

## Alguns aspectos da Avaliação da Qualidade da Imagem em Tomografia Computadorizada

Autores: Paulo Cesar Baptista Travassos<sup>1,2</sup>, Luciana Tourinho Campos<sup>2</sup>, Luis Alexandre Magalhães<sup>2</sup>, José Guilherme Peixoto<sup>1</sup>, Carlos Eduardo Veloso de Almeida<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>IRD, Av. Salvador Allende, S/N. Recreio. Rio de Janeiro/RJ; <sup>2</sup>UERJ, rua São Francisco Xavier, 524. Pavilhão Haroldo Lisboa da Cunha, sala 136. Maracanã. Rio de Janeiro/RJ.

E-mail: pctravassos@gmail.com

**Resumo:** A avaliação da qualidade da imagem de tomógrafos inclui a medição dos valores Hounsfield, HU, utilizando uma tabela com os valores limites. Esta tabela não considera que equipamentos diferentes possuem energias efetivas diferentes, o que pode causar resultados falso negativos. Um estudo com 90 tomógrafos computadorizados, com a metodologia do *American College Radiology* demonstrou que alguns aparelhos reprovados na avaliação apresentaram excelente ajuste linear entre os valores dos coeficientes de atenuação linear calculados para a energia efetiva utilizada, em função dos valores HU. A análise do coeficiente de determinação sugere que 10 destes equipamentos poderiam ter sido aprovados.

**Palavras-chave:** Escala Hounsfield, Número de TC, coeficiente de determinação.

**Abstract:** The evaluation of CT scanners image quality includes measuring the Hounsfield values, HU, using a table with the limit values. This table does not consider that different devices have different effective energies, which may cause some false results. The evaluation of 90 computerized tomography, by the American College Radiology methodology, showed that some failed devices in the evaluation showed excellent linear fit between the values of the linear attenuation coefficients calculated for the actual energy used, according to the HU values. The analysis of the coefficient of determination suggests that 10 of these devices could have been approved.

**Keywords:** Hounsfield, CT number, Determination Coefficient.

### 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o uso da radiação ionizante em aplicações médicas vem se tornando cada vez mais presente, o que contribui de forma significativa para o aumento da dose coletiva. Os exames de tomografia computadorizada, TC, contribuem em 34% para a dose coletiva devida à exposições médicas (AL et al., 2011). Para fazer presente os princípios básicos de proteção radiológica (ECKERMAN et al., 2012), em

especial o princípio de limitação de dose, é fundamental que se tenha controle sobre a qualidade razoável. Existem diversas metodologias para o estabelecimento da qualidade da imagem TC, dentre elas a adotada pelo ACR, *American College of Radiology*, (MCCOLLOUGH et al., 2004).

A análise dos valores da escala de Hounsfield, HU, na metodologia ACR, consiste em se consultar uma tabela em que constam as faixas de

valores HU aceitáveis para cada material utilizado. A tabela ACR foi elaborada com base nos resultados de diversos ensaios, com vários equipamentos e protocolos diferentes, onde se estabeleceu uma margem de aceite apenas a partir dos valores HU mínimos e máximos obtidos para cada material utilizado.

Desta forma, para um dado material os valores mínimos e máximos aceitáveis constantes na tabela ACR não necessariamente tem origem em um mesmo equipamento, e conseqüentemente não estão relacionados ao mesmo feixe de raios X. Portanto, este critério não considera que equipamentos diferentes não apresentam necessariamente feixes de raios X com os mesmos valores de energia efetiva. Uma vez que a escala HU é determinada pelos valores de coeficientes de atenuação linear,  $\mu$ , e que estes valores são função da energia efetiva do feixe de raios X, equipamentos diferentes podem apresentar valores HU diferentes para um mesmo material. É necessário, portanto, que parâmetros relacionados à energia do feixe de raios X sejam considerados nas análises da escala HU.

Pode-se estabelecer uma metodologia que considera a energia efetiva do feixe de raios X utilizado em cada aparelho, para ser utilizada de forma complementar nos testes que avaliam os valores de HU.

O ajuste linear dos valores de  $\mu$  em função dos valores HU deve ser o melhor possível, se aproximando dos valores calculados para a escala HU (HSIEH, 2009). A análise do coeficiente de determinação,  $r^2$ , é importante na avaliação. (MILLNER et al., 1978), (TOFTS, 1981), (RUBNER et al., 2012).

Algumas vezes equipamentos são reprovados por apresentar valor HU para um determinado material fora da faixa estabelecida na tabela ACR, mas apresentam ajuste linear muito bom. Este fato constitui uma limitação importante para a metodologia ACR. Por outro lado,

equipamentos com valores de  $r^2$  relativamente baixo podem ser aceitos pelo critério ACR. Sendo assim, a análise do valor de  $r^2$  por si só não garante um resultado satisfatório (KULKARNI et al., 2013), (MAH; REEVES; MCDAVID, 2010), mas pode ser utilizado como ferramenta auxiliar.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Pode-se associar à metodologia ACR o critério de linearidade, considerando o valor de  $r^2$ . Sendo assim, acima de um valor limite de  $r^2$  o equipamento é considerado aprovado. Caso contrário, utiliza-se a tabela de valores HU. Considerando o ajuste linear de todos os equipamentos analisados, foi adotado como valor de referência para  $r^2$  o valor do segundo quartil.

A amostra foi de 90 equipamentos, e para cada aparelho foi feita a análise da qualidade da imagem utilizando a metodologia do ACR, para protocolo de rotina de abdômen adulto. Para a determinação da energia efetiva foi medida a camada semirredutora com o multímetro Nomex<sup>®</sup> PTW, e os dados de coeficiente de atenuação linear de (HUBBELL; SELTZER, 1996). Os valores de  $\mu$  para cada material foram determinados, considerando a energia efetiva do feixe de raios X de cada aparelho.

Para a metodologia do ACR cada equipamento foi classificado como Conforme ou Não Conforme. Foram considerados conformes os equipamentos em que se obtiveram os valores HU dentro da faixa descrita na tabela ACR.

Pelo método dos mínimos quadrados foi feito o ajuste linear dos valores de coeficiente de atenuação linear de cada material em função dos valores HU medidos, que correspondem a cada material utilizado, obtendo-se o coeficiente de determinação.

## 3. RESULTADOS

O valor do segundo quartil para  $r^2$  foi de 0,9882. Equipamentos que obtiveram valores iguais ou superiores a este foram considerados aprovados.

um dos pontos, referente ao acrílico, não ficou posicionado sobre a reta de ajuste. O coeficiente de determinação foi de 0,9979.

A figura 1 mostra um dos resultados obtidos, a curva de resposta para a instituição C. Apenas

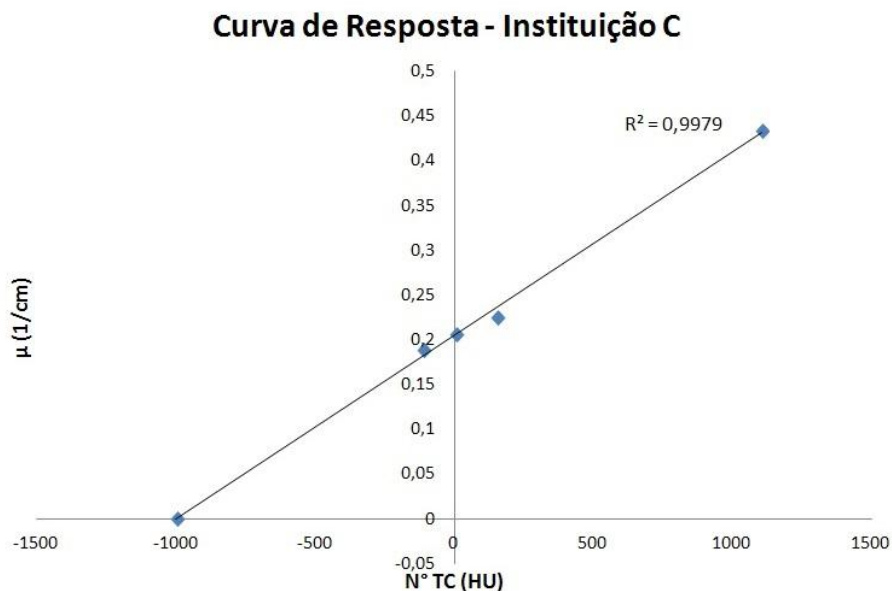


Figura 1 – Curva de resposta para o aparelho da instituição C.

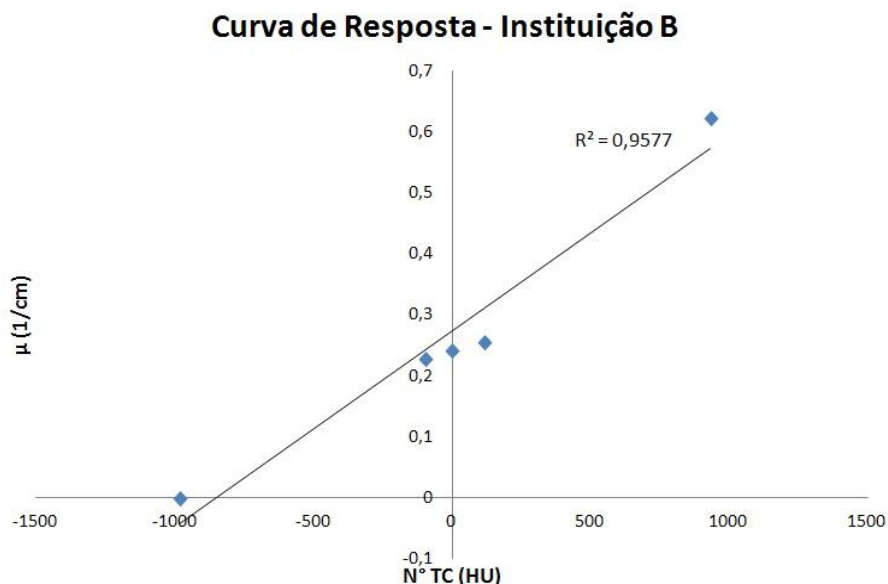


Figura 2 – Curva de resposta para o aparelho da instituição B.

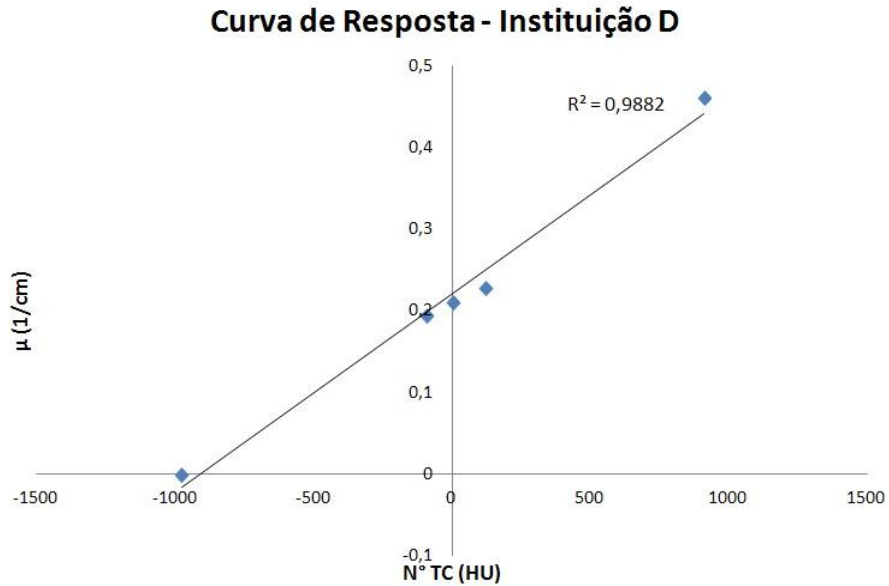


Figura 3 – Curva de resposta para a instituição D

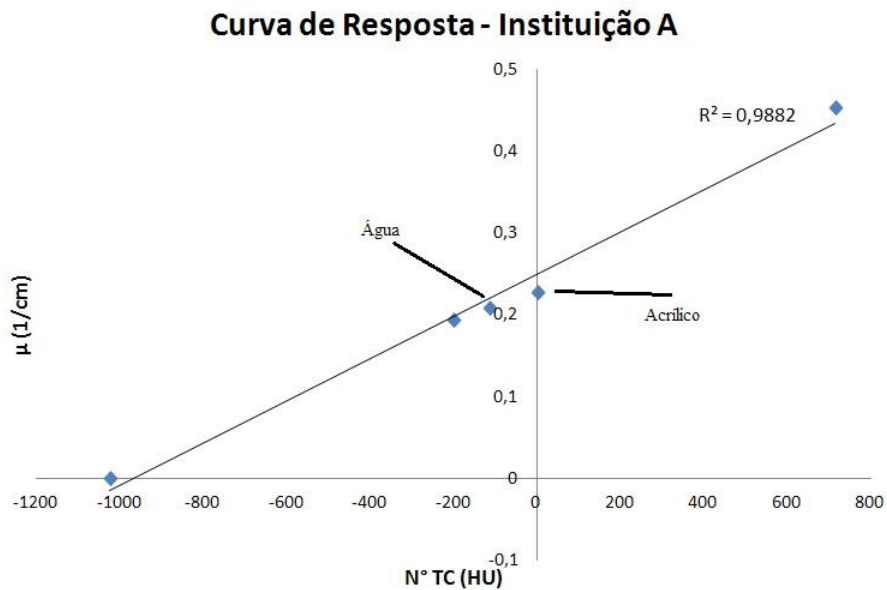


Figura 4 – Resultado para a instituição A. Valores para a água e para acrílico se posicionam ao oposto do esperado.

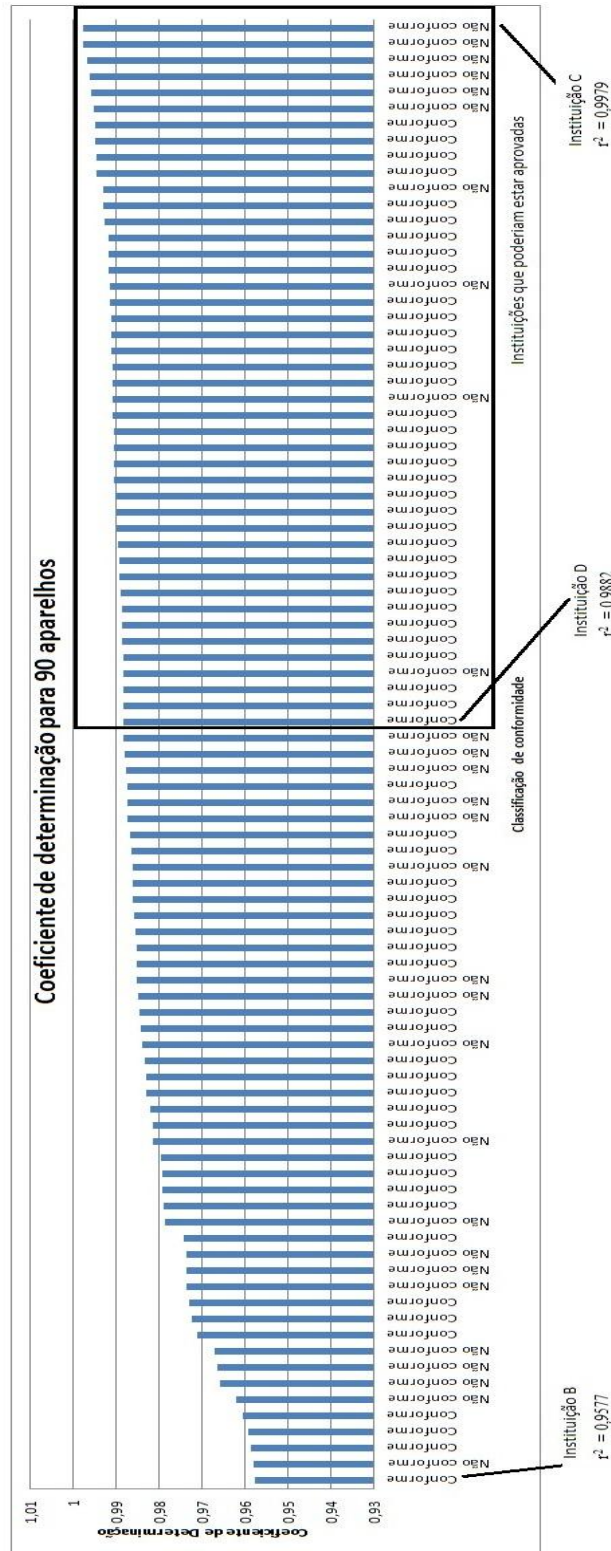


Figura 5 – Resultados a partir da metodologia ACR, classificados como conforme ou não conforme, em função do valor de  $r^2$ . Destaque para o valor de corte, segundo quartil, 0,9882.

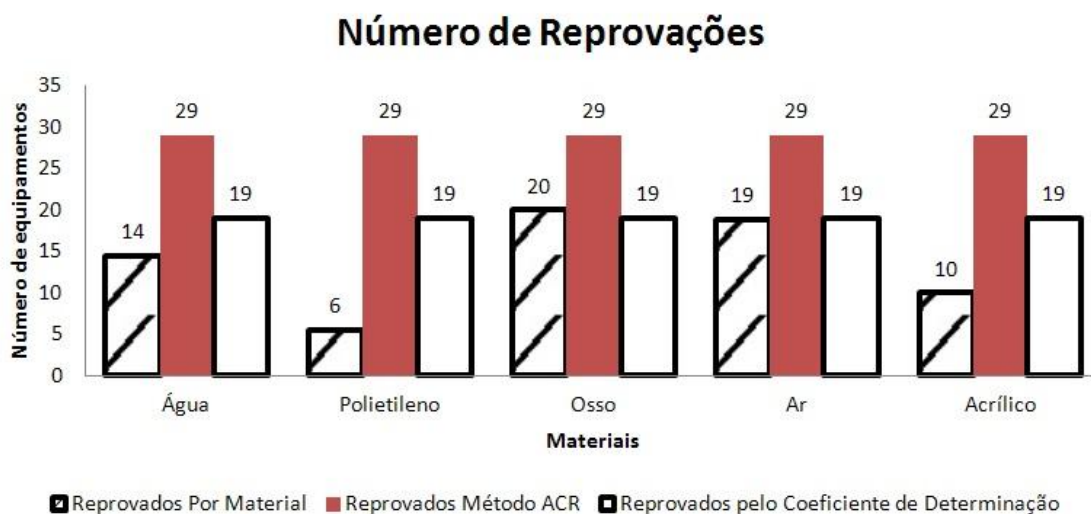


Figura 6 – Quantidade de instituições reprovadas pelo método ACR por material, e o total de instituições reprovadas por ambos os métodos.

Quadro 1 – Resultados para 4 equipamentos

	Material					Aprovação ACR	r <sup>2</sup>
	Água (HU)	Polietileno (HU)	Osso (HU)	Ar (HU)	Acrílico (HU)		
	De -7 a 7	De -108 a 87	De 850 a 950	De -1005 a 970	De 110 a 130		
<b>Instituição A</b>	-117,3	-203	712,1	-1023,9	-1,5	<b><u>Não Conforme</u></b>	<b><u>0,9882</u></b>
<b>Instituição B</b>	-1,7	-99	932,7	-985	115	Conforme	0,9577
<b>Instituição C</b>	6,3	-113,9	1102,5	-1000	151,6	Não Conforme	0,9979
<b>Instituição D</b>	1,49	-94,41	908,7	-976,46	120,51	<b><u>Conforme</u></b>	<b><u>0,9882</u></b>

A figura 2 mostra a curva de resposta para o aparelho da instituição B, aprovada pela metodologia ACR. O coeficiente de determinação foi de 0,9577. Os pontos centrais representam valores de HU ligeiramente próximos para estruturas diferentes. A figura 3 mostra a curva de resposta para a instituição D, cujo coeficiente de determinação foi o segundo quartil, o valor utilizado como referência.

A figura 5 ilustra para as 90 instituições avaliadas o resultado da análise pela metodologia

ACR, classificando em Conforme ou Não conforme, em função do valor de r<sup>2</sup>. É destacado o valor de referência, segundo quartil, foi 0,9882. Fica evidente que para 10 instituições o ajuste linear foi excelente, e mesmo assim foram classificadas como Não conforme. Estas instituições poderiam ser aprovadas.

#### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise dos resultados, figuras 5 e 6, demonstrou que em 29 casos o valor da escala de

Hounsfield (HU) para pelo menos um dos materiais analisados se encontra fora da faixa de valores de aceite tabelados. Dez destes equipamentos apresentaram excelente ajuste linear dos valores de  $\mu$  em função dos valores HU, e poderiam ser aprovados. Os materiais que mais reprovaram foram o osso e o ar, valores HU nos extremos da escala. Porém, a maioria das estruturas que compõe o corpo humano possui valores HU relativamente próximos ao da água. Uma vez que estrutura com valor de  $\mu$  da mesma ordem de grandeza que o do osso e do ar não seja comum, e que no processo de janelamento se estabelece um valor de corte muito inferior ao do osso, e muito superior ao do ar, o critério de aceite para osso e ar podem ser menos restritivos.

No quadro 1 estão os resultados das instituições A, B, C e D. A instituição B obteve o pior valor para  $r^2$ , mas foi aprovada pelo critério ACR. A instituição C obteve o melhor valor para  $r^2$ , mas foi reprovada pelo método ACR para osso e acrílico. Pois o valor HU para o acrílico estava ligeiramente fora da faixa recomendada. Neste caso a preocupação principal seria a perda da capacidade em se distinguir duas estruturas anatômicas distintas com  $\mu$  próximos aos dos tecidos moles. Porém, para este aparelho este fato não constitui um problema real, pois sua condição de linearidade de resposta permite que um simples ajuste na janela de tons de cinza revele estas estruturas, procedimento de praxe nas análises de imagens de TC. Sendo assim, o equipamento poderia ser aprovado. O critério de  $r^2$  poderia ser utilizado.

Por outro lado, no quadro 1 percebemos que a instituição A obteve o mesmo valor para  $r^2$  do que a instituição D, porém apresenta valores HU para água muito fora do esperado, e para o acrílico um valor HU compatível com o esperado para a água. Neste caso o equipamento necessita ser ajustado, o que demonstra que o valor de  $r^2$  não é suficiente para uma análise satisfatória.

Outro exemplo é o aparelho da instituição B, cuja curva de resposta é representada na figura 2. Apresenta os valores HU dentro do esperado pelo método ACR, mas possui linearidade relativamente baixa, com coeficiente de determinação igual a 0,9577. Observando-se atentamente a dispersão dos pontos correspondentes ao acrílico e ao polietileno, com coeficientes de atenuação próximos ao dos tecidos moles e do tecido adiposo, percebe-se que no aparelho da instituição B existe relativa dificuldade de distinção de duas estruturas diferentes com valores de HU próximos a estes do que no aparelho da instituição C, figura 1. O aparelho da instituição C está em melhor condição, apesar de ter sido reprovado. Ambos deveriam ser aprovados.

Na figura 5 é possível perceber que o percentual de reprovação cai em cerca de 10% para o método do coeficiente de determinação, o que significa que um número razoável de equipamentos são indevidamente reprovados na avaliação pelo método ACR. Das 90 instituições, 29 foram reprovadas pelo método ACR e 19 pelo critério do  $r^2$ , ou seja, 11% dos aparelhos foram reprovados, mas poderiam ser aprovados, o que evidencia a necessidade de uma análise mais criteriosa dos resultados da análise dos valores HU.

## 5. CONCLUSÃO

O valor do coeficiente de determinação por si só não é suficiente para que se estabeleça um critério de aprovação na avaliação da escala HU, embora que se possa utilizar um valor de  $r^2$  como referência, sendo um importante auxiliar no processo. O método convencional é satisfatório para a maior parte dos equipamentos, mas existem alguns casos em que seus resultados podem levar a uma interpretação restritiva demais, como no caso do ar e do osso, e em outros pouco restritiva, como no caso do acrílico. A análise visual das curvas de resposta para os

aparelhos sugere que equipamentos com coeficiente de determinação igual ou superior 0,9882, ou o segundo quartil, pode ser uma boa referência.

## 6. REFERÊNCIAS

AL, A. A A C. T. E. T. et al. Sources and effects of ionizing radiation UNSCEAR 2008. **Genetics**, v. II, n. 3, p. 48–92, 2011.

ECKERMAN, K. et al. ICRP Publication 119: Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60. **Annals of the ICRP**, v. 41, n. SUPPL1, p. 1–130, 2012.

HSIEH, J. **Computed tomography : principles, design, artifacts, and recent advances**. 2 nd ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. ; SPIE., 2009.

HUBBELL, J. H.; SELTZER, S. M. **NIST: X-Ray Mass Attenuation Coefficients**. Disponível em: <<http://www.nist.gov/pml/data/xraycoef/>>.

KULKARNI, N. M. et al. Determination of renal stone composition in phantom and patients using single-source dual-energy computed tomography.

**Journal of computer assisted tomography**, v. 37, n. 1, p. 37–45, 2013.

MAH, P.; REEVES, T. E.; MCDAVID, W. D. Deriving Hounsfield units using grey levels in cone beam computed tomography. **Dentomaxillofacial Radiology**, v. 39, n. 6, p. 323–335, 2010.

MCCOLLOUGH, C. H. et al. The phantom portion of the American College of Radiology (ACR) computed tomography (CT) accreditation program: practical tips, artifact examples, and pitfalls to avoid. **Medical physics**, v. 31, n. 9, p. 2423–2442, 2004.

MILLNER, M. R. et al. Determination of effective energies in CT calibration. **Medical Physics**, v. 5, n. 6, p. 543, 1978.

RUBNER, Y. et al. How does ionizing irradiation contribute to the induction of anti-tumor immunity? **Frontiers in oncology**, v. 2, n. July, p. 75, 2012.

TOFTS, P. S. Definitions of effective energy in computed tomography. **Physics in medicine and biology**, v. 26, n. 2, p. 313–7, 1981.