



Simulação de Kerma-ar na profundidade pulmonar na água, e Kerma-ar na superfície de entrada da pele em pacientes neonatos submetidos a radiografias do tórax AP

Bunick^a A. P., Schelin^a H. R., Paschuk^b S. A., Filipov^b, D.,
Milhoretto^b, E., Deniak^{b,c}, Silva^a J. C. V.

^aInstituto de Pesquisa Pelé Pequeno Príncipe, Av. Silva Jardim, 1632, Água Verde, Curitiba, PR 80250-060, Brasil

^bUniversidade Tecnológica Federal do Paraná, Av. Sete de Setembro, 3165, Rebouças, Curitiba, PR 80230-90, Brasil

^cNational Science Center, Kharkov Institute of Physics and Technology, Akademicheskaya 1, Kharkiv 61108, Ukraine

e-mail apbunick@gmail.com

RESUMO

O estudo propõe estimar, através de simulações com um objeto simulador, o Kerma-ar na Profundidade Pulmonar, na água, e o Kerma-ar na Superfície de Entrada da Pele em crianças internadas em UTI Neonatal. Para as medidas, foi utilizada uma câmara de ionização e dosímetros termoluminescentes. Os valores estimados para Kerma-ar na Profundidade Pulmonar, na água, variaram de $(20,70 \pm 0,58)$ μGy a $(84,60 \pm 0,20)$ μGy e os resultados obtidos para Kerma-ar na Superfície de Entrada da Pele variaram de $(22,3 \pm 3,7)$ μGy a $(119,4 \pm 3,5)$ μGy . O objeto simulador mostrou-se adequado às medidas, cujos valores de dose encontrados são, em geral, inferiores aos valores das DRLs internacionais e de outros estudos.

Palavras-chave: simulação, raios X, dosimetria, UTI neonatal.

ABSTRACT

This study aims to estimate, by performing simulations with a phantom, the Air-Kerma in the Lung's Depth, in water, and Entrance Surface Air-Kerma in Skin in children admitted in a NICU. An ionization chamber and dosimeters were used for the measurements. The estimated values for the Air-Kerma in the Lung's Depth, in water, ranged from $(20.70 \pm 0.58) \mu\text{Gy}$ to $(84.60 \pm 0.20) \mu\text{Gy}$ and for the Entrance Surface Air Kerma in Skin chest ranged from $(22.3 \pm 3.7) \mu\text{Gy}$ to $(119.4 \pm 3.5) \mu\text{Gy}$. The phantom showed to be adequate for the measurements, the dose values found are generally lower than the values of international DRLs and other studies.

Keywords: simulation, X-rays, dosimetry, NICU.

1. INTRODUÇÃO

Os exames de raios X são um importante meio de investigação diagnóstica em Unidades de Terapia Intensiva (UTI) Neonatal [1] e fazem parte do grande número de solicitações de exames radiográficos do tórax, os quais correspondem a aproximadamente 75% dos exames de radiodiagnóstico realizados em pediatria [2]. A radiosensibilidade dos pacientes pediátricos e o aumento do risco induzido pela radiação, devido a maior expectativa de vida destes pacientes, tornam a preocupação com a dose de radiação recebida por estes pacientes submetidos a procedimentos radiográficos comuns, cada vez mais importante no radiodiagnóstico.

Durante uma complexa e prolongada hospitalização os pacientes neonatos, crianças com até 28 dias de idade, costumam ser expostos a vários exames que envolvem a radiação ionizante [3], o que torna ainda mais preocupante questões relacionadas à radiosensibilidade celular, já que a radiosensibilidade não é igual para todas as células, mas varia de acordo com a atividade metabólica e com fatores estruturais inerentes a cada tipo celular, conseqüentemente também a cada órgão, podendo ainda estar relacionado com a idade celular estudada [4].

A redução de dose radiação em neonatos é uma importante questão para a redução do risco de câncer a longo prazo. Atualmente, o risco de câncer radioinduzido é um risco estocástico com um modelo não linear de dose. Entretanto, reduzir a exposição à radiação diminui o risco de

desenvolvimento de câncer, como a leucemia, em uma criança pequena. A dose de entrada na pele pode ser reduzida mantendo a qualidade da imagem [5] para o diagnóstico clínico.

A dosimetria no radiodiagnóstico é usualmente baseada na determinação do Kerma-ar na superfície de entrada da pele, durante a realização de um exame de raios X. A partir do Kerma-ar, grandezas relacionadas ao risco, como a dose nos órgãos, podem ser obtidas utilizando coeficientes de conversão adequados, dispostos em tabelas ou por meio de alguns programas computacionais [6].

Diante disso, o objetivo deste estudo é estimar, por meio da construção de um objeto simulador de recém-nascido, o Kerma-ar na Profundidade do Pulmonar, na água, e o Kerma-ar na Superfície de Entrada da Pele no tórax em recém-nascidos internados em uma UTI Neonatal de um hospital infantil, quando são submetidos a exames radiográficos do tórax na projeção AP (Antero-Posterior).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Aspectos éticos

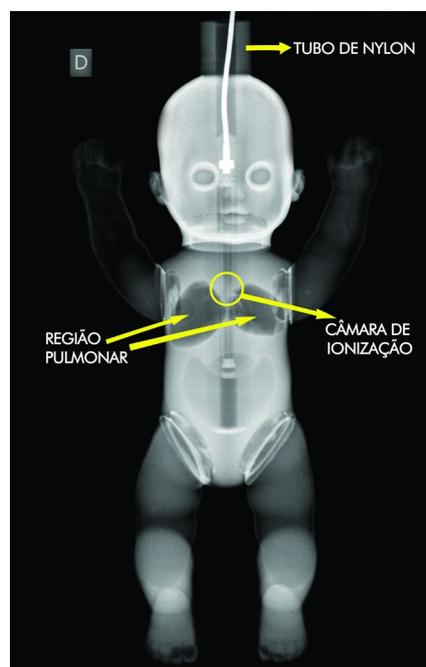
A realização deste estudo foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos, CAAE: 18523913.6.0000.0097, na condição de que todas as informações relacionadas aos pacientes fossem mantidas em confidencialidade. A metodologia aplicada tem como base a construção de um objeto simulador de um recém-nascido e, conseqüentemente a simulação de exames radiográficos realizados na UTI Neonatal a partir de informações coletadas referentes aos pacientes e aos exames executados no setor.

2.2. Objeto simulador

O objeto simulador foi construído através da adaptação de uma boneca de plástico, na qual foi acoplado um tubo de nylon para a inserção de uma câmara de ionização dentro do objeto. Sobre o tubo foi fixado um par de bexigas preenchidas com ar, para simular a região pulmonar do paciente, sendo o restante do corpo do objeto preenchido com água. Todos os materiais utilizados para a

confeção do objeto simulador foram previamente testados. A figura 1 ilustra uma imagem radiográfica do objeto simulador proposto, cujas medidas anatômicas consideradas são: comprimento igual a 33,5 cm; perímetro cefálico igual a 26,5 cm e perímetro torácico igual a 22,0 cm.

Figura 1: Radiografia ilustrando o posicionamento da câmara de ionização dentro do objeto simulador de um recém-nascido, preenchido com água, e sendo indicada pela seta a posição da região de maior sensibilidade da câmara de ionização.



Fonte: Arquivo próprio.

2.3. Equipamentos dosimétricos

Todas as simulações foram realizadas com o mesmo equipamento móvel de raios X, Siemens-Polymobil Plus, utilizado para a execução dos exames no setor em estudo. Para as estimativas de Kerma-ar na Profundidade Pulmonar, na água, os valores de doses foram obtidos através de uma câmara de ionização. Para as medidas de Kerma-ar na Superfície de Entrada da Pele foram utilizados Dosímetros Termoluminescentes (TLDs – *Thermoluminescent Dosimeters*) empacotados aos pares.

A câmara de ionização cilíndrica, utilizada para as medidas de Kerma-ar na Profundidade Pulmonar e para a calibração dos TLDs, é da marca “Radcal” (Monrovia, CA, EUA), modelo 10X6-6 com 6 cm³ de volume sensível. O certificado de calibração desta câmara (realizada pelo Laboratório de Metrologia das Radiações Ionizantes – LMRI – do Departamento de Energia Nuclear – DEN – da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE) é 062RX/1014, a qual forneceu um fator de calibração, para 70 kVp, de 0,991 com 2,5% de incerteza.

Os TLDs empregados no estudo são redondos do tipo LiF:MTS, com 4,5 mm de diâmetro e 0,9 mm de espessura da marca “RadPro International GmbH” (Wermelskirchen, Alemanha) e são lidos por uma leitora RA’04 TLD READER-ANALYSER. A leitora foi instalada no Laboratório de Física Nuclear Aplicada (da UTFPR) e é calibrada pelo próprio grupo de pesquisa. Os dosímetros foram empacotados aos pares, tanto para o processo de calibração como para as exposições no objeto simulador.

Para a calibração dos TLDs, foi empregada a câmara de ionização cilíndrica, cujas leituras, que variavam de acordo com o mAs aplicado, eram fornecidas em unidades de dose absorvida (μGy). Os TLDs foram posicionados, na altura do centro do volume sensível da câmara para as exposições. Durante o processo, ambos os dispositivos foram colocados sobre um apoio de isopor (de aproximadamente 20 cm de altura), com o objetivo de reduzir a contribuição da radiação espalhada pela mesa. Todas as exposições ocorreram com o mesmo equipamento de raios X utilizado para a realização dos exames.

2.4. Parâmetros radiográficos

Foram simuladas concomitantemente as medidas de: Kerma-ar na Profundidade Pulmonar, na água, e Kerma-ar na Superfície de Entrada da Pele no tórax, sendo aplicadas as duas técnicas radiográficas mais utilizadas no setor e cuja tensão (kVp) e corrente x tempo (mAs) são: 48 kVp e 1,6 mAs, respectivamente, para a primeira técnica e 55 kVp e 2,5 mAs, respectivamente, para a segunda técnica [7]. Durante as simulações as Distâncias Foco-Paciente (D_{FOP}) também foram variadas conforme as D_{FOP} mais utilizadas no setor: 58 cm, 70 cm e 80 cm [7].

2.5. Simulações

Para a estimativa de Kerma-ar na Profundidade Pulmonar, na água, a câmara de ionização foi inserida no tubo de nylon acoplado ao objeto simulador do recém-nascido, sendo a região de maior sensibilidade da câmara de ionização posicionada cuidadosamente na direção de incidência do feixe central de raios X para o exame simulado, prevendo uma maior confiabilidade dos resultados obtidos. Em seguida, foram realizadas 4 exposições para cada uma das duas técnicas aplicadas combinadas a cada uma das 3 D_{FOP} adotadas, sendo ao final obtida a média das leituras e o respectivo erro absoluto para cada combinação simulada.

Para as medidas de Kerma-ar na Superfície de Entrada da Pele no tórax, os TLDs foram posicionados sobre a região torácica do objeto simulador, na região de incidência do feixe central de raios X e em seguida, foram realizadas 3 exposições para cada uma das duas técnicas aplicadas combinadas as D_{FOP} adotadas de 58 cm e 80 cm, sendo ao final obtida a média das doses resultantes e o respectivo erro absoluto para cada combinação simulada.

Todas as exposições foram realizadas com o objeto simulador dentro de uma incubadora, em posição supina e com os membros superiores elevados, conforme os princípios de posicionamento radiográfico para exame de tórax AP no leito [8] e como ocorre originalmente para a realização desses exames no setor em estudo. Em todas as simulações o raio central foi direcionado perpendicularmente a região do tórax do objeto simulador e a colimação fechada nos quatro lados da região de interesse.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as medidas de Kerma-ar na Profundidade Pulmonar, na água, os resultados obtidos e seus respectivos erros absolutos (σ) são mostrados na tabela 1, de acordo com o kVp e o mAs aplicados às variadas D_{FOP} adotadas pelo estudo. Os resultados obtidos variam de $(20,70 \pm 0,58) \mu\text{Gy}$ a $(84,60 \pm 0,20) \mu\text{Gy}$.

Tabela 1: Kerma-ar na Profundidade Pulmonar, na água.

Parâmetros Radiográficos			
kVp	mAs	D_{FOP} (cm)	Dose ± σ (μGy)
48	1,6	58	34,80 ± 0,02
		70	26,05 ± 0,23
		80	20,70 ± 0,58
55	2,5	58	84,60 ± 0,20
		70	63,25 ± 0,18
		80	51,40 ± 0,14

Para as medidas de Kerma-ar na Superfície de Entrada da Pele no tórax, os resultados obtidos e seus respectivos erros absolutos (σ) são mostrados na tabela 2, de acordo com o kVp e o mAs aplicados às variadas D_{FOP} adotadas pelo estudo. Os resultados obtidos variam de (22,3 ± 3,7) μGy a (119,4 ± 3,5) μGy.

Tabela 2: Kerma-ar na Superfície de Entrada da Pele no tórax.

Parâmetros Radiográficos			
kVp	mAs	D_{FOP} (cm)	Dose ± σ (μGy)
48	1,6	58	48,8 ± 0,9
		80	22,3 ± 3,7
55	2,5	58	119,4 ± 3,4
		80	56,6 ± 9,7

Este estudo buscou realizar todas as exposições com uma colimação precisa, o que é essencial em radiologia pediátrica por causa do pequeno tamanho e da proximidade dos órgãos de uma criança [9]. Porém, devido a fatores inerentes ao setor que ocorrem muitas vezes devido à patologia associada ao paciente, nem sempre é possível realizar o exame radiográfico com a D_{FOP} adequada, o que pode acarretar um aumento de dose desnecessário ao recém-nascido examinado, além da colimação que muitas vezes não é realizada de forma adequada.

Durante o acompanhamento da realização dos exames, também foi possível notar a ausência de critérios adequados à técnica radiográfica selecionada pelo profissional de radiologia implicando no uso de uma mesma técnica radiográfica para pacientes neonatos de diferentes massas e espessuras. Isso explica o motivo pelo qual as simulações deste estudo foram realizadas apenas com a aplicação de duas técnicas radiográficas, que são as mais utilizadas no setor.

Os valores estimados para a medida de Kerma-ar na Profundidade Pulmonar, na água, obtidos neste estudo foram comparados com os principais níveis de referência de dose (DRLs – *Dose Reference Levels*) internacionais [4], [10] e [11] para radiodiagnóstico, já que não há valores de referência para a metodologia aplicada e também não foram encontrados valores de referência para uma possível comparação com valores de dose absorvida pela região pulmonar de acordo com a mesma metodologia apresentada neste estudo. O que existem, na maioria das vezes, são valores de doses absorvidas calculadas através de softwares, mas não diretamente no paciente.

Para a metodologia proposta os valores de dose encontrados são, em geral, inferiores ou muito próximos aos valores das DRLs internacionais, exceto para o maior valor de Kerma-ar na Profundidade do Pulmão, na água, obtido igual a $(84,60 \pm 0,20)$ μGy , decorrente da maior técnica radiográfica simulada e associada a menor D_{FOP} aplicada neste estudo, como mostra a tabela 3.

Tabela 3: Comparação entre os valores obtidos para Kerma-ar na Profundidade Pulmonar, na água, e os níveis de referência de dose internacionais.

Nível de Referência de Dose	Dose (μGy)
Simulação	84,60
EC [10]	80
UNSCEAR [4]	60
NRPB [11]	50

Para as medidas de Kerma-ar na Superfície de Entrada da Pele no tórax os valores obtidos neste estudo são, em geral, inferiores aos valores médios apresentados em estudos semelhantes publicados anteriormente, exceto pelo maior valor de Kerma-ar na Superfície de Entrada da Pele obtido igual a $(119,4 \pm 3,4)$ μGy , decorrente da maior técnica radiográfica aplicada na simulação e associada a menor D_{FOP} aplicada neste estudo, e o qual é inferior apenas aos valores médios

apresentados pelo estudos de Dabin *et al.* [12] e de Zewdu *at al.* [13] entre os estudos comparados, como mostra a tabela 4.

Tabela 4: Comparação entre os valores apresentados de Kerma-ar na Superfície de Entrada da Pele no tórax pelo presente estudo e outros estudos semelhantes.

Estudo	Dose (μGy)
Presente estudo	119,4
Dabin <i>et al.</i> [12]	172
Alzimami <i>et al.</i> [14]	80
Tossi e Malekzadeh [15]	76,3
Olgar <i>et al.</i> [16]	67
kim <i>et al.</i> [5]	48,11
Makri <i>et al.</i> [17]	44
Billinger <i>at al.</i> [18]	55
Komatsu <i>at al.</i> [19]	72
Zewdu <i>at al.</i> [13]	1,82 m

A metodologia proposta através do objeto simulador de um recém-nascido permitiu que as estimativas de dose propostas pelo estudo pudessem ser realizadas sem a interferência direta no paciente por meio dos materiais dosimétricos adotados para o estudo, as quais não seriam viáveis em uma análise “*in vivo*”, ou seriam somente por análise computacional.

4. CONCLUSÕES

As simulações apresentadas foram possíveis a partir da coleta de informações referentes aos pacientes e ao exame radiográfico estudado, as quais não seriam viáveis, dentro da metodologia aplicada neste estudo, em uma análise “*in vivo*”. Dessa forma, o objeto simulador foi suficientemente adequado às medidas propostas. E os resultados obtidos neste estudo são, em geral, inferiores as DRLs adotadas e, também, aos valores apresentados por estudos semelhantes e

publicados anteriormente. No entanto, são necessários estudos adicionais referentes às doses recebidas pelos pacientes pediátricos internados em UTI Neonatal, além de programas que visem melhorias quanto aos parâmetros radiográficos a serem selecionados para cada exame.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, além do apoio das agências de fomento, CNPq, Fundação Araucária e CNEN.

REFERÊNCIAS

- [1] LOOVERE, L.; Boyle, EM.; Blatz, S.; Bowslaugh, M.; Kereliuk, M.; Paes, B. Quality improvement in radiography in a neonatal intensive care unit. **Canadian Association of Radiologists Journal**. 2008; 59(4):197-202.
- [2] CHAPPLE, CL. Optimization of protection in pediatric radiology. **Regional Medical Physics Department**. New Castle General Hospital. 2008.
- [3] DATZ, H.; Ben-Shlomo, A.; Bader, D.; Sadetzki, S.; Juster-Reicher, A.; Marks, K.; Margaliot, M. The additional dose to radiosensitive organs caused by using under-collimated X-ray beams in neonatal intensive care radiography. **Radiation Protection Dosimetry**. 2008; 130(4): 518-524.
- [4] UNSCEAR Report. Sources, effects and risks of ionizing radiation: effects of radiation exposure of children. New York: **United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation**. 2013.
- [5] KIM, T. H.; Ryu, J. H.; Jeong, C. W.; Jun, H. Y.; Heo, D. W.; Lee, S. Yoon, K. H. Reduced radiation dose and improved image quality using a mini mobile digital imaging system in a neonatal intensive care unit. **Clinical Imaging**. 2017. 42, 165–171. <http://doi.org/10.1016/j.clinimag.2016.12.004>

- [6] KYRIOU, J.C.; Newey, V.; Fitzgerald, M.C. Patient doses in diagnostic radiology at the touch of a button. **The Radiological Protection Centre, St George's Hospital**, London, UK; 2000.
- [7] BUNICK, Ana Paula. Avaliação dosimétrica e qualidade da imagem diagnóstica em exames radiográficos realizados na unidade de terapia intensiva (UTI) neonatal do Hospital Infantil Pequeno Príncipe. [Trabalho de Conclusão de Curso]. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná; 2011.
- [8] BONTRAGER, KL; Lampignano, JP. **Tratado de posicionamento radiográfico e anatomia associada**. 6ª Edição. São Paulo: Elsevier; 2005.
- [9] SRS. Safety Reports Series. Radiation protection in paediatric radiology. Vienna: **International Atomic Energy Agency**; 2012.
- [10] EUR. European Commission. European guidelines on quality criteria for diagnostic radiographic images in paediatrics. Vienna: **International Atomic Energy Agency**; 1996.
- [11] HART, D.; Hillier, MC.; Wall, BF. Doses to patients from medical X-ray examinations in the UK-2000 Review. **NRPB-W14**. 2002;1-66.
- [12] DABIN, J.; Struelens, L; Vanhavere, F. Radiation dose to premature new-borns in the belgian neonatal intensive care units. **Radiation Protection Dosimetry**. 2014; 158(1):28-35.
- [13] ZEWDU, M.; Kadir, E.; & Berhane, M. Assessment of Pediatrics Radiation Dose from Routine X-Ray Examination at Jimma University Hospital, Southwest Ethiopia. **Ethiopian Journal of Health Sciences**. 2017. 27(5), 481–490.
- [14] ALZIMAMI K, Sulieman A.; Yousif A.; Babikir E; Salih I. Evaluation of radiation dose to neonates in a special care baby unit. **Radiation Physics and Chemistry**. 2014; 104:150-153.
- [15] TOOSI, MTB.; Malekzadeh, M. Radiation dose to newborns in neonatal intensive care units. **Iranian Journal of Radiology - A Quarterly Journal Published by the Iranian Radiological Society**. 2012. 9(3):145-9.
- [16] OLGAR, T.; Onal, E.; Bor, D.; Okumus, N.; Atalay, Y.; Turkyilmaz, C.; Koc, E. Radiation exposure to premature infants in a neonatal intensive care unit in Turkey. **Korean Journal of Radiology**. 2008. 9(5):416-419.
- [17] MAKRI, T.; Yakoumakis, E.; Papadopoulou, D.; Gialousis, G.; Theodoropoulos, V.; Sandilos, P.; Georgiou, E. Radiation risk assessment in neonatal radiographic examinations of the chest and

abdomen: A clinical and Monte Carlo dosimetry study. **Physics in Medicine and Biology**. 2006. 51(19), 5023–5033. <http://doi.org/10.1088/0031-9155/51/19/019>

[18] BILLINGER, J.; Nowotny, R.; Homolka, P. Diagnostic reference levels in pediatric radiology in Austria. **European Radiology**. 2010 20(7), 1572–1579. <http://doi.org/10.1007/s00330-009-1697-7>

[19] KOMATSU, C. V.; Silva, C. C.; Souza, L. R. M. F. de; Gonçalves, L. F. Excess Radiation to Newborns Hospitalized in the Intensive Care Unit. **Radiation Protection Dosimetry**. 2017. 1–11. <http://doi.org/10.1093/rpd/ncx051>.