



## Determinação das condições de radiação em tomografia computadorizada (TC) para calibração de dosímetros

L. C. Andrade<sup>a</sup>; J. G. P. Peixoto<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Instituto de Radioproteção e Dosimetria - IRD, Rio de Janeiro, RJ, Brasil;

<sup>b</sup> Universidade do Estado do Rio de Janeiro – Uerj, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

lucio-andrade@hotmail.com

---

### RESUMO

RQT (IEC 61267, 2005) é a qualidade padrão para calibração de câmaras de ionização tipo lápis utilizadas na dosimetria realizada em tomógrafos. A calibração dessa câmara ainda é pouco oferecida no Brasil. Haja visto, a grande demanda para esse serviço, o LMNRI/IRD torna conhecida a qualidade de radiação RQT caracterizada em seu laboratório padrão secundário. A caracterização segue as recomendações da AIEA segundo TRS 457. O feixe é caracterizado em função da tensão (PPV), filtração adicional (mm Cu) e camada semi-redutora (mm Al). A incerteza expandida para um fator de abrangência de  $k = 2$  na calibração de câmaras tipo lápis realizadas no LNMRI é de 2,81%.

*Palavras-chave: Qualidade de radiação RQT, CT, dosimetria em CT.*

### ABSTRACT

RQT (IEC 61267, 2005) is the standard quality for calibration of pen type ionization chambers used in dosimetry performed in tomographers. The calibration of this camera is still little offered in Brazil. Be seen, in great demand for this service, the LMNRI / IRD makes known the RQT radiation quality characterized in its standard secondary laboratory. The characterization follows the recommendations of the IAEA according to TRS 457. The beam is characterized as a function of voltage (PPV), additional filtration (mm Cu) and HVL (mm Al). The expanded uncertainty for a coverage factor of  $k = 2$  in calibration of pencil-type ionization chambers performed in LNMRI is 2.81%.

*Keywords: RQT radiation quality, CT, dosimetry in CT.*

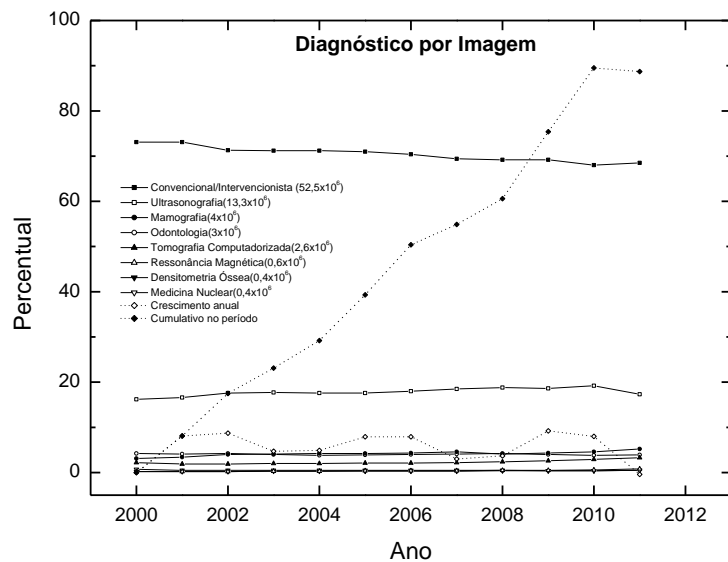
---

## 1. INTRODUÇÃO

Entre as técnicas de radiodiagnóstico utilizadas em clínicas e laboratórios, a tomografia computadorizada (TC) permite a obtenção de uma imagem 3D do interior do corpo humano. Embora o potencial diagnóstico da TC seja indiscutível, muitos cuidados devem ser tomados, pois se trata de radiação ionizante e as doses são, quase sempre, mais altas do que as doses nos procedimentos de radiologia convencional [1].

Foram obtidos os resultados de pesquisa no banco de dados do Sistema único de Saúde (SUS) [2] para solicitação de exames de diagnóstico por imagem. Constavam destas solicitações não somente os exames radiológicos, mas também ultrassonografia, ressonância magnética e medicina nuclear, figura 1. Observamos que o diagnóstico convencional e intervencionista, a mamografia e a tomografia computadorizada participam com aproximadamente (70, 4 e 2) %, respectivamente [3].

**Figura 1:** Resultados dos exames de diagnóstico por imagem realizados no Sistema Único de Saúde (SUS) no período de 2000 a 2011 [3].



O sistema dosimétrico utilizado para determinação da dose absorvida em tomógrafos é a câmara de ionização tipo lápis. Uma das características típicas dessa câmara é que ela apresenta resposta uniforme a radiações incidentes em todos os ângulos ao redor do seu eixo.

Portanto, ela é adequada para utilização em equipamentos em que o tubo de raios X realiza o movimento de rotação, como no caso da TC [4].

A câmara de ionização tipo lápis, como qualquer detector de radiação utilizado em sistemas de radiodiagnóstico, necessita ser comparada a padrões rastreados em condições de radiação padronizadas em que simule o feixe não atenuado de um tomógrafo, essas são as condições de radiação que caracteriza a Qualidade de Radiação em Tomografia (RQT). A qualidade RQT é a condição de radiação padrão em TC [5].

A calibração das câmaras de ionização tipo lápis é um serviço pouco oferecido nos laboratórios de calibração em radiodiagnóstico no Brasil. Existe uma grande demanda desse serviço no país. O Laboratório Nacional de Metrologia das radiações Ionizantes – LNMRI/IRD é o órgão designado pelo INMETRO para calibração e rastreabilidade em radiações ionizante. Dessa forma, torna-se conhecida a qualidade de radiação em tomografia computadorizada caracterizado no LNMRI e a rastreabilidade da câmara de ionização tipo lápis padrão secundário.

## 2. CARACTERÍSTICAS DA QUALIDADE DE RADIAÇÃO RQT

A qualidade padrão de radiação em TC (RQT) é caracterizada em termos de tensão de pico prático (kV), filtração adicional (mm Cu) e 1ª CSR (mm Al), tabela 1 [5].

Para caracterizar a RQT adiciona-se uma filtração em cobre às qualidades RQR 8, RQR 9 e RQR 10 obtendo assim às RQT 8, RQT 9 e RQT 10 respectivamente [4, 5].

**Tabela 1:** Qualidade de radiação RQT, a filtração adicional total é composta de alumínio e cobre (mm Al + mm Cu), sendo o alumínio característico da filtração adicional da qualidade de radiação RQR [5], [6]. A condição de referência RQT 9 é considerada como referência para o estudo da dependência energética.

Qualidade	PPV (kV)	Filtração Adicional (mm Al + mm Cu)	1ª CSR (mm Al)
RQT 8	100	RQR 8 + 0,20	6,9
RQT 9	120	RQR 9 + 0,25	8,4
RQT 10	150	RQR 10 + 0,30	10,1

A filtração adicional total é composta de alumínio e cobre (mm Al + mm Cu), sendo o alumínio característico da filtração adicional da qualidade de radiação RQR. Estas qualidades de radiação representam o feixe incidente sobre o paciente na radiografia geral, fluoroscopia e aplicações dentárias. Elas podem ser realizadas por meio de um tubo de raios X de ânodo de

tungstênio [3]. As características das qualidades de radiação da série RQR, de interesse para este trabalho, estão na tabela 2 [7].

A primeira camada semi-redutora (CSR) é definida pela espessura de um material qualquer, necessário para reduzir pela metade a intensidade inicial de um feixe de raios X. A CSR é um parâmetro diretamente relacionado a qualidade do feixe, quanto maior for a energia do feixe, maior será a espessura necessária para reduzir sua intensidade à metade. A CSR é utilizada como uma medida da penetrabilidade da radiação. No radiodiagnóstico essa filtração é obtida em alumínio [7].

**Tabela 2:** Qualidades de radiação da série RQR, sendo utilizadas RQR 8, RQR 9 e RQR 10 utilizadas para RQT, o coeficiente de homogeneidade (h) são para as condições RQR.

Qualidades de Radiação	Tensão no tubo de raios X (kV)	1ª CSR (mm Al)	h
RQR 8	100	3,97	0,68
RQR 9	120	5,00	0,68
RQR 10	150	6,57	0,72

A tensão de pico prático (Practical Peak Voltage – PPV) é uma grandeza puramente elétrica. Está relacionada com a melhor qualidade de imagem, contraste, considerando a menor dose possível para o paciente. A IEC 61267 [5] caracteriza as qualidades de radiação da série RQR em termos de PPV e conseqüentemente as da série RQT.

### 3. METODOLOGIA

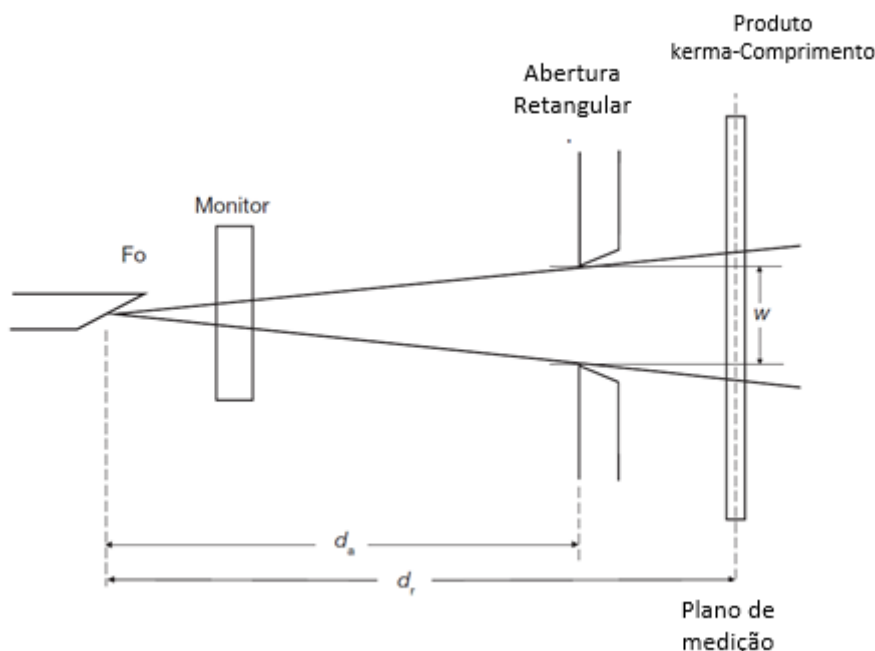
#### 3.1. Caracterização do feixe de radiação

Consistiu na obtenção da espessura adicional em cobre (Cu) necessária para que a razão entre as taxas de kerma no ar, com e sem a 1ª CSR nominal, fosse de 0,50 com variação de  $\pm 3\%$ . Haja visto que:

- i. Tomando como ponto de partida as qualidades RQR já caracterizada no LNMRI adicionou-se a filtração de 0,20, 0,25 e 0,30 mm Cu à RQR 8, RQR 9 e RQR 10, respectivamente.
- ii. Mediu-se as taxas de kerma no ar na posição de ensaio (100 cm) sem e com a 1ª CSR nominal (tabela 2) e foi obtida a razão entre as taxas.

- iii. Foi realizado um ajuste na espessura da filtração de cobre (Cu) até que a razão entre as taxas de kerma no ar estivesse entre 0,485 e 0,515 [6].
- iv. Para obtenção das curvas de atenuação foram adicionados filtros de alumínio (Al) até que a intensidade do feixe fosse reduzida em 90%.
- v. O colimador para calibração das câmaras de ionização tipo lápis deve possuir uma abertura retangular capaz de permitir que apenas uma parte do volume sensível seja irradiada. Dessa forma, foi construído um colimador a partir de uma placa de chumbo (Pb) com 5 mm de espessura revestido com alumínio (Al). Foi feita uma abertura retangular com divergência para contribuições de baixa dispersão, como sugerido na figura 2. A abertura possui 42 mm (eixo horizontal) x 34 mm (eixo vertical).

**Figura 2:** Arranjo de ensaio para a calibração das câmaras de CT:  $d_r$  é a distância entre o ponto focal ( $F_o$ ) e o ponto de teste;  $d_a$  é a distância entre o ponto focal e o plano da abertura. As aberturas projetadas para contribuições de baixa dispersão.  $F_p$ : ponto focal e AP: abertura retangular (adaptada TRS 457, 2007)[4].

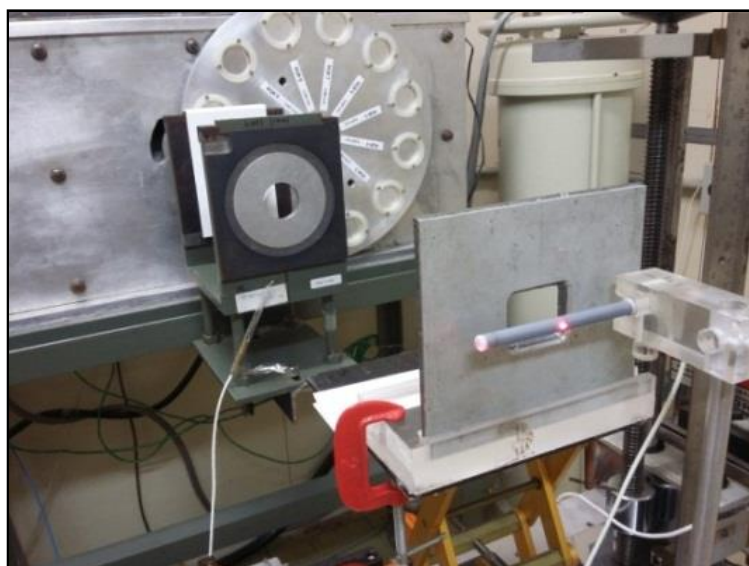


### 3.2. Calibração de câmaras tipo lápis

Conforme descrição apresentada nos procedimentos de calibração do LNMRI em atendimento as recomendações internacionais [8], a calibração da câmara do usuário consistiu na obtenção do coeficiente de calibração e dos fatores de correção, de forma que:

- i. O colimador foi posicionado de forma que a distância entre o ponto focal e o plano de abertura fosse  $d_a = 97,2$  cm, modelo sugerido pelo TRS 457 (figura 2),
- ii. Mediu-se o kerma no ar com a câmara de referência,  $d_r = 100,0$  cm (figura 2),
- iii. Na mesma posição da câmara de referência, mediu-se o kerma no ar com a câmara do usuário,  $d_r = 100,0$  cm (figura 2),
- iv. Repetiu-se os procedimentos de forma que ambas as câmaras, referência e usuário, fossem irradiadas nas qualidades RQT 8, RQT 9 e RQT 10. A câmara foi calibrada nas posições horizontal e vertical em relação ao plano da bancada de calibração, a figura 3 apresenta o posicionamento de calibração na posição horizontal.

**Figura 3:** Arranjo experimental para calibração da câmara de ionização tipo lápis na posição horizontal no LNMRI/IRD. Colimador com abertura de 42 mm (eixo horizontal) x 34 mm (eixo vertical). Composto de chumbo (Pb) revestido de alumínio (Al) [4].



O kerma no ar no ponto de teste é obtido pela equação:

$$K = \frac{N_{PKL} \cdot Q \cdot M \cdot d_a}{w \cdot d_r} \quad (1)$$

Onde:

**$K$**  : kerma no ar (Gy)

**$M$**  : leitura da câmara corrigida para as condições ambientais (C)

**$w$**  : largura da abertura (cm)

**$d_r$** : distância entre o ponto focal e o ponto de medida (cm)

**$d_a$**  : distância entre o ponto focal e o plano do colimador (cm)

**$N_{PKL}Q$** : coeficiente de calibração do **Produto Kerma - Comprimento** para qualidade de radiação Q (Gy.cm/C)

O fator de correção para cada qualidade é obtido pela equação:

$$k_Q = \frac{N_{PKL,Q_{8,10}}}{N_{PKL,Q_9}} \quad (2)$$

Onde:

$N_{PKL,Q_9}$ : coeficiente de calibração para qualidade de referência RQT 9

$k_Q$  : fator de correção para cada qualidade

$N_{PKL,Q_{8,10}}$ : coeficiente de calibração para as qualidades RQT 8 e RQT 10

### 3.2.1. Avaliação de incertezas

A incerteza-padrão combinada  $u_c(\mathbf{y})$  foi o parâmetro para expressar quantitativamente a incerteza do resultado das medições. Sendo  $u_a$  e  $u_b$  as incertezas do tipo A e do tipo B, respectivamente, a incerteza padrão combinada foi expressa por:

$$u_c(\mathbf{y}) = \sqrt{u_a^2 + u_b^2} \quad (3)$$

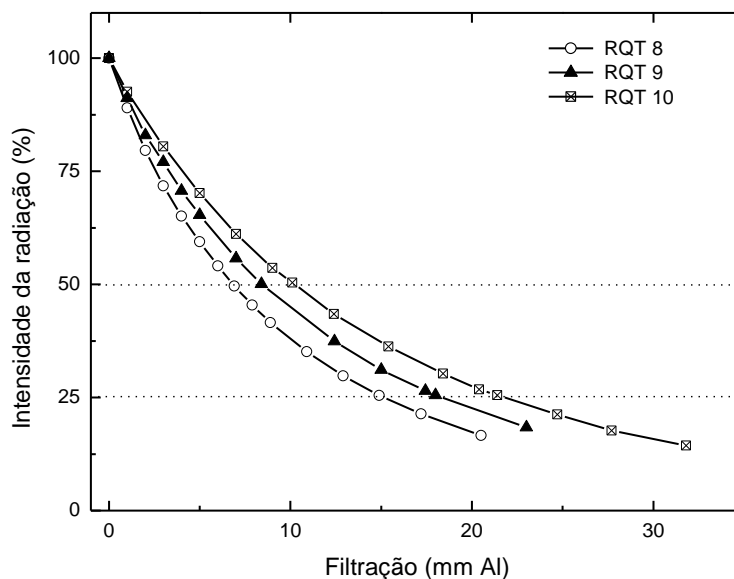
A metodologia para determinação das incertezas do tipo A e do tipo B foi sugerida pelo Guia para Expressão da Incerteza de Medição [9], são apresentadas na tabela 5.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Caracterização da RQT

Estabelecido as espessuras de filtração adicional em cobre (Cu), coluna 4 da tabela 3, foram obtidos através das curvas de atenuação (figura 4), as 1ª CSR's e seus coeficientes de homogeneidade, tabela 3.

**Figura 4:** Curvas de atenuação característica das qualidades de radiação RQT implantadas no LNMRI/IRD.



**Tabela 3:** Qualidade de radiação RQT implantada no LNMRI/IRD. Filtração total, primeira camada semi-redutora e coeficiente de homogeneidade.

Qualidade	Tensão em PPV (kV)	Corrente (mA)	Filtração total <sup>1</sup> mm (Al + Cu)	1 <sup>a</sup> CSR <sup>2</sup> (mm Al)	1 <sup>a</sup> CSR <sup>3</sup> (mm Al)	h <sup>4</sup>	Razão <sup>5</sup>
RQT 8	100,2 ± 2,0	3,84	3,329 + 0,195	6,9	6,80	0,807	0,496
RQT 9	118,5 ± 2,4	2,92	3,617 + 0,244	8,4	8,38	0,838	0,500
RQT 10	146,2 ± 2,9	2,15	4,114 + 0,294	10,1	10,12	0,866	0,504

<sup>1</sup> Sem considerar filtração inerente do tubo (1 mm Be)

<sup>2</sup> Nominal [5]

<sup>3</sup> LNMRI/IRD

<sup>4</sup> Coeficiente de homogeneidade

<sup>5</sup> A razão precisa estar entre 0,485 e 0,515 [6]

#### 4.2. Calibração

A calibração da câmara de ionização tipo lápis foi realizada nas posições horizontal e vertical. O colimador foi posicionado à  $97,2 \pm 0,1$  cm da fonte. A câmara de ionização posicionada à  $100,0 \pm 0,1$  cm da fonte.

**Tabela 4:** Calibração com câmara de ionização tipo lápis posicionada na horizontal e na vertical, na qualidade de RQT. Coeficiente de calibração na horizontal  $N_{p_{KL}} = 8,531 \times 10^7$  Gy.cm/C, na vertical  $N_{p_{KL}} = 9,279 \times 10^7$  Gy.cm/C.

Qualidade	Filtração Total	1 <sup>a</sup> CSR	Horizontal		Vertical	
	(mm Al + mm Cu)	(mm Al)	(mGy/min) <sup>1</sup>	k <sub>Q</sub>	(mGy/min) <sup>1</sup>	k <sub>Q</sub>
RQT 8	3,329 + 0,195	6,80	41,55	0,992	34,53	1,016
RQT 9	3,617 + 0,244	8,38	44,48	1,000	34,90	1,000



RQT 10	4,114 + 0,294	10,12	48.67	1,003	40,37	1,010
--------	---------------	-------	-------	-------	-------	-------

<sup>1</sup> Taxas de kerma no Ar

### 4.3. Avaliação de Incertezas

A tabela 5 apresenta a memória de cálculo da avaliação de incerteza da calibração de uma câmara de ionização tipo lápis.

## 5. CONCLUSÃO

A razão entre as taxas de kerma no ar, sem e com filtração adicional equivalente a primeira CSR, está em conformidade com o estabelecido na IEC 61267 [2], ou seja, os valores obtidos estão no intervalo de 48,5% a 51,5%, obtendo-se um percentual de 49,6% na RQT 8, 50% na RQT 9 e 50,4% na RQT 10. Esse resultado leva a concluir que o LNMRI estabeleceu as condições de radiação que caracteriza a qualidade de radiação da série RQT, tornando-o apto para atender a demanda de serviço de calibração de câmaras de ionização tipo lápis.

*Tabela 5: Avaliação de incertezas associadas à calibração da câmara 10x5-3CT na qualidade de radiação RQT 9 caracterizada no LNMRI/IRD [4].*

Fontes de Incertezas	Tipo A (%)	Tipo B (%)
<b>Repetitividade (n = 5) da câmara de referência</b>	0,06	
Calibração		0,75
<b>Repetitividade (n = 5) da câmara do usuário</b>	0,6	
Determinação do fator $N_{p_{KL}}$ ou $N_{p_{KL}} \cdot k_Q$		1,09
<b>Fatores que afetam ambas as câmaras</b>		
<b>Colimador</b>		
Posicionamento do colimador		0,14
Abertura retangular		0,10
Resolução do instrumento utilizado		0,07
Calibração do instrumento utilizado		0,01
<b>Termômetro</b>		
Resolução		0,00014
Repetitividade	0,40	
<b>Barômetro</b>		
Calibração		0,086
Resolução		0,00027
Repetitividade	0,0007	
<b>Eletrômetro</b>		
Resolução		0,12
<b>Homogeneidade de campo</b>		
Vertical		0,014
Horizontal		0,069
<b>Incerteza padrão combinada</b>	1,41 %	
<b>Incerteza Expandida ( 95,45% )</b>	2,81 %	

### ***Agradecimentos***

Agradecimentos à Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN pelo apoio financeiro.

### **REFERENCIAS**

- [1] P. C. Shrimpton and B. F. Wall, “The increasing importance of X-ray computed tomography as a source of medical exposure.,” *Radiat Prot Dosim*, vol. 57, pp. 413–5, 1995.
- [2] SUS, “Resultados do número de procedimentos de Diagnóstico por Imagem pelo SUS.,” 2012. [Online]. Available: [www.datasus.gov.br](http://www.datasus.gov.br).
- [3] J. G. P. Peixoto and C. E. DeAlmeida, “Protocolo técnico da comparação bilateral dos laboratórios de calibração em Radiologia Diagnóstica: Parte 1,” 2015.
- [4] L. C. Andrade, “Condições de radiação para tomografia computadorizada: Determinação e comparação,” 2016.
- [5] IEC, “IEC 61267 - Medical diagnostic X-ray equipment - Radiation conditions for use in the determination of characteristic,” 2005.
- [6] IAEA, “Technical Reports Series 457 - Dosimetry in diagnostic radiology: An international code of practice,” Vienna, Austria, 2007.
- [7] J. G. P. PEIXOTO, “Rastreabilidade e controle de qualidade em mamografia; Medidas e modelos,” Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2002.
- [8] ISO, “ISO/IEC 17025 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories,” 2005.
- [9] INMETRO, *GUM 2008 - Guia para a expressão de incerteza de medição*. 2008.

