

# Avaliação de imagens de tomografia computadorizada com o uso do modulador automático de corrente: potencialidades e limitações

## Computed tomography evaluation with the use of automatic current modulator: possibilities and limitations

Giordana Salvi de Souza<sup>1</sup>, Jéssica Villa Real<sup>2</sup>, Ana Paula Pastre Froner<sup>2</sup>, Ana Maria Marques da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>PUCRS, Faculdade de Física, Porto Alegre, Brasil

<sup>2</sup>PUCRS, Hospital São Lucas, Porto Alegre, Brasil

### Resumo

A tecnologia disponível nos equipamentos mais modernos de tomografia computadorizada possibilita a modulação automática da corrente no tubo, conforme a variação de espessura da região anatômica estudada. Este estudo teve como objetivo avaliar os parâmetros quantitativos relacionados a qualidade da imagem produzida por um equipamento de tomografia computadorizada, com e sem a utilização do sistema de modulação de dose do fabricante. Para tanto foi utilizado um *phantom Catphan 700*, cujas imagens foram adquiridas em um tomógrafo *Philips*, com e sem o uso de modulação de corrente, utilizando um protocolo de crânio adulto. Os resultados mostraram um aumento de 20,8% do valor do  $CTDI_{vol}$  e do DLP com o uso do modulador de corrente em relação às imagens adquiridas com o mesmo protocolo sem o modulador. Observou-se que o ruído da imagem com o uso do modulador teve o menor valor, assim como a maior resolução espacial, devido à maior dose fornecida pelo sistema de modulação de corrente. Não se observaram diferenças significativas na uniformidade e na exatidão do número CT e nem mesmo na linearidade. Conclui-se que o processo de otimização de dose que utiliza simuladores deve ser cuidadosamente avaliado, pois depende das configurações próprias de cada sistema de modulação de corrente assumido pelo fabricante. Apesar de supostamente buscarem a otimização de dose, tais sistemas podem produzir um aumento considerável de dose, sem modificar significativamente a qualidade da imagem para determinados protocolos.

**Palavras-chave:** tomografia computadorizada; modulador de corrente; dose; qualidade.

### Abstract

The technology available in most modern equipment CT enables the automatic tube current modulation, according to the thickness variation of the anatomical region studied. This study aimed to evaluate the quantitative parameters related to the image quality produced by CT scanner, with and without the use of the manufacturer's dose modulation system. For this, *Catphan 700* phantom was used, and images were acquired in a *Philips* scanner, with and without the use of current modulation, using a protocol adult skull. The results showed an increase of 20.8% of the  $CTDI_{vol}$  and DLP with the use of the current modulator in relation to the images acquired with the same protocol without the modulator. It was observed that the image noise using the modulator had the lowest value, as well as higher spatial resolution due to the higher dose provided by the current modulation system. There were no significant differences in the uniformity and accuracy of CT number and even in linearity. Concluding, the dose optimization process using simulators should be carefully evaluated because it depends on the settings for each current modulation system assumed by the manufacturer. Although they supposedly seek the dose optimization, such systems can produce a considerable increase in dose, without significantly modifying the image quality for certain protocols

**Keywords:** computed tomography; current modulation; dose; quality.

### 1. Introdução

O desenvolvimento tecnológico da tomografia computadorizada (TC) de raios X vem contribuindo fortemente para os avanços no campo do radiodiagnóstico por imagem. No entanto, do ponto de vista da proteção radiológica, a TC é uma modalidade de imageamento médico que proporciona uma das maiores doses ao paciente, dentre as técnicas radiológicas<sup>1</sup>. Em qualquer procedimento médico que envolva a exposição de um indivíduo à radiação ionizante para fins

diagnósticos, a técnica aplicada deve promover o máximo de informações, garantindo a qualidade da imagem, com mínima dose para o paciente<sup>2</sup>. São vários os fatores que alteram a dose de radiação dos exames de TC, destacando a corrente do tubo (mAs), tensão de pico (kVp), as dimensões dos pacientes, a extensão a ser estudada, o *pitch*, a modulação da corrente do tubo, o uso de filtros e o pós-processamento das imagens<sup>3</sup>. Os parâmetros de aquisição não somente afetam a dose de radiação, mas também a qualidade de imagem. A

redução de dose em TC é extremamente importante, devendo existir uma justificativa adequada aos exames realizados, o uso de parâmetros técnicos apropriados, a realização de controle de qualidade do equipamento e a aplicação de níveis de referência diagnóstica os mais baixos possíveis<sup>4</sup>. A tecnologia disponível nos equipamentos mais modernos de TC possibilita a modulação da corrente no tubo, conforme a variação de espessura da região anatômica estudada. Este mecanismo é denominado de Controle Automático de Exposição, ou AEC (do inglês *Automatic Exposure Control*), que possibilita a redução da corrente em áreas menos espessas. O objetivo deste estudo foi avaliar os parâmetros quantitativos relacionados à qualidade da imagem produzida por um equipamento de tomografia computadorizada, com e sem a utilização do sistema de modulação de dose do fabricante.

## 2. Materiais e Métodos

Há diversos métodos disponíveis para mensurar a qualidade de imagem produzida por equipamentos de tomografia computadorizada. De acordo com a norma IEC 1223-2-6<sup>5</sup>, a qualidade da imagem tomográfica deve ser expressa através de parâmetros físicos, tais como uniformidade, linearidade, resolução espacial e ruído. O *phantom* utilizado para a avaliação da qualidade da imagem foi o *Catphan 700* (*The Phantom Laboratory, Inc., Salem, NY*)<sup>6</sup> que possui cinco seções distintas, que permitem avaliar diferentes parâmetros referentes à qualidade de imagem (Figura 1)

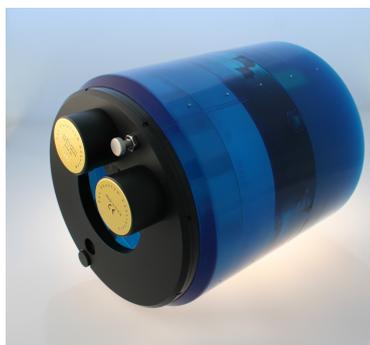


Figura 1: Fotografia do *Catphan 700*

Para este estudo, foram usados três dos cinco módulos do *phantom*: o módulo CTP712, para a avaliação da uniformidade, exatidão do número de TC e ruído da imagem; o módulo CTP 682, para avaliar a linearidade do número de TC; e o módulo CTP 714, para analisar a resolução de alto contraste. A metodologia adotada para a avaliação da qualidade de imagem foi baseada no guia "Radiodiagnóstico médico: segurança e desempenho de equipamentos", disponibilizado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA)<sup>7</sup>, que estabelece os aspectos práticos para as normas estabelecidas pela Portaria 453 do Ministério da Saúde. O equipamento de tomografia computadorizada utilizado neste estudo foi tomógrafo *Philips*, modelo *Ingenuity Core CT-64*

(*Philips Medical Systems, Best, the Netherlands*), que possui um software de modulação de dose, o *z modulation (Z-DOM)*, que permite modular a corrente do tubo ao longo da altura do paciente. Esta aplicação possibilita obter um equilíbrio entre a qualidade da imagem e os baixos níveis de dose de radiação, ou seja, permite reduzir ou aumentar o valor de mAs efetivos, dependendo da espessura do paciente<sup>8,9,10</sup>.

O sistema *DoseRight* da *Philips* utiliza o conceito de imagem de referência para modular a corrente do tubo. Após a seleção do protocolo e é feita uma varredura no paciente, o sistema calcula o coeficiente de atenuação do paciente e compara com uma tabela de correntes armazenada para um paciente padrão, sugerindo valores de mAs que produzam imagens com ruído similar à imagem de referência. Para avaliarmos como o uso do sistema de modulação de dose afeta a qualidade de imagem, foram realizadas duas aquisições. Na primeira aquisição foi escolhido o protocolo de crânio mais utilizado na rotina para pacientes adultos, no qual a tensão no tubo foi de 120 kV e a corrente de tubo foi de 235 mA. Na segunda aquisição foi utilizado o mesmo protocolo de crânio, mas com o uso do sistema de modulação Z-DOM. Nesse caso, foi utilizado também 120kV de tensão de pico e com o modulador de corrente, a corrente de tubo média foi de (304 ±19) mA. Para a avaliação da qualidade de imagem, foi utilizada a ferramenta computacional gratuita *ImageJ* (*National Institute of Health, USA*). Foram avaliados os seguintes parâmetros físicos de acordo com a metodologia descrita a seguir: linearidade, uniformidade, ruído, exatidão do número TC e resolução espacial.

### Linearidade

A linearidade do número TC foi medida utilizando o módulo CTP682, que contém 11 compartimentos de diferentes materiais cujos valores de número TC são conhecidos: Acrílico, Ar, Osso 50%, Osso 20%, LDPE, Teflon, *Delrin*, PMP, Água, Poliestireno e Pulmão. A Figura 2 mostra a imagem adquirida deste módulo.

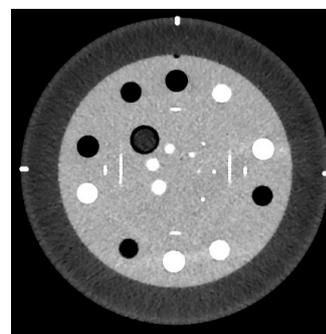


Figura 2: Módulo CTP682.

Para verificar a linearidade foi criada, em cada inserção, uma região de interesse circular ou ROI (do inglês *Region of Interest*), de modo a medir o número TC médio, comparando-o com o valor esperado. Para avaliar a relação entre as imagens

do módulo CTP682 adquiridas nas aquisições com e sem o Z-DOM, foi construído um gráfico do número de TC esperado e o número de TC medido em cada protocolo. A linearidade do número TC é dada pelo coeficiente de correlação entre os dados e uma reta.

#### Uniformidade e Ruído

A secção do *Catphan* 700 que possibilita a medida da uniformidade e do ruído é o módulo CTP712, que é projetado para que o número TC seja 20 HU (Figura 3).

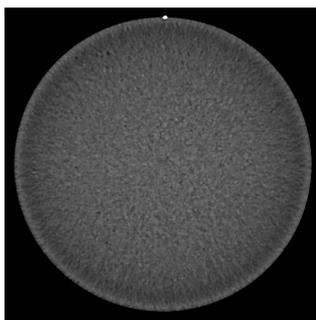


Figura 3: Módulo CTP 712.

Quando um objeto é uniforme, cada pixel deve ter aproximadamente o mesmo valor. A medida dessa característica é designada de uniformidade espacial. A variação aleatória nos números TC de cada pixel em torno de um valor médio constitui o chamado ruído da imagem. Para a avaliação da uniformidade do número TC, foram delimitadas 5 ROIs de área aproximadamente 500 mm<sup>2</sup>, em diferentes posições horárias (3, 6, 9 e 12), além da posição central. Em cada ROI é medido o valor médio do número TC e seu desvio padrão. O ruído da imagem é caracterizado pelo valor do desvio padrão ( $\sigma$ ) do número TC da ROI central. A uniformidade pode ser descrita como a diferença entre o valor médio do número TC das ROIs periféricas e da ROI central.

#### Exatidão do número de TC

Para a avaliação da exatidão do número TC foi utilizado o módulo CTP712 (Figura 3). Para medir a exatidão, determina-se a diferença entre o valor médio do número TC da ROI central e o valor nominal.

#### Resolução Espacial

O módulo CTP714 (Figura 4) permite a determinação da resolução espacial, sendo composto por 30 pares de linhas por cm. A resolução espacial pode ser definida como a distância mínima entre dois pontos que podem ser distinguíveis.

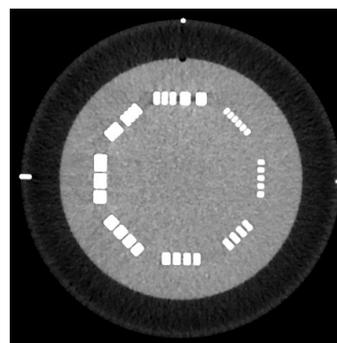


Figura 4: Módulo CTP714.

Para avaliar este módulo, foi traçado em cada par de linha, um perfil, que mostra a intensidade ao longo dos pares de linhas. Para calcular a distância entre cada linha, foi determinada a distância entre os máximos (linha) e mínimos (fundo) consecutivos. Esse procedimento foi realizado para várias linhas, e depois foi determinada uma média da distância entre as linhas.

### 3. Resultados

Inicialmente foram obtidos os valores dos descritores de dose na aquisição com o protocolo de crânio sem o uso do sistema Z-DOM. O valor do  $CTDI_{vol}$  obtido de 38,9 mGy e o DLP foi de 1125 mGy.m. Quando utilizado o sistema de modulação de corrente, a corrente foi modulada para cada corte pelo sistema, gerando uma corrente do tubo média de  $(304 \pm 19)$  mA, com a mesma tensão de pico de 120kV. Observou-se um aumento de 20,8% do valor do  $CTDI_{vol}$  (49,1 mGy) e do DLP (1420 mGy.m) com o uso do modulador de corrente em relação às imagens adquiridas com o protocolo sem o modulador. Os valores encontrados para a exatidão do número TC, ruído e uniformidade estão representados na tabela 1.

Tabela 1. Comparação entre os valores de Ruído, Uniformidade e Exatidão do número TC

Protocolo	Ruído (HU)	Uniformidade (HU)
Sem DoseRight	0,3978	-4,093
Com DoseRight	0,3306	-4,082

Observa-se que há pequenas diferenças nos valores destes parâmetros para a imagem adquirida com o uso ou não do sistema de modulação. No entanto, a imagem menos ruidosa é aquela do protocolo utilizado com o modulador de corrente. Considerando que a uniformidade pode ser considerada uniforme se estiver dentro de um valor de  $\pm 5HU$ , pode-se afirmar que ambas as imagens são uniformes. Da mesma forma, observa-se uma exatidão aceitável nos dois casos.

Para analisar a linearidade do número TC foi utilizado o coeficiente de correlação ( $r^2$ ) entre o valor esperado e o valor medido. Quanto mais próximo de 1 (um) este valor, mais linear é a imagem em termos de número TC (Figura 5).

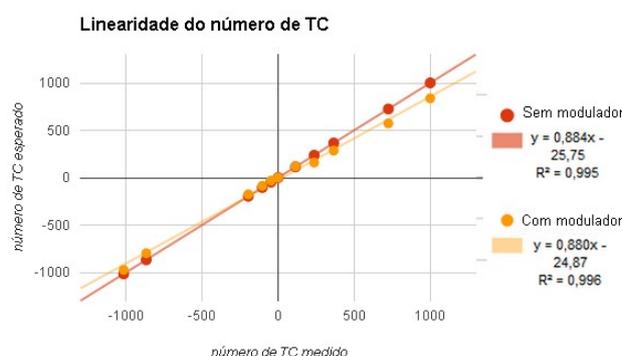


Figura 5: Valores da linearidade do número TC.

Para ambas as aquisições, o coeficiente de correlação foi adequado, sendo de 0,995 sem o modulador e de 0,996 quando o sistema Z-DOM é utilizado.

Para avaliar a resolução espacial de alto contraste, foram comparados os valores encontrados para cada distância entre cada par de linhas, e o número de pares de linhas que foram visualizados. No manual do *Catphan 700* há descrito os valores de cada par de linhas. Os primeiros pares de linha são facilmente distinguíveis. Ao avaliar os próximos pares de linha, aumenta a dificuldade, pois a frequência espacial da imagem aumenta. Sem o modulador de dose foi possível avaliar até o sexto par de linhas e com o modulador de dose foi possível avaliar até o quarto par de linhas. A tabela 2 mostra os valores médios das distâncias entre os pares de linha conforme metodologia descrita anteriormente.

Tabela 2: Valores dos pares de linha por cm.

	Valor nominal	Com modulador	Sem modulador
1	0,5	0,4882	0,4855
2	0,25	0,2441	0,2441
3	0,167	0,1464	0,21
4	0,125	0,09765	0,0488
5	0,1	0,0965	-
6	0,083	0,0493	-

Observa-se que o uso do sistema de modulação de corrente apresenta valores mais próximos dos valores nominais.

#### 4. Discussão

Neste estudo foi realizada uma análise quantitativa da qualidade das imagens produzidas por um equipamento de tomografia computadorizada, com e sem o uso do sistema de modulação de dose *DoseRight*, no modo Z-DOM, da *Philips*.

Usualmente, associa-se a modulação da corrente do tubo com a otimização da dose em imagens de TC. Segundo os fabricantes, os sistemas reduzem a dose de acordo com o tamanho do corpo, forma e atenuação, sem degradar a qualidade da imagem<sup>11</sup>. No entanto, os resultados dos indicadores de dose (CTDI<sub>vol</sub> e DLP) mostraram

que para o *phantom* CATPHAN 700, utilizando o protocolo de crânio, utilizando o *DoseRight* da *Philips* no modo Z-DOM, houve um aumento significativo da dose (20,8%). Este fato possivelmente se deve ao fato do sistema de modulação de corrente *DoseRight* da *Philips*, no modo Z-DOM, utilizar o conceito de imagem de referência para modular a corrente do tubo. Com a seleção do protocolo de crânio, foi feita uma varredura no *phantom* e o sistema calculou seu coeficiente de atenuação médio, comparando-o com uma tabela de correntes armazenada para um paciente padrão. Dessa forma, como o *phantom* possui diâmetro maior (20 cm) do que uma cabeça padrão, o sistema sugeriu valores de mAs que produzissem imagens com ruído similar à imagem de referência, aumentando a dose. Assim, observou-se que o ruído da imagem com o uso do Z-DOM teve o menor valor, assim como a maior resolução espacial, devido à maior dose fornecida pelo sistema de modulação de corrente.

Não se observaram diferenças significativas na uniformidade e na exatidão do número CT e nem mesmo na linearidade, quando comparadas as imagens com o uso ou não do modulador de corrente<sup>12</sup>.

Estas observações permitem afirmar que é imprescindível uma análise cuidadosa por parte da equipe técnica para o uso ou não dos sistemas de modulação de corrente para cada fabricante, avaliando individualmente cada protocolo e paciente de forma a viabilizar a menor dose possível, com a melhor qualidade de imagem.

#### 5. Conclusões

Conclui-se que os processos de otimização de dose que utilizam *phantoms* como objeto de teste devem ser cuidadosamente analisados, pois dependem das escolhas e configurações próprias de cada sistema de modulação de corrente assumido pelo fabricante. Apesar de supostamente buscarem a otimização de dose, tais sistemas podem produzir um aumento considerável de dose, sem modificar significativamente a qualidade da imagem. Maiores estudos estão sendo desenvolvidos no sentido de analisar outros protocolos e equipamentos de outros fabricantes, de forma a produzir um indicativo para o uso clínico dos sistemas de modulação de corrente.

#### Agradecimentos

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelo apoio financeiro.

#### Referências

- Jessen, K. a, Shrimpton, P. C., Geleijns, J., Panzer, W. & Tosi, G. Dosimetry for optimisation of patient protection in computed tomography. *Appl. Radiat. Isot.* **50**, 165–72 (1999).
- Goo, H. W. CT radiation dose optimization and estimation: an update for radiologists. *Korean J. Radiol.* **13**, 1–11 (2012).
- Parente, D. B. EDITORIAL O risco da radiação

- no uso indiscriminado da tomografia computadorizada. **46**, 1–2 (2013).
4. Costa, P. R. & Azevedo-marques, P. M. De. Otimização da dose em exames de rotina em tomografia computadorizada: estudo de viabilidade em um hospital universitário\*. **43**, 241–248 (2010).
  5. EUR. European Guidelines on Quality Criteria for Computed Tomography European Guidelines on Quality Criteria. (2000).
  6. The, W. *et al.* C a t p h a n ® 700 M a n u a l CTP700. 1–42 (2013).
  7. de Mello, R. D. *et al.* *Radiodiagnóstico Médico Segurança e Desempenho de Equipamentos.* (2005).
  8. H. Imhof, N. Schibany, A. Ba-Ssalamah, C. Czerny, A. Hojreh, F. Kainberger, C. Krestan, H. Kudler, I. Nöbauer, R. N. Spiral CT and radiation dose. *Eur. J. Radiol.* **47**, 461–468 (2002).
  9. Freitas, E. N. P. Otimização de análise de imagens para Controle de Qualidade em Imagem Médica. (2010).
  10. Aldrich, John E., et al. "Radiation dose in abdominal computed tomography: the role of patient size and the selection of tube current." *Canadian Association of Radiologists Journal* 57.3 (2006): 152.
  11. Finatto, J. D., Paula, A., Froner, P., Pimentel, J. & Maria, A. Estudo Comparativo De Descritor De Dose Em Exames Pediátricos De Tomografia Computadorizada. 1–9 (2014).
  12. Supawitoo Sookpeng. Investigation of CT Dosimetry Techniques for Use in Optimisation of Automatic Tube Current Modulation ( ATCM ) Performance Supawitoo Sookpeng BSc ( Hons ), MSc ( Radiation Science ). (2014).

**Contato:**

Giordana Salvi de Souza  
PUCRS - Faculdade de Física  
Av. Ipiranga 6681, Pr. 10  
90619-900 Porto Alegre-RS  
E-mail [giordana.souza@acad.pucrs.br](mailto:giordana.souza@acad.pucrs.br)