminescência, que deve ser idêntica à usada no programa ESTRO<sup>(2)</sup>, e por apresentar número efetivo  $Z_{\text{eff, LiF}} = 8,14$ , o qual é próximo ao do tecido humano,  $Z_{\text{eff, tecido}} = 7,42$ .

Além disso, devido à grande precisão que deve ser alcançada, o material em forma de pó não necessita calibração individual como os “chips” sólidos, permitindo várias leituras por ponto.

Para as irradiações, o pó é acondicionado em cápsulas cilíndricas opacas, idênticas às usadas pela IAEA<sup>(1)</sup> e ESTRO<sup>(2)</sup>. Cada dosímetro contém cerca de 160 mg de pó, permitindo cinco leituras por ponto de medida<sup>(2)</sup>, o que resulta numa melhora significativa da precisão da medida.

Para a leitura, o pó é retirado das cápsulas e transferido para recipientes de aço inoxidável, com ajuda de um dispensador manual. Cada recipiente recebe uma massa de cerca de 31 mg<sup>(2)</sup>, sendo as leituras realizadas em um dos dois leitores Harshaw modelo QS 3500 do programa.

### Medidas de controle do processo de medida com dosímetros TLD

Como parte do programa de garantia da qualidade do processo de medida, inter-

comparações foram realizadas entre o PQD e o EQUAL-ESTRO. Dosímetros foram irradiados no Brasil, fazendo-se uso de um equipamento de <sup>60</sup>Co (Theratron 80), nas condições de referência (a 5 cm de profundidade, distância fonte-superfície (DFS) de 80 cm, campo de radiação de 10 × 10 cm<sup>2</sup>, e dose de 2 Gy). Os dosímetros foram inseridos em um tripé de plástico fornecido pela IAEA e colocados em um recipiente cúbico de acrílico com água para simular o corpo humano, na geometria definida de acordo com a Figura 1A.

A fórmula utilizada para a determinação da dose absorvida realizada com TLD está descrita na Equação 1.

$$D_m = R(E,D) \cdot N \cdot f_{lin} \cdot f_{en} \cdot f_{hol} \quad (1)$$

onde: R(E,D) é a média das leituras do dosímetro (LiF); N é o fator de calibração; e um conjunto de fatores de correção:  $f_{lin}$  – linearidade de resposta,  $f_{en}$  – dependência energética sempre que a qualidade do feixe usado seja diferente do feixe de referência (a magnitude deste fator varia de 1 a 0,97 para feixes com energias entre o <sup>60</sup>Co e raios X de 25 MV, respectivamente)<sup>(3)</sup>,  $f_{hol}$  – correção para a atenuação do suporte de acrílico, definida como 0,7% para <sup>60</sup>Co e 2% para raios X de 25 MV na profundidade de 10 cm, e 2,1% e 1% na profundidade de 20 cm, respectivamente<sup>(3)</sup>.

### Medidas de controle das câmaras de ionização

Internamente, os padrões ionométricos do programa foram controlados periodicamente com uma fonte de referência de <sup>90</sup>Sr e realizadas intercomparações com padrões semelhantes do programa EQUAL.

Para isso, foi enviada ao laboratório do EQUAL a câmara de referência PTW modelo 30001 calibrada no Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes do Instituto de Radioproteção e Dosimetria (LNMRI-IRD), Rio de Janeiro, em termos de kerma no ar para <sup>60</sup>Co, associada a um eletrômetro Keithley modelo 35040 calibrado no Laboratório Primário Francês. Essa câmara foi intercomparada com outras duas câmaras (IC-70 e 1602) do EQUAL-ESTRO.

As câmaras foram irradiadas em uma unidade de <sup>60</sup>Co (Theratron 80), equipamento de referência do EQUAL, nas condições de referência semelhantes às utilizadas para os TLD em geometria mostrada na Figura 1B. Foram também irradiadas com feixe de fótons de 6 MV produzido por um acelerador linear Siemens modelo Primus nas condições de referência: 10 cm de profundidade, com distância fonte-superfície de 100 cm, campo de 10 × 10 cm<sup>2</sup>, e dose de 2 Gy, na mesma geometria utilizada para o <sup>60</sup>Co.

A dose absorvida na água foi avaliada de acordo com os protocolos de dosimetria IAEA TRS-277<sup>(4)</sup> e IAEA TRS-398<sup>(5)</sup>.

### Avaliação das incertezas

A incerteza total combinada, associada à medida da grandeza dose absorvida com TLD, foi estimada pelo método convencional da raiz quadrada da soma do quadrado

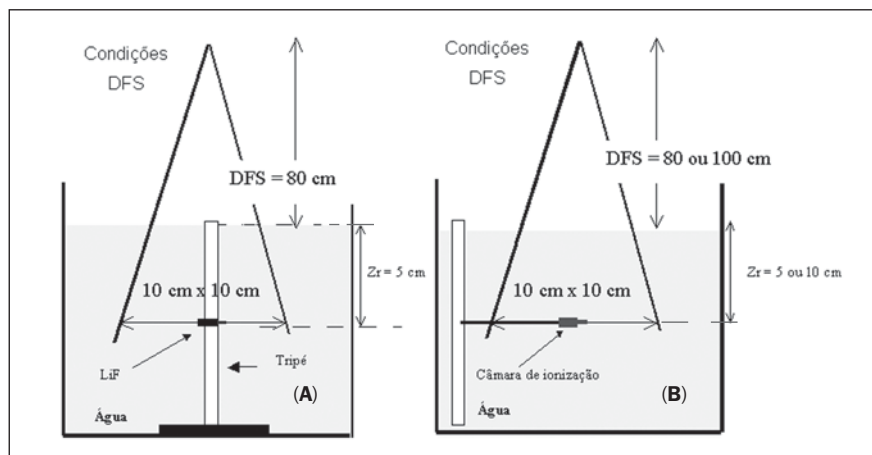


Figura 1. Condições da geometria de irradiação para (A) dosímetros TLD usando feixes de <sup>60</sup>Co, e (B) câmara de ionização usando feixes de <sup>60</sup>Co e de fótons de 6 MV.

das incertezas individuais dos tipos A e B, associadas às leituras referentes à câmara de ionização de referência e das incertezas específicas do sistema dosimétrico com TLD, tais como: desvanecimento do sinal, linearidade de resposta, espalhamento no suporte e fator de correção para a energia estudada quando o feixe do usuário é diferente daquele usado para calibrar o TLD.

As incertezas combinadas ( $1\sigma$ ) relativas ao processo global do sistema de dosimetria com TLD são de 2,2% para o feixe de raios gama do  $^{60}\text{Co}$  e 2,4% para feixes de raios X de alta energia<sup>(6)</sup>.

### Estrutura organizacional

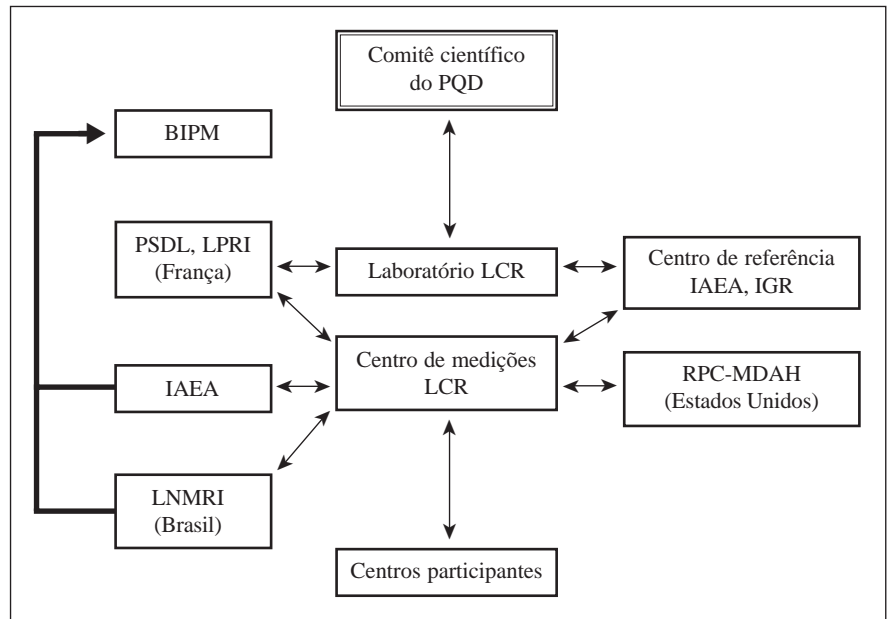
A estrutura organizacional formal do PQD é constituída de um coordenador que supervisiona os trabalhos dos responsáveis técnicos e de laboratório e mantém a ligação com os programas da ESTRO e da IAEA, e um comitê composto de um físico representando a Associação Brasileira de Física Médica (ABFM) e um radioterapeuta representando a Sociedade Brasileira de Radioterapia (SBRT).

As doses medidas pelo PQD são rastreadas ao Bureau International des Poids et Mesures” (BIPM, França) através do Secondary Standards Dosimetry Laboratories (SSDL), do LNMRI-IRD (Rio de Janeiro), e do Laboratório Primário da França PSDL (BNM/LNHB, França), através das intercomparações com o EQUAL-ESTRO. O Laboratório de Medidas do PQD está também ligado ao Laboratório de Dosimetria da IAEA e mais recentemente ao RPC-Houston através de intercomparações periódicas entre os diversos programas (Figuras 2 e 3).

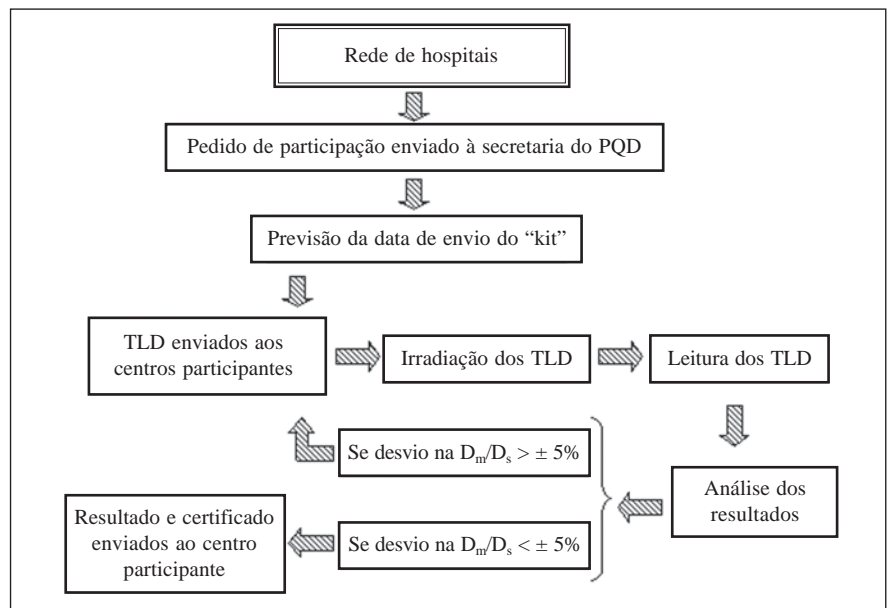
### RESULTADOS

A rastreabilidade das medidas com TLD realizadas pelo LCR é regularmente verificada através de um programa de qualidade interno, de auditorias externas e de intercomparações periódicas realizadas anualmente. Os resultados da última intercomparação realizada entre o LCR e o EQUAL-ESTRO para o feixe de raios gama de  $^{60}\text{Co}$ , expressos para ( $1\sigma$ ), são apresentados na Tabela 1.

A dose absorvida na água é medida com câmara de ionização de acordo com os



**Figura 2.** Estrutura do PQD e suas ligações com outros laboratórios de dosimetria e organizações internacionais.



**Figura 3.** Organização interna do PQD.

**Tabela 1** Resultados da intercomparação realizada com TLD. Os dosímetros foram irradiados no Brasil e avaliados no laboratório da EQUAL. Unidade: Theratron 80; Feixe: raios gama cobalto-60; TLD "batch" nº: DTL 937/N.

Pontos	Profundidade na água (cm)	Distância de irradiação DFS (cm)	Tamanho de campo (cm × cm)	Valor declarado PQD (Gy)	Valor medido EQUAL (Gy)	Valor medido EQUAL / Valor declarado PQD
1	5	80	10 × 10	2,000	2,002	0,999
2	5	80	10 × 10	2,000	1,999	1,000
3	5	80	10 × 10	2,000	2,005	0,998
Média				2,000	2,002	0,999

**Tabela 2** Resultados da intercomparação entre as câmaras de ionização do PQD e da EQUAL-ESTRO, realizadas na França (EQUAL).

Feixe	Profundidade na água (cm)	Distância de irradiação DFS (cm)	Tamanho de campo (cm × cm)	IC-70 PTW 30001 nº 1601	IC-70 PTW 30001 nº 1602	Dose (EQUAL)
						Dose (PQD) (PTW 30001 nº 1601/ PTW 30001 nº 1602)
<sup>60</sup> Co RX-6MV	5	80	10 × 10	1,001	—	—
	10	100	10 × 10	—	0,994	1,001

protocolos de dosimetria IAEA TRS-277 e IAEA TRS-398. Os resultados das medidas de dose absorvida, obtidos com as câmaras do Programa EQUAL e as câmaras do PQD, apresentaram discordância menor do que 0,5%, conforme apresentados na Tabela 2.

## DISCUSSÃO

Com o objetivo de garantir o grau necessário de consistência metrológica o LCR implantou, como parte do PQD, um sistema de rastreabilidade dos seus padrões ionométricos à rede metrológica internacional. Este objetivo foi realizado através

de intercomparações periódicas e de um sistema de rastreabilidade das medidas com TLD, através de troca de amostras com vários laboratórios nacionais e internacionais. Os resultados obtidos estão perfeitamente compatíveis com o nível de excelência exigido para programas deste tipo.

A implementação de um programa de dosimetria postal exige um sistema de controle consistente e um nível de coerência metrológica compatível com o grau de exigência da radioterapia moderna. É fundamental que os sistemas de medidas e gerencial demonstrem um alto nível de qualidade, a fim de garantir a sua credibilidade junto aos seus usuários.

## CONCLUSÃO

Os resultados preliminares obtidos permitem concluir que o programa PQD alcançou o nível desejado de confiabilidade necessário à implementação do programa.

## REFERÊNCIAS

1. Izewska J, Andreo P. The IAEA/WHO TLD postal programme for radiotherapy hospitals. *Radiother Oncol* 2000;54:65–72.
2. Ferreira IH, Dutreix A, Bridier A, Chavaudra J, Svensson H. The ESTRO-QUALity assurance network (EQUAL). *Radiother Oncol* 2000;55:273–84.
3. Ferreira I, Richter J, Dutreix A, Bridier A, Chavaudra J, Svensson H. The ESTRO-EQUAL Quality Assurance Network for photon and electron radiotherapy beams in Germany. *Strahlenther Onkol* 2001;177:383–93.
4. International Atomic Energy Agency. Absorbed dose determination in photon and electron beams: an international code of practice. Technical Reports Series no. 277, 2nd ed. Vienna: IAEA, 1987.
5. International Atomic Energy Agency. Absorbed dose determination in external beam radiotherapy: an international code of practice for dosimetry based on standards of absorbed dose to water. Technical Reports Series no. 398. Vienna: IAEA, 2000:II-179.
6. Izewska J, Novotny J, Van Dam J, Dutreix A, Van der Schueren E. The influence of IAEA standard holder on dose evaluated from TLD sample. *Phys Med Biol* 1996;41:765–73.