



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

P. C. B. Travassos<sup>a</sup>; L. T. Coutinho<sup>b</sup>; L. A. Magalhães<sup>b</sup>; J. G. Peixoto<sup>a</sup>; C. E. A. de  
Almeida<sup>b</sup>

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

*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 distintas, o que pode causar resultados falso negativos. Um estudo com 90 tomógrafos computadorizados, com a metodologia do *American College of 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.

---

## 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 às exposições médicas (AL et al., 2011). Para fazer presente os princípios básicos de proteção radiológica (ECKERMAN et al., 2012), em especial o princípio de otimização, é fundamental que se tenha controle sobre a qualidade razoável. Existem diversas metodologias para o estabelecimento da qualidade da imagem em TC, dentre estas a adotada pelo colégio americano de Radiologia (*American College of Radiology – ACR*) (MCCOLLOUGH et al., 2004).

A análise dos valores da escala Hounsfield HU pela metodologia ACR consiste em se consultar uma tabela em que constam as faixas de valores HU aceitáveis para cada material que simula tecidos humanos com diferentes coeficientes de atenuação. A tabela ACR foi elaborada com base nos resultados de diversos ensaios, com vários equipamentos e protocolos diferentes, onde se estabeleceu uma margem de aceitação 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 têm 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 na análise da escala HU.

Pode-se estabelecer uma metodologia que considere a energia efetiva do feixe de raios X utilizado em cada aparelho, a 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 deter-

minação,  $r^2$ , 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.

Este trabalho sugere uma nova abordagem para a análise dos valores HU, na qual se utiliza o valor da energia efetiva do feixe de raios X de cada aparelho analisado para a determinação dos valores HU de referência, sendo complementar à análise definida no protocolo do ACR.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Pode-se associar à metodologia ACR o critério de linearidade, considerando o valor de  $r^2$ . Esta correlação é obtida pelo método dos mínimos quadrados aplicado aos valores dos coeficientes de atenuação linear de cada material, calculados a partir da energia efetiva do feixe de raios X, em função dos valores HU medidos. Sendo assim, acima de um valor limite de  $r^2$  o equipamento foi considerado aprovado. Caso contrário, utilizou-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 (MCCOLLOUGH et al., 2004), 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 obtidos na literatura (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.

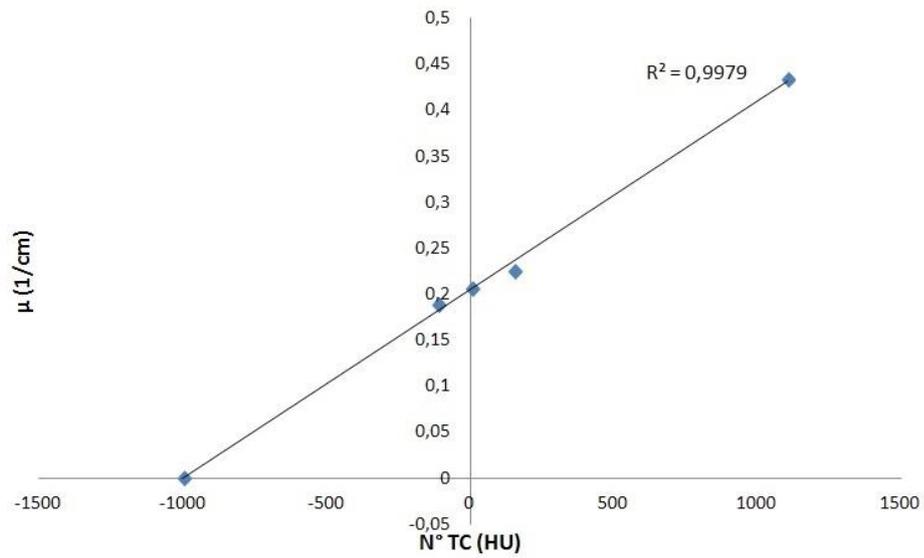
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O valor do segundo quartil para  $r^2$  foi de 0,9882, equipamentos que obtiveram valores iguais ou superiores a este foram considerados aprovados. A figura 1 mostra um dos resultados obtidos, a curva de resposta para o equipamento da instituição C. Apenas um dos pontos, referente ao acrílico, não ficou posicionado sobre a reta de ajuste. O coeficiente de determinação foi de 0,9979.

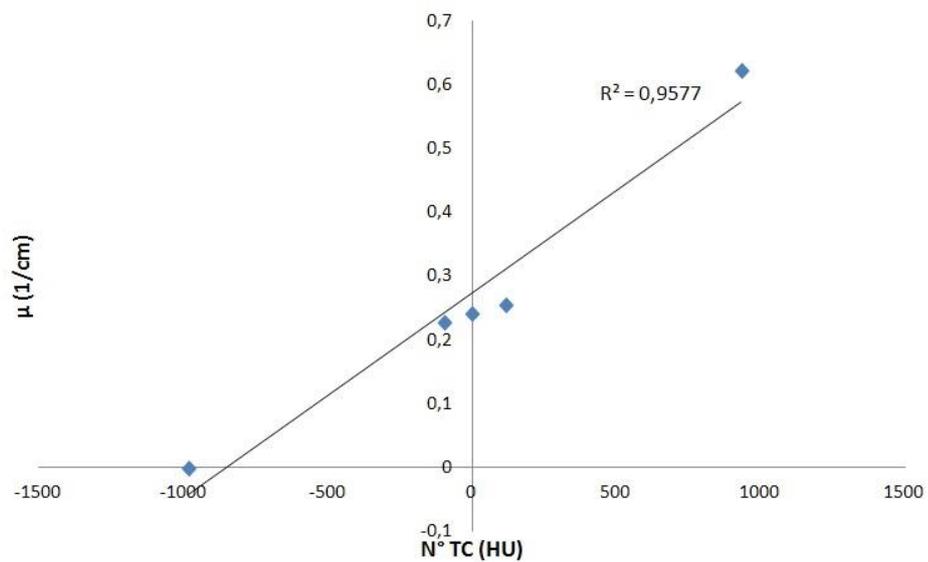
A figura 2 mostra a curva de resposta para o aparelho da instituição B, aprovada pela metodologia ACR. O coeficiente de determinação foi de 0,9577. Os pontos centrais representam valores de HU ligeiramente próximos para estruturas diferentes. A figura 3 mostra a curva de resposta para a instituição D, 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  $r^2$ . Fica evidente que para 10 instituições o ajuste linear foi excelente, e mesmo assim foram classificadas como Não conforme. Estas instituições poderiam ser aprovadas.

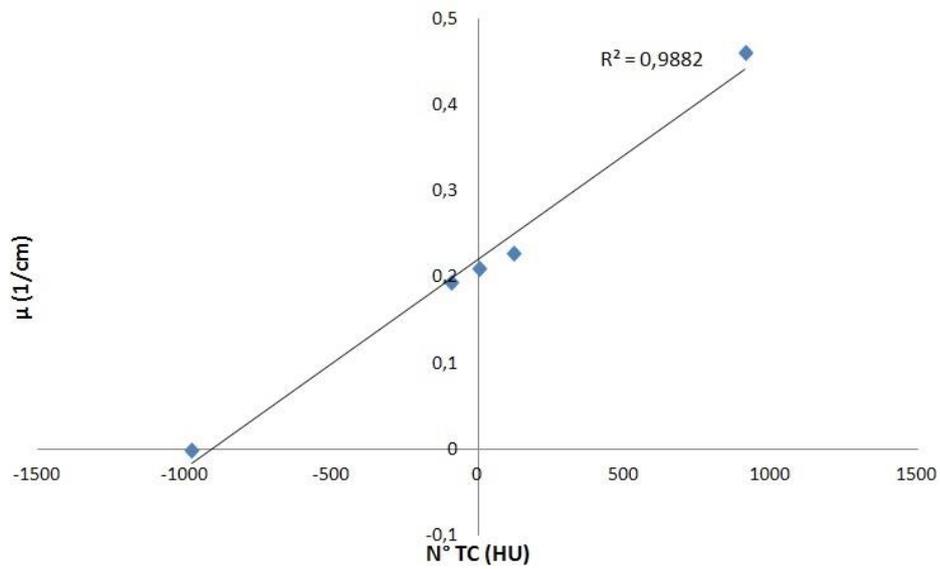
**Figure 1:** *Curva de Resposta para Instituição C*



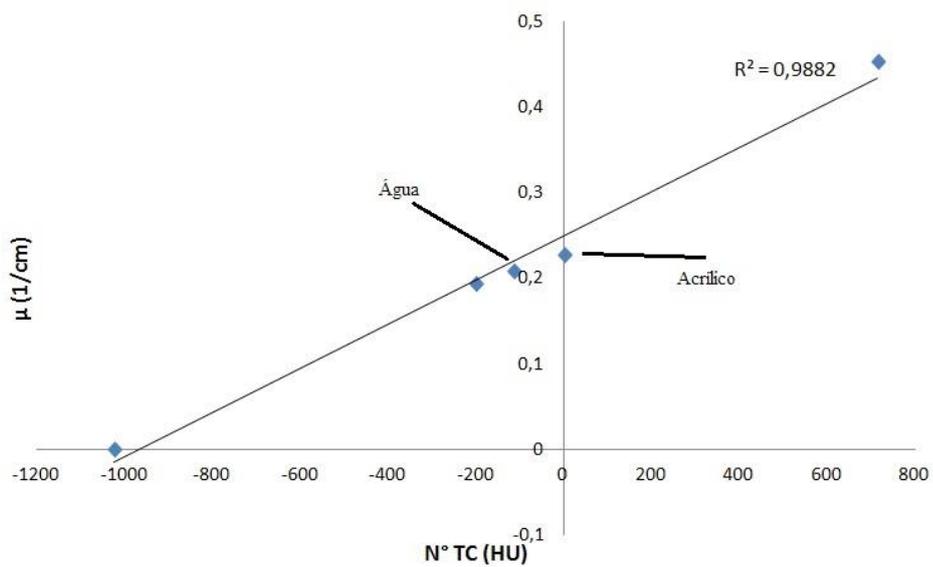
**Figure 2:** *Curva de Resposta para Instituição B*



**Figure 3:** Curva de Resposta para Instituição D



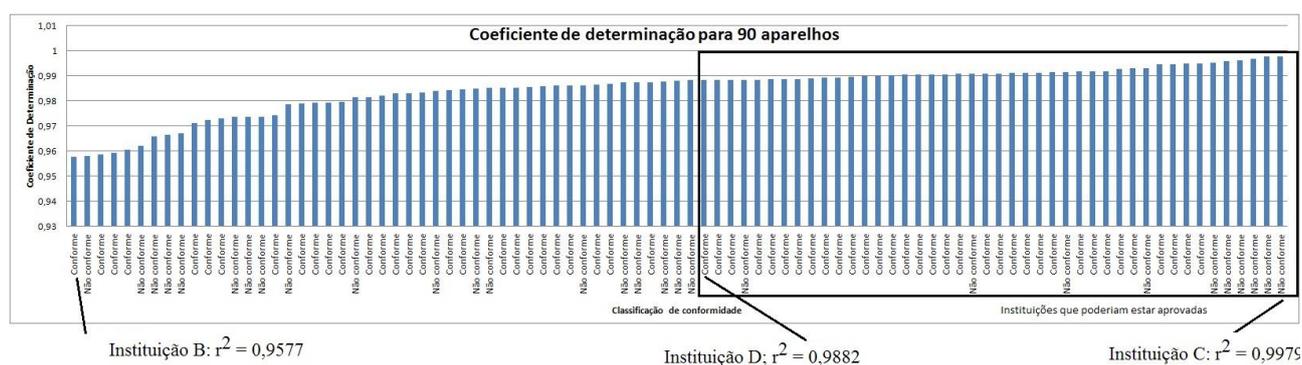
**Figure 4:** Resultado para a instituição A. Valores para a água e para acrílico se posicionam ao oposto do esperado.



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 uma estrutura que apresente valor de  $\mu$  da mesma ordem de grandeza do osso e do ar não seja comum, e que no processo de janelamento se estabeleça 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.

Na tabela 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 apresentou-se ligeiramente fora da faixa recomendada. Neste caso a preocupação principal seria a perda da capacidade em se

**Figure 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.



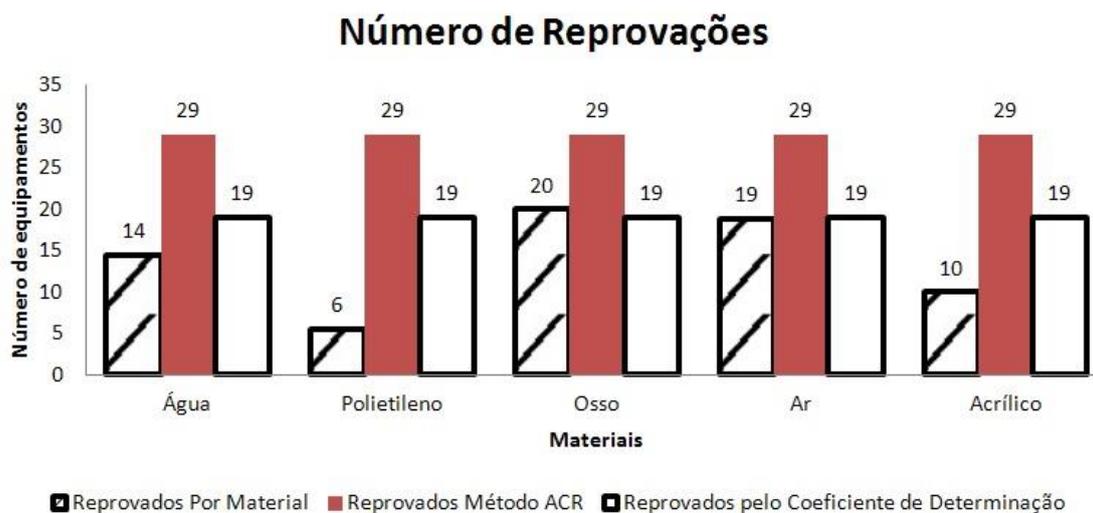
distinguir duas estruturas anatômicas distintas com  $\mu$  próximos aos dos tecidos moles. Porém, para este aparelho este fato não constitui um problema real, pois sua condição de linearidade de resposta permite que um simples ajuste na janela de tons de cinza revele estas estruturas, procedimento de rotina nas análises de imagens de TC. Sendo assim, o equipamento poderia ser aprovado pelo critério de  $r^2$ .

Por outro lado, na tabela 1 pode-se perceber que a instituição A obteve o mesmo valor para  $r^2$  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 deve 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 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. Já no aparelho da instituição C, cuja curva de resposta é apresentada na figura 1, a linearidade apresentada para os pontos correspondentes ao acrílico e polietileno é melhor em relação à curva do aparelho da instituição B, pois sua resposta é mais linear, sendo mais fácil a distinção de duas estruturas com valores HU próximos. O aparelho da instituição C está em melhor condição, apesar de ter sido reprovado. Ambos deveriam ser aprovados.

**Tabela1:** Resultados para 4 equipamentos

	Material					Aprovação ACR	$r^2$
	Água (HU)	Polietileno (HU)	Osso (HU)	Ar (HU)	Acrílico (HU)		
	-7 a 7	-108 a 87	850 a 850	-1005 a 970	110 a 130		
<b>Instituição A</b>	-117,3	-203	712,1	-1023,9	-1,5	<u>Não Conforme</u>	<u>0,9882</u>
<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	<u>Conforme</u>	<u>0,9882</u>

**Figure 6:** Quantidade de instituições reprovadas pelo método ACR por material, e o total de instituições reprovadas por ambos os métodos.

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.

#### 4. 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 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, para ar e osso, sendo em outros casos pouco restritiva, como para 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.

#### 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/>>. Acesso em 05/03/2016.

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.