

Condições de radiação em tomografia computadorizada (TC): determinação e calibração de dosímetros

ANDRADE LC¹, PEIXOTO JGP^{1,2}

¹ Instituto de Radioproteção e Dosimetria - IRD; ² Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

E-mail: lucio-andrade@hotmail.com

Resumo: RQT é o padrão para condições de radiação em tomografia computadorizada. Ela simula um feixe não atenuado de um tomógrafo. A câmara de ionização tipo lápis é o dosímetro utilizado em TC. O LNMRI tornou conhecida a caracterização das condições de radiação RQT e o padrão secundário em calibração para câmaras de ionização tipo lápis em seu laboratório. O feixe obtido possui as características exigidas pela norma IEC 61267. O resultado da calibração apresentou incerteza combinada expandida para 95,45 % de 2,22 %.

Palavras-chave: qualidade de radiação, TC, dosimetria em TC.

Abstract: RQT is the standard for radiation conditions in computed tomography . It simulates a beam unrelieved of a CT scanner . The camera pencil ionization dosimeter is used in CT. The LNMRI become known characterization of RQT radiation conditions and the secondary standard calibration for type pencil ionisation chambers in its lab. The obtained beam has the characteristics required by IEC 61267. The results of the calibration presented combined uncertainty expanded to 95.45% from 2.22% .

Keywords: radiation quality, CT, dosimetry in CT.

1. INTRODUÇÃO

O aumento da demanda na utilização da radiologia diagnóstica nos últimos anos, no país, revela a necessidade de verificação se a rastreabilidade dos equipamentos nos laboratórios e clínicas estão em conformidade com o sistema.(PEIXOTO, J. G.; ALMEIDA, 2015)

Os dosímetros utilizados nos sistemas de radiodiagnóstico precisam ser calibrados em condições de radiação padronizadas e instrumentos com rastreabilidade.

Entre as técnicas, em radiodiagnóstico, utilizadas em clínicas e laboratórios a tomografia computadorizada (TC) é a mais eficiente. Ela permite a obtenção de uma imagem em 3D do interior do corpo humano.

O dosímetro utilizado em tomógrafos é a câmara de ionização tipo lápis e a calibração desse tipo de câmara deve ser realizada numa condição de radiação que simule o feixe não atenuado de um tomógrafo, que são as condições de radiação RQT (IAEA, 2007)(IEC, 2005). Para obtenção da RQT é necessária prévia caracterização das condições de radiação RQR, que simula o feixe de raios X em radiodiagnóstico convencional e

aplicações odontológicas (IAEA, 2007) (PEIXOTO, J. G.; ALMEIDA, 2015).

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 as condições de radiação em tomografia computadorizada caracterizado no LNMRI e a rastreabilidade da câmara de ionização tipo lápis padrão secundário.

A Qualidade de Radiação em Tomografia – RQT é a condição de radiação padrão em TC (IEC, 2005)(IAEA, 2007).

2. FUNDAMENTOS

2.1. Características do feixe padrão

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 (IEC, 2005).

Para caracterizar a RQT adiciona-se uma filtração de cobre às qualidades RQR 8, RQR 9 e RQR 10 obtendo assim às RQT 8, RQT 9 e RQT 10 respectivamente (IAEA, 2007)(IEC, 2005).

Tabela 1: Condições de radiação RQT (IEC, 2005).

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

* Radiação de referência

A filtração adicional total é composta de alumínio e cobre (mm Al + mm Cu), sendo o alumínio característico da filtração adicional das condições de radiação RQR.

2.2. Características das condições 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 (IAEA, 2007). As características das qualidades de radiação da série RQR, de interesse para este trabalho, são dados na tabela 2.

Tabela 2: Qualidades RQR da Norma IEC 61267 (2005), utilizadas na RQT.

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

2.3. 1ª Camada semi-redutora

A primeira camada semi-redutora é definida pela espessura de um material qualquer, necessário para reduzir pela metade a intensidade inicial de um feixe de raios X. A CSR fala diretamente sobre a qualidade do feixe, pois, quanto mais energético (quanto maior for seu poder de penetração) maior será a espessura necessária para reduzir sua intensidade à metade. É importante numa medida de CSR usar os feixes bem colimados, pois com feixes divergentes, aparecerão radiações secundárias nos absorvedores, que contribuirão para aumentar a dose no instrumento de medida e que, aparentemente, irá fornecer uma CSR maior. A CSR é utilizada como uma medida da penetrabilidade da radiação. No radiodiagnóstico essa filtração é alumínio (PEIXOTO, J.G.P., 2002).

2.3. Medidas de tensão em Practical Peak Voltage (PPV)

Grandeza puramente elétrica. Está relacionada com a melhor qualidade de imagem (contraste) para a menor dose possível no paciente. A IEC 61267 (2005) caracteriza as qualidades de

radiação da série RQR em termos de PPV e consequentemente as da série RQT.

As medidas de PPV podem ser realizadas de forma não invasiva com o medidor externo Diavolt Universal PTW.



Figura 2: Diavolt kV_p and Dose Meter PTW.

3. METODOLOGIA

3.1. Caracterização do feixe

A cada uma das qualidades RQR mencionadas deve-se adicionar a filtração adicional em cobre 0,20 mm Cu na RQR 8, 0,25 mm Cu na RQR 9 e 0,30 mm Cu na RQR 10.

A caracterização consiste na obtenção de um feixe que possua a 1ª CSR dentro de um intervalo definido, tendo como valor central a 1ª CSR nominal em mm Al, tabela 1 (IEC, 2005)(IAEA, 2007).

Mede-se as taxas de kerma na posição de ensaio (1 m) sem e com a 1ª CSR nominal e verifica-se a razão entre elas. A razão das taxas deverá estar entre 0,485 e 0,515 (IAEA, 2007). Isso mostra que quando a razão se aproxima de 0,50 o feixe se torna mais parecido com o feixe padrão estabelecido na IEC 61267 (2005).

O ajuste na espessura da filtração de cobre deve ser feito até que a razão das taxas esteja dentro do intervalo definido.

A espessura da filtração total (mm Al + mm Cu) em que a razão das taxas de kerma no ar mais se aproximar de 0,50, dentro do intervalo definido, deverá ser adotada.

3.2. Colimador para câmaras tipo lápis

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.

A abertura retangular e a distância entre o colimador e a câmara de ionização tipo lápis devem ser precisamente conhecidas. A abertura (paralela ao eixo da câmara) deve ser entre 20 e 50 mm e uma largura correspondente a cerca de duas vezes o diâmetro da câmara. Deve-se posicionar a abertura em frente da câmara de TC, tudo devidamente alinhado, tubo de raios X, colimador e câmara. A câmara ficará a uma distância entre o colimador e a câmara de aproximadamente 30 mm (IAEA, 2007).

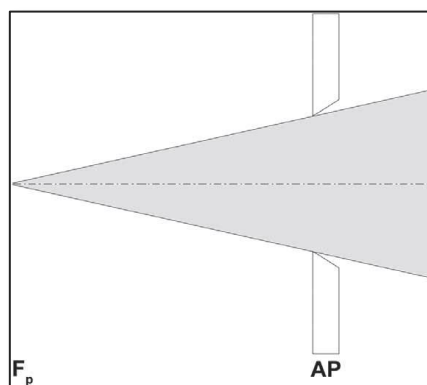


Figura 2: Desenho esquemático de aberturas projetadas para contribuições de baixa dispersão. F_p : ponto focal e AP: abertura retangular (adaptada TRS 457, 2007) (IAEA, 2007).

3.3. Calibração de câmaras tipo lápis

Com a câmara de ionização de referência, uma medição do kerma no ar é realizada primeiramente no plano de medida nas qualidades de radiação RQT. Em seguida, a

abertura retangular de chumbo é posicionada na frente da câmara do usuário.

A distância entre o colimador e a câmara de ionização deve ser precisamente conhecida, uma vez que a incerteza associada a essa distância servirá para avaliação da incerteza. (IAEA, 2007)(PEIXOTO, J. G. P. *et al.*, 2016).

O coeficiente de calibração é determinado pela equação:

$$N_{P_{KL}Q} = \frac{Kwd_r}{Md_a} \quad \text{Equação (1)}$$

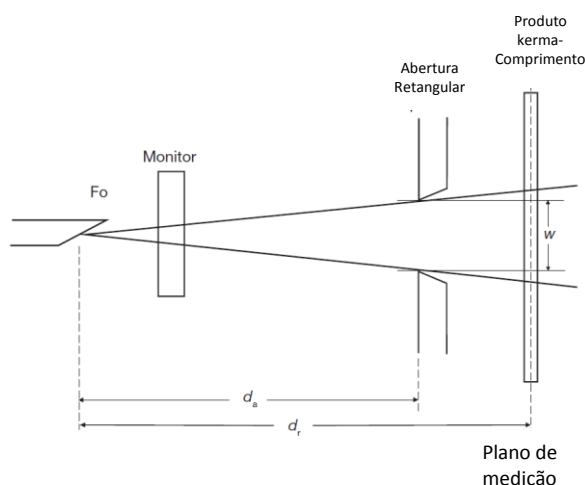


Figura 3: Arranjo de ensaio para a calibração das câmaras de CT: d_r é a distância entre o ponto focal (F_o) e o ponto de teste; d_a é a distância entre o ponto focal e o plano da abertura (IAEA, 2007).

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

$$K = \frac{N_{P_{KL}Q}Md_a}{wd_r} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

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

K : Kerma no ar no ponto de ensaio (Gy)

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)

$N_{P_{KL}Q}$: 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 4:

$$k_Q = \frac{N_{P_{KL}Q_{8,10}}}{N_{P_{KL}Q_9}} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

$N_{P_{KL}Q_9}$: coeficiente de calibração para qualidade de referência RQT 9

k_Q : fator de correção para cada qualidade

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

4. RESULTADOS

4.1. Caracterização da RQT

Definido os valores de filtração adicional de cobre (Cu) foram obtidos através da curva de atenuação as 1ª CSR's e seus coeficientes de homogeneidade, tabela 3. As curvas de atenuação podem ser observadas simultaneamente, figura 4, e suas 1ª e 2ª CSR's.

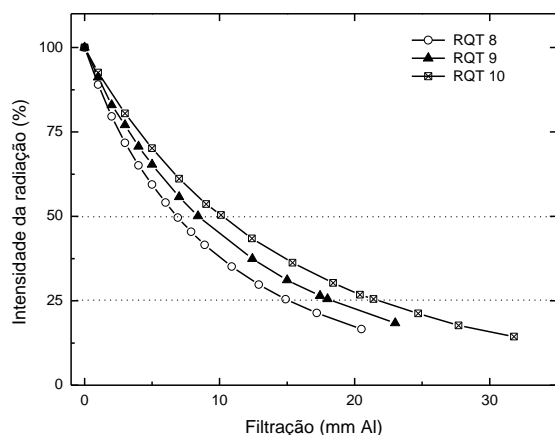


Figura 4: Curvas de atenuação característica das qualidades de radiação RQT implantadas no LNMRI/IRD.

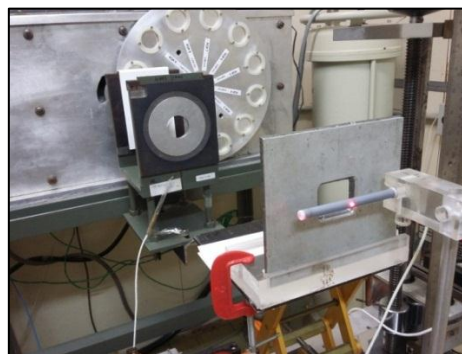


Figura 5: Arranjo experimental para calibração da câmara de ionização tipo lápis na posição horizontal no LNMRI/IRD, colimador 42 mm (horizontal) x 34 mm (vertical). Abertura de saída do feixe, revestimento de alumínio (Al).

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 ¹ mm (Al + Cu)	1ª CSR ² (mm Al)	1ª CSR ³ (mm Al)	h ⁴	Razão ⁵
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

¹ Sem considerar filtração inerente do tubo (1 mm Be)

² Nominal (IEC, 2005)

³ LNMRI/IRD

⁴ Coeficiente de homogeneidade

⁵ A razão precisa estar entre 0,485 e 0,515 (IAEA, 2007)

Observa-se na tabela 3 que os valores das razões das taxas de kerma no ar ficaram dentro do limite estabelecido pela norma levando a concluir que as condições de radiação RQT foram caracterizadas.

4.2. Calibração

A calibração da câmara 10x5-3CT foi realizada na posição horizontal com abertura retangular de 42 mm e Vertical com abertura retangular de 34 mm. Colimador posicionado à 97,2 cm da fonte e câmara à 100 cm.

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

Qualidade	Filtração Total (mm Al + mm Cu)	1ª CSR (mm Al)	Horizontal		Vertical	
			(mGy/min) ¹	k_Q	(mGy/min) ¹	k_Q
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

¹Taxas de kerma no Ar

4.3. Avaliação de Incertezas

Tabela 4.5: Avaliação de incertezas associadas à calibração da câmara 10x5-3CT sobe as condições de radiação RQT 9 implantadas no LNMRI/IRD.

Fontes de Incertezas	Tipo A (%)	Tipo B (%)		
Fatores que afetam a câmara de referência			Resolução do instrumento utilizado	0,07
Repetitividade (n = 5)			Calibração do instrumento utilizado	0,01
Temperatura	0,06		Termômetro	
Pressão	0,30		Resolução	0,00014
Calibração	0,0007	0,75	Barômetro	
Fatores que afetam a câmara do usuário			Calibração	0,086
Repetitividade (n = 5)	0,60		Resolução	0,00027
Temperatura	0,40		Eletrômetro	
Pressão	0,0004		Resolução	0,12
Determinação do fator $N_{p_{KL}}$ ou $N_{p_{KL}} \cdot k_Q$		1,09	Homogeneidade de campo	
Fatores que afetam ambas as câmaras			Vertical	0,014
Colimador			Horizontal	0,069
Posicionamento do colimador		0,14	Incerteza padrão combinada	1,11 %
Abertura retangular		0,10	Incerteza Expandida (95,45%)	2,22 %

4.4. Conclusão

A razão das taxas de Kerma no ar, sem o com filtração adicional equivalente a primeira CSR, estão em conformidade com a norma IEC 61267 (2005), que estabelece um intervalo que varia de 48,5% à 51,5% para cada uma das qualidades, leva a concluir que o LNMRI caracterizou as

condições de radiação da série RQT (IEC, 2005), obtendo um percentual de 49,6% na RQT 8, 50% na RQT 9 e 50,4% na RQT 10. Pode-se concluir que o LNMRI está em conformidade com os requisitos internacionais estabelecidos no que diz respeito à caracterização do feixe padrão em tomografia computadorizada.

O LNMRI seguiu as mais recentes recomendações internacionais em conformidade com o TRS 457 (IAEA, 2007) e IEC 61267 (2005) para calibração desse tipo de câmara.

O posicionamento dos componentes que configura o arranjo de ensaio característico para a calibração da câmara de ionização ficou em conformidade com o TRS 457 (IAEA, 2007).

Os resultados obtidos na calibração, nas qualidades RQT e QCT, apresentaram incertezas expandidas com nível de confiança 95,45 %, abaixo de 3%.

Referências

IAEA. International Atomic Energy Agency. **Technical Reports Series n°: 457. Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Practice. Technical Reports Series no. 457** Vienna: [s.n.], 2007.

IEC, INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **Medical diagnostic x-ray equipment - Radiation conditions for use in the determination of characteristics.** IEC 61267 ed. Geneva: IEC 61267, 2005.

PEIXOTO, J. G.; ALMEIDA, C. E. De. Protocolo técnico da comparação bilateral em radiologia diagnóstica: Partes 1, 2 e 3. **Congresso brasileiro de Metrologia das radiações Ionizantes - CBMRI v. 2**, 2015.

PEIXOTO, J. G. P. *et al.* **Ionization Radiation Metrology.** 1. ed. Rio de Janeiro, RJ, Brazil: [s.n.], 2016. .

PEIXOTO, J.G.P. **Rastreabilidade e controle de qualidade em mamografia; Medidas e modelos.** Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2002.