

Estimativa de doses ocupacionais e de indivíduos do público em radiologia veterinária

Isabela Neves¹, Paola da C. Rosa¹, Danielle Filipov¹, Carla Roberta de B. R. Dias, Nancy K. Umisedo², Elisabeth M. Yoshimura², Anna Luiza M. C. Malthez¹

¹ Universidade Tecnológica do Paraná

² Universidade de São Paulo

E-mail: iisabela_neves@hotmail.com

Resumo: Os exames radiográficos são essenciais na clínica veterinária. Os pacientes são não colaborativos exigindo a permanência de funcionários e/ou do proprietário do animal para a imobilização durante o exame. Neste estudo, as condições de proteção radiológica dos IOE e indivíduos do público durante os exames foram avaliadas utilizando dosimetria TL e OSL. Foi constatado que os IOE podem receber doses que ultrapassam os limites estabelecidos nas normas nacionais quando não utilizadas as vestimentas de proteção plumbíferas. Considerando a proteção radiológica, seria recomendado que o acompanhante proprietário realizasse a imobilização durante o exame utilizando vestimentas de proteção para minimizar as doses.

Palavras-chave: proteção radiológica, radiologia veterinária, doses, indivíduo ocupacionalmente expostos (IOE).

Abstract: Radiographic examinations are essential in the veterinary clinic. Patients are non-collaborative, requiring a worker or the pet owner presence for immobilization during the exam. In this study, the conditions of radiological protection of IOE and public during exams were evaluated using TL and OSL dosimetry. It was found that IOE can receive doses that exceed the limits of national standards when the lead protective garments was not worn. Considering the radiological protection, we recommend that the companion owner perform immobilization during the examination using protective clothing to minimize doses.

Keywords: radiation protection, veterinary radiology, doses, occupationally exposed individual.

1. INTRODUÇÃO

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) coletados em 2013, as famílias brasileiras cuidam de 52 milhões de cães contra 45 milhões de crianças (IBGE, 2013). A população de animais domésticos é crescente e com esse aumento, a necessidade de clínicas e hospitais veterinários também cresce. Estimou-se, em 2007, que só na cidade de Curitiba, tinha-se registro de 33

estabelecimentos identificados como clínicas veterinárias equipadas com aparelho de raios X para exames radiográficos (TEXEIRA, 2007).

Os exames radiográficos são essenciais na prática clínica e na rotina dos hospitais e clínicas veterinárias, devido à elucidação dos casos clínicos e sua aquisição rápida para contribuir com o diagnóstico. Em especial na radiologia veterinária, os pacientes são não colaborativos, sendo necessária a permanência de funcionários qualificados ou do proprietário do animal para imobilização do paciente durante o exame radiográfico (TICER, 1987). Outro método de imobilização utilizado para substituir a imobilização física seria a sedação, mas não é muito utilizada pelo custo financeiro ao proprietário e risco ao animal (BARROS; ROSA, 2018).

Atualmente, até onde se tem informação e registro, o Brasil ainda não possui uma legislação específica para a radiologia veterinária. A Resolução RDC N° 330 de 20 de dezembro de 2019 estabelece que os serviços de radiologia veterinária diagnóstica ou intervencionista devem atender ao disposto na resolução, no tocante à proteção dos trabalhadores e de indivíduos do público (ANVISA, 2019). As legislações, portarias e normas disponibilizadas pelos Ministérios do Trabalho e da Saúde e pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) abordam a proteção do ambiente e segurança dos trabalhadores em radiologia sem abordar a radiologia veterinária especificamente.

No Brasil os limites a serem observados são estabelecidos nas Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica da CNEN (CNEN NN 3.01). A CNEN estabelece que a dose efetiva anual não deve exceder 20 mSv para indivíduos ocupacionalmente exposto (IOE) e para indivíduos que assistem pacientes não deve exceder 5 mSv, bem como a dose equivalente para IOE não deve exceder 500 mSv para mãos, pés e pele (CNEN, 2014).

O monitoramento dos IOE é feito por meio da utilização de um monitor individual ou dosímetro composto por elementos detectores sensíveis à radiação. Os sistemas dosimétricos mais utilizados no Brasil para a monitoração dos IOE são baseados na técnica de termoluminescência (TL) (IRD, 2018).

Na técnica TL, os detectores previamente expostos à radiação são submetidos a um aquecimento controlado, emitindo um sinal luminescente com intensidade proporcional à dose absorvida pelo material detector. Outra técnica para monitoração individual, recente no Brasil, mas amplamente difundida em diversos países da comunidade Europeia e Estados Unidos, é a técnica de Luminescência Opticamente Estimulada (OSL – *Optically Stimulated Luminescence*). Assim como na técnica TL, no caso de sistemas dosimétricos baseados na técnica OSL, o material detector, previamente exposto à radiação, também emite um sinal luminescente proporcional à dose de radiação, porém o estímulo empregado para emissão luminescente é óptico ao invés de térmico ((MALTHÉZ, 2015, YUKIHARA, 2011). Embora apresente diversas vantagens em relação à técnica TL, como a rapidez do processo de leitura e o não aquecimento do material, atualmente, somente um serviço de monitoração de IOE no país utiliza a técnica OSL (IRD, 2018).

Considerando os efeitos biológicos das radiações e o crescente número de equipamentos dedicados a prática veterinária, é necessária a avaliação das doses ocupacionais, bem como das doses recebidas pelos indivíduos do público sujeitos à exposição durante as práticas em radiologia veterinária, para verificar se estas estão dentro dos limites estabelecidos pela legislação e normas brasileiras vigentes. Neste estudo estimamos as doses ocupacionais e em indivíduos do público, utilizando dosimetria TL e OSL, simulando exames de radiologia veterinária com aquisição de imagens em equipamentos fixo e móvel.

2. METODOLOGIA

A primeira etapa deste estudo foi a coleta de dados realizada no período de julho a setembro de 2018. No total foram coletados dados de 338 exames de raios X realizados em um hospital veterinário localizado em Curitiba.

No serviço de radiologia veterinária, a médica veterinária responsável preencheu, ao longo dos 3 meses, as seguintes informações sobre os exames executados: qual a incidência realizada, as técnicas utilizadas em cada exame (tensão de pico, corrente de operação, tempo de exposição, distância foco-filme) e os parâmetros do animal (espécie, peso e espessura). A partir desse levantamento foram estimados o número médio de exames realizados diariamente e a massa média do animal e levantadas as informações das técnicas radiográficas utilizadas na rotina, as quais foram necessárias para que se realizasse as simulações nos equipamentos de raios X fixo e móvel.

Baseado no levantamento da primeira etapa, foram definidos os dois exames mais frequentes realizados durante esse período no serviço de radiologia veterinária: exame de tórax nas incidências ventrodorsal (VD) e látero-lateral direita (LLD). Dados estes exames, foi avaliada a massa média dos animais em aproximadamente 13 kg.

Para simular um animal com o peso médio avaliado na coleta de dados, utilizou-se como objeto simulador um galão de plástico retangular de 20 L preenchido com aproximadamente 13 L de água. A técnica selecionada para as simulações das exposições foi a mesma utilizada no exame de tórax com incidência VD para um animal com massa de aproximadamente 13 kg: tensão de pico de 76 kVp e um produto corrente-tempo de operação de 6,6 mAs (0,033 s e 200 mA).

Para simular os IOE e indivíduos do público foi utilizado o simulador antropomórfico *Alderson Radiation Therapy* (ART), fabricado pela Radiology Support Devices (Long Beach, CA, USA). O ART reproduz a forma e a densidade dos tecidos humanos, permitindo uma avaliação mais confiável das doses recebidas pelos IOE e indivíduos do público durante a realização dos exames de raios X de rotina de um hospital veterinário, pois teremos condições de espalhamento semelhante às encontradas no corpo humano. Além disso, para avaliação da dose nas mãos foram utilizadas luvas de látex preenchidas com água.

As irradiações no equipamento de raios X fixo foram realizadas utilizando um equipamento Ray Tec (São Paulo, Brasil) modelo US 30/50. As irradiações no equipamento de raios X móvel, cedido por uma clínica veterinária privada da região de Curitiba, foram realizadas em um equipamento SEDECAL (Madri, Espanha) modelo R72S DHHS dedicado a radiologia veterinária.

As condições reais de exposição dos IOE e/ou indivíduos do público presentes durante o exame para a imobilização do animal foram definidas considerando que no exame simulado (tórax com incidência VD) é necessário segurar o animal com as duas mãos tracionando os membros superiores no sentido cranial e, também, os membros inferiores no sentido caudal, havendo necessidade de uma segunda pessoa para imobilizar ou de se utilizar sacos de areia (dependendo do porte do animal), conforme ilustrado na figura 1.

Desse modo, tanto nas simulações do exame nos aparelhos de raios X fixo bem como no móvel, o simulador antropomórfico de corpo humano foi posicionado no final da mesa, já que na rotina o indivíduo que realiza a imobilização fica nesta posição para facilitar o tracionamento dos membros superiores. As luvas de látex preenchidas com água, utilizadas para simular as mãos do imobilizador, foram posicionadas nas laterais do objeto simulador veterinário e fixadas de forma a ficarem pressionadas na lateral do objeto, conforme mostrado na figura 2, sem e com equipamentos de proteção plumbíferos respectivamente.

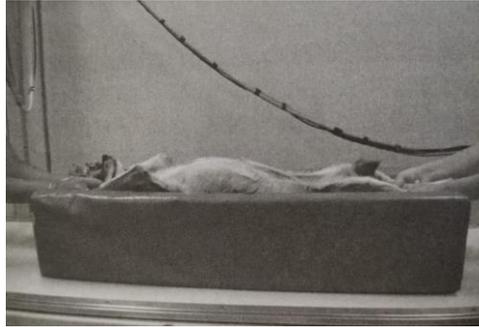


Figura 1 - Decúbito dorsal, com incidência ventrodorsal (VD).

Fonte: NOBREGA, 2006.

Além disso, no caso do equipamento móvel, foram selecionados dentro do local de realização do exame, pontos para avaliação da dose nos quais os IOE estão presentes, bem como pontos na sala e em determinadas regiões na qual um segundo operador, segurando o tubo do equipamento móvel, pode estar posicionado ou ter maior exposição.



Figura 2 - Luvas de latex preenchidas sem luva de proteção ao lado do objeto simulador.

Fonte: Autoria própria (2019).

Nos simuladores antropomórficos, tanto no equipamento fixo como o móvel, as doses foram avaliadas em diferentes regiões do corpo humano mais suscetíveis à exposição durante o exame: a região do tórax, os cantos externos dos olhos direito e esquerdo, tireoide, mãos (dorsal e palmar), mama e gônadas, considerando duas situações com e sem o uso de vestimentas plumbíferas. Neste último caso, o simulador antropomórfico foi vestido com avental de chumbo (0,50 mm) e luvas de chumbo (0,50 mm) vestiram luvas de látex preenchidas com água, do mesmo modo como o IOE estaria paramentado na rotina (figura 3).



Figura 3 – IOE e simuladores com vestimentas de proteção plumbíferas.

Fonte: Autoria própria (2019).

No caso do equipamento móvel, a dose foi avaliada em mais seis pontos: quatro no segundo operador que segura o tubo (mãos, tireoide e tórax) e dois em locais onde o operador pode efetuar o disparo; na distância máxima do botão de disparo (a uma distância de 2,5 m do feixe primário na qual o veterinário do serviço se posiciona atrás da parede) e a uma distância de 2,09 m do feixe primário na frente da parede, onde um indivíduo do público poderia estar localizado.

Para a avaliação das doses foram utilizados detectores TL de fluoreto de lítio dopado com magnésio e titânio (LiF:Mg, Ti), comercialmente chamados de TLD100 (Bicron), com dimensões de 3,1 mm x 0,9 mm e detectores OSL de óxido de berílio (BeO), chamados de Thermalox 995 da Materion Corporation, com dimensões de 4,5 mm x 0,5 mm. Tais detectores foram escolhidos pois são tecidos equivalentes (com número atômico efetivo próximo ao do tecido biológico entre aproximadamente 7 e 8) apresentando baixa dependência energética (MALTHEZ, 2015).

Para avaliar as doses nos pontos de interesse, os detectores foram posicionados a distâncias e alturas diferentes no simulador e nas mãos na região palmar e dorsal, sem e com proteção de luva plumbífera. No ART, os detectores foram posicionados no tórax, nos cantos externos dos olhos direito e esquerdo, na tireoide, na mama e nas gônadas e nas mãos.

Foram realizadas 10 exposições seguidas, de modo a garantir que os detectores recebessem dose suficiente para a leitura. Um trio de detectores OSL e um par de TL permaneceu fora da sala de exames para contabilizar a radiação de fundo (*background* - BG).

No equipamento de raios X móvel foi utilizada a mesma metodologia aplicada no equipamento fixo, com a diferença que foram medidas as doses em um segundo operador que estaria segurando o tubo e em pontos nos quais os IOE poderiam estar durante o disparo. A figura 4 ilustra como o segundo operador segura o tubo de raios X móvel dedicado à radiologia veterinária.



Figura 4: Equipamento de raios X móvel sendo manipulado pelo operador.

Fonte: CDK, 2019.

Após expostos, todos os detectores TL e OSL foram analisados no laboratório de dosimetria do Grupo de Dosimetria das Radiações e Física Médica do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP), no leitor automatizado Risø TL/OSL-DA 20 (DTU – Nutech) com as configurações e modos de estimulação dedicados para cada tipo de detector. Os detectores TL foram aquecidos a uma taxa linear de 5 °C/s até a temperatura de 400°C. Os detectores OSL foram iluminados com LED azuis (450 nm) por 40s. Após o processo de estimulação óptica e térmica, a leitura fornece os valores de intensidade TL e OSL. Para converter estes valores de intensidades TL e OSL em dose, foram utilizados fatores de calibração para cada material, previamente avaliados para energia de fótons do ⁶⁰Co, e fatores de correção para energia dos raios X apropriados de acordo com a técnica aplicada no exame.

Os valores de dose estimados foram dispostos em uma tabela, de maneira a comparar os valores encontrados pelos detectores OSL e TL com os limites estabelecidos pela norma CNEN 3.01. Para isso, foi estimada a dose absorvida e, em seguida, foi estimado o equivalente de dose pessoal para corpo inteiro, extremidades e cristalino utilizando fatores de conversão de Gy para Sv (h_{pk}), dados nas normas internacionais para calibração e estimativa de dose considerando a energia efetiva do feixe de raios X de 50 keV (ISO, 1999).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise dos dados dos 338 exames, durante um período de 3 meses, foram obtidos os valores médios das massas dos animais para cada incidência. Foi observado que o exame mais frequente é o raio X de tórax, com a incidência VD, totalizando 65 exames. Em seguida a incidência LLD, com 62 exames. Também foi constatado que o número de exames realizados em cães superou o número de exames realizados em gatos; foram 39 incidências em felinos contra 299 incidências caninas. A figura 5 apresenta a distribuição do número de exames por dia, a partir da qual foi calculada a média do número de exames realizados diariamente; 7 exames por dia, para estimativa do equivalente de dose mensal e anual.

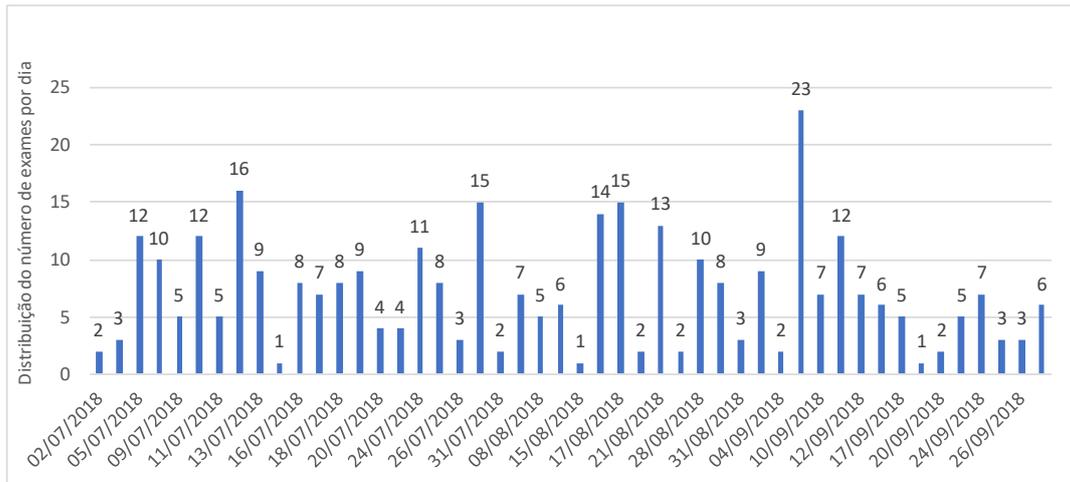


Figura 5 - Gráfico da distribuição do número de exames por dia.

Fonte: A autoria própria (2019).

A tabela 1 apresenta os resultados das estimativas de dose avaliadas com os detectores OSL de BeO e TL de LiF em diferentes regiões anatômicas dos IOE e/ou acompanhantes. O estudo foi realizado durante exames simulados em aparelhos de raios X móvel e fixo, quando estes utilizavam ou não vestimentas plumbíferas para proteção, em uma única radiografia de tórax VD.

A análise da dose absorvida, estimada na tabela 1, revela que, quando não utilizadas as vestimentas plumbíferas de proteção, os valores de dose absorvida são maiores que quando utilizados as vestimentas de proteção, conforme o esperado. Também como resultado esperado, os maiores valores de dose absorvida estimados foram encontrados nas mãos. A razão mais provável para isso é o posicionamento das mãos do IOE e/ou indivíduo do público acompanhante durante a realização do exame de raios X que pode estar próxima ou dentro do campo de irradiação do feixe primário. Ainda analisando os dados da tabela 1, no caso do equipamento de raios X móvel, quando utilizada as vestimentas de proteção, todos os valores de dose absorvida estimados ficam abaixo do limite de detecção, ressaltando a grande importância da utilização das vestimentas plumbífera para a proteção dos IOEs e/ou acompanhantes.

Os limites estabelecidos nas Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica não se aplicam a exposições médicas de acompanhantes e voluntários que eventualmente assistem pacientes. Os valores de doses devem ser mínimos de forma que o acompanhante não receba mais de 5 mSv durante o exame diagnóstico. Neste trabalho, no pior caso, foi estimado o equivalente de dose de 0,26 mSv nas mãos do acompanhante quando este não utilizava as luvas plumbíferas (correspondente a 170 µGy na estimativa de dose absorvida) durante o exame simulado no equipamento de raios X fixo. Considerando as normas da CNEN, durante uma única exposição o acompanhante receberia uma dose abaixo de 5 mSv. Este valor só seria ultrapassado se fossem acompanhadas aproximadamente 19 tomadas radiográficas com as mãos próximas a região do feixe primário sem a utilização das vestimentas de proteção, o que é improvável de ocorrer.

Tabela 1 - Dose absorvida estimada para diversas partes do corpo dos IOE e/ou acompanhantes durante um único exame.

Pontos	Dose (μGy)				
	Fixo sem proteção		Móvel sem proteção	Fixo com proteção*	Móvel com proteção*
	BeO	LiF	BeO	LiF	LiF
Olho direito	$8,7 \pm 0,9$	8 ± 6	< LD**	< LD**	< LD**
Olho esquerdo	9 ± 1	18 ± 20	< LD**	3 ± 2	< LD**
Tireoide	$7,8 \pm 0,2$	14 ± 5	< LD**	$6,0 \pm 0,4$	< LD**
Tórax	10 ± 5	9 ± 4	< LD**	< LD**	< LD**
Mama	10 ± 1	9 ± 3	< LD**	< LD**	< LD**
Mão direita superior	84 ± 12	70 ± 10	9 ± 1	14 ± 7	< LD**
Mão esquerda superior	170 ± 13	80 ± 20	$2,2 \pm 0,7$	14 ± 8	< LD**
Mão direita inferior	17 ± 1	14 ± 7	$2,8 \pm 0,8$	60 ± 74	< LD**
Mão esquerda inferior	15 ± 2	14 ± 11	$1,8 \pm 0,1$	$13,1 \pm 0,9$	< LD**
Gônadas	$2,7 \pm 0,2$	3 ± 2	$0,3 \pm 0,2$	< LD**	< LD**

*Quando utilizada proteção plumbífera o detector foi posicionado por baixo.

** < LD abaixo do limite de detecção

Fonte: Autoria própria (2019).

A tabela 2 apresenta os valores de dose estimados em diferentes pontos nos quais o operador do tubo e profissional que realiza o disparo poderia estar posicionado e nas regiões do corpo do operador do tubo que podem receber ou estar exposta a uma intensidade significativa de radiação espalhada em uma única radiografia de tórax na incidência VD.

Comparando os valores estimados com os detectores OSL de BeO e TL de LiF, observa-se que os detectores OSL se mostraram mais sensíveis para estimativas de dose baixas (na faixa de μGy) do que os detectores TL de LiF, já que não foi possível estimar a dose absorvida com esses detectores (abaixo do limite de detecção do detector). Embora as incertezas associadas à dose estimada com os detectores OSL possam ser elevadas, devido às intensidades relativamente baixas, espalhamento e largo espectro de energia dos raios X, como no caso da dose estimada nas mãos e no tórax, foi possível estimar as doses em todos os pontos considerados.

Tabela 2: Dose absorvida estimada utilizando detectores OSL (BeO) e TL (LiF) nos IOE operador do tubo e operador do disparo em diferentes pontos quando utilizado raios X móvel durante um único exame.

Pontos	Dose (μGy)	
	BeO	LiF
Mão esquerda do operador	$0,6 \pm 0,5$	< LD*
Mão direita do operador	$0,6 \pm 0,3$	< LD*
Tireoide do operador	$0,24 \pm 0,03$	< LD*
Tórax do operador	$1,8 \pm 0,6$	< LD*
Tórax do operador do disparo	$1,3 \pm 0,3$	< LD*
Parede	2 ± 1	< LD*

* < LD abaixo do limite de detecção

Fonte: Autoria própria (2019).

Vale ressaltar, que mesmo com as doses baixas (da ordem de μGy), no caso dos exames tanto com equipamento de raios X móvel como com o fixo, dependendo da frequência e da carga de trabalho, o IOE que imobiliza o animal pode ser exposto de forma significativa já que as doses estimadas na região da mão são relativamente altas.

Considerando o número de exames diários levantados na rotina da clínica veterinária (figura 5), foram estimados os equivalentes de dose nos IOE durante o período de um mês, comparados com os valores de referência dados pelas Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica da CNEN para a dose efetiva de corpo inteiro e os equivalentes de dose para mãos e cristalinos (CNEN, 2014). Como os valores de referência são anuais; foram divididos por 12 meses para chegar a um valor mensal, conforme apresentado nas tabelas 3 e 4.

A tabela 3 apresenta os valores de equivalente de dose mensal estimados para o IOE, considerando que este está sem e com vestimentas de proteção plumbíferas, utilizando os detectores OSL (BeO) e TL (LiF), respectivamente, na imobilização do animal durante o exame simulado de radiografia de tórax na incidência VD e os valores de referência dados pela CNEN.

A análise da estimativa dos equivalentes de dose na tabela 3 aponta, que quando utilizado equipamento de raios X fixo, a dose em todos os pontos está acima do valor de referência quando não utilizadas as vestimentas de proteção plumbífera. Utilizando as vestimentas de proteção, pode-se reduzir a dose recebida pelo IOE. Nos olhos não foram utilizados óculos de proteção plumbíferos em nenhuma das simulações de exposição. O uso dos óculos de proteção poderia ter reduzido esses valores de estimativa de dose, como no caso das mãos.

Tabela 3: Equivalente de dose mensal estimados utilizando detectores OSL (BeO) para o IOE sem proteção e TL (LiF) com proteção em diferentes pontos quando utilizado raios X fixo e móvel.

Pontos	Fixo sem proteção	Fixo com proteção	Móvel sem proteção	Limite de dose mensal para IOE
	Equivalente de Dose (mSv)			
Olho direito	2,8	< LD*	< LD*	1,7 mSv**
Olho esquerdo	2,9	1,0	< LD*	
Tórax	3,4	< LD*	< LD*	1,7 mSv***
Mão direita superior	27,0	4,5	2,9	41,7 mSv**
Mão esquerda superior	54,6	4,5	0,7	
Mão direita inferior	5,5	19,3	0,9	
Mão esquerda inferior	4,8	4,2	0,6	

* < LD abaixo do limite de detecção

** Limite de dose equivalente anual (CNEN, 2014) dividido por 12 meses

*** Limite de dose efetiva anual de corpo inteiro (CNEN, 2014) dividido por 12 meses

Fonte: Autoria própria (2019).

Ainda considerando os resultados apresentados na tabela 3, todos os valores de estimativa de dose para o equipamento de raios X móvel ficaram abaixo do limite de detecção ou abaixo do limite de referência.

Os valores de equivalente de dose mensal estimados para os IOE, quando utilizados detectores OSL (BeO), agora considerando que o IOE está operando o tubo ou efetuando o disparo no equipamento de raios X móvel durante o exame simulado de radiografia de tórax na incidência VD e os valores de referência dados pela CNEN são apresentados na tabela 4.

Observamos que todos os valores de dose mensal estimados para o IOE operador do tubo e operador do disparo em diferentes pontos quando utilizado raio X móvel, ficaram abaixo dos limites de referências considerados.

Considerando o número de exames diários levantados na rotina da clínica veterinária foram estimados os equivalentes de dose nos IOE anuais e comparados com os valores de referência dados pelas Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica da CNEN, conforme apresentado nas tabelas 5 e 6.

Tabela 4: Equivalente de dose mensal utilizando detectores OSL (BeO) nos IOE operador do tubo e operador do disparo em diferentes pontos quando utilizado raios X móvel.

Região do IOE	Equivalente de Dose (mSv)	Limite de dose mensal para IOE
Mão esquerda do operador	0,2	41,7 mSv*
Mão direita do operador	0,2	
Tórax do operador	0,6	1,7 mSv**
Tórax do operador do disparo	0,4	

* Limite de dose equivalente anual (CNEN, 2014) dividido por 12 meses

** Limite de dose efetiva anual de corpo inteiro (CNEN, 2014) dividido por 12 meses

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 5: Equivalente de dose anual estimados utilizando detectores OSL (BeO) para o IOE sem proteção e TL (LiF) com proteção em diferentes pontos quando utilizado raios X fixo e móvel.

Pontos	Fixo sem proteção	Fixo com proteção	Móvel sem proteção	Limite de dose anual para IOE (CNEN, 2014)
	Equivalente de Dose (mSv)			
Olho direito	33,5	< LD*	< LD *	20 mSv
Olho esquerdo	34,7	11,6	< LD *	
Tórax	40,3	< LD*	< LD *	20 mSv
Mão direita superior	323,9	54,0	34,7	500 mSv
Mão esquerda superior	655,5	54,0	8,5	
Mão direita inferior	65,5	231,3	10,8	
Mão esquerda inferior	57,8	50,5	6,9	

* < LD abaixo do limite de detecção

Fonte: Autoria própria (2019).

Ao avaliar os resultados da tabela 5, observamos que, no equipamento de raios X fixo, sem proteção, os valores de equivalente de dose nas mãos ficaram acima do limite de dose anual estabelecido pela

CNEN para o IOE. As doses para o cristalino também ficaram acima do limite para o equipamento de raios X fixo sem proteção. Já na região do tórax, a dose estimada sem proteção no equipamento de raio X fixo foi o dobro da dose limite de referência estabelecido pela CNEN, provavelmente devido a região do tórax ficar muito próximo do animal examinado, podendo receber uma quantidade significativa de radiação espalhada. Observou-se que, no equipamento de raios X fixo com vestimentas plumbíferas de proteção, os valores de doses estimados ficaram abaixo do limite estabelecido. Já no caso do equipamento de raios X móvel, todos os valores estimados estão abaixo dos limites de referência ou do limite de detecção.

Vale ressaltar que os valores de referência, dados pelas Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica da CNEN, consideram o termo dose anual como dose no ano calendário, ou seja, decorrente de janeiro a dezembro. A CNEN, em condições especiais, para as doses efetiva no corpo inteiro e equivalente no cristalino do IOE, considera uma média aritmética em 5 anos consecutivos, porém os valores não devem exceder 50 mSv em qualquer ano. Já para o indivíduo do público, a CNEN poderá autorizar um valor de dose efetiva de até 5 mSv em cada ano, desde que a média da dose efetiva em 5 anos consecutivos não exceda a 1 mSv por ano (CNEN, 2014).

A tabela 6 apresenta os valores estimados, utilizando detectores OSL (BeO), para o IOE operador do tubo e operador do disparo em diferentes pontos no exame simulado no equipamento de raios X móvel. Neste caso, foi observado que todos os valores ficaram abaixo dos limites anuais para IOE estabelecido pelas Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica da CNEN (CNEN, 2014).

Tabela 6: Dose absorvida anual estimada utilizando detectores OSL (BeO) nos IOE operador do tubo e operador do disparo em diferentes pontos quando utilizado raios X móvel.

Região do IOE	Equivalente de Dose (mSv)	Limite de dose anual para IOE (CNEN,2014)
Mão esquerda do operador	2,3	500 mSv
Mão direita do operador	2,3	
Tórax do operador	7,3	20 mSv
Tórax do operador do disparo	5,2	

Fonte: Autoria própria (2019).

Vale destacar que, embora tenha sido considerado o número de exames médio, foi simulado somente um tipo de exame radiográfico (radiografia de tórax) com uma única tomada (sem repetições) considerando o valor médio para o peso do animal mais frequente na clínica (cão). Desse modo, as doses podem ser ainda maiores, se forem atendidos animais de grande porte e repetições forem necessárias (já que nesse estudo estas não foram consideradas).

7 CONCLUSÃO

Durante a execução desse trabalho foram coletados e analisados dados de 338 exames, coletados durante um período de 3 meses, para estimar as doses ocupacionais e/ou em indivíduos do público, utilizando dosimetria TL e OSL, através da simulação das condições mais próximas da realidade encontrada na radiologia veterinária quando utilizados equipamentos de raio X fixo e móvel.

Foi constatado que no equipamento de raios X fixo, as doses estimadas foram maiores do que as doses estimadas no equipamento de raios X móvel, considerando um único tipo de exame, um valor médio para o peso do animal mais frequente e que repetições não foram realizadas. Ainda podemos concluir que tanto no equipamento de raios X móvel como no fixo, o uso de vestimentas plumbíferas para proteção do IOE é fundamental para redução das doses, sendo que em alguns casos, quando não utilizada a vestimenta de proteção o limite de exposição ocupacional dado pela CNEN foi ultrapassado.

Quando comparados os detectores OSL de BeO e TL de LiF, observou-se que os detectores OSL se mostraram mais sensíveis para estimativas de dose baixa (na faixa de μGy) do que os detectores de TL de LiF, pois não foi possível estimar a dose absorvida com esses detectores em alguns casos pois estavam abaixo do limite de detecção do detector.

Embora os valores de dose absorvida estimados sejam baixos (da ordem de μGy), para um único tipo de exame e animal, dependendo da frequência e carga de trabalho, o IOE que realiza a imobilização dos animais pode ser exposto de forma significativa, sendo as maiores doses na região das mãos, em ambos os equipamentos, e no caso do equipamento de raios X fixo, tanto nas mãos como nas regiões do tórax e cristalino, os equivalentes de dose ficam acima do estabelecido pelas normas nacionais de proteção radiológica da CNEN, quando não utilizadas as vestimentas de proteção. Neste caso, foi estimado para região do tórax uma dose 2 vezes maior do que o limite estabelecido, ressaltando novamente a extrema importância das vestimentas de proteção plumbífera para a redução dos valores de dose.

Considerando que os valores de dose estimados para IOE podem estar acima dos limites dados pela CNEN (dada carga de trabalho e possibilidade de exames de animais de grande porte) e os valores estimados para os acompanhantes (ou proprietários do animal) neste trabalho, sugere-se que, sempre que possível, seja orientado ao acompanhante como imobilizar o animal de forma correta para que este o faça durante o exame. Isso porque, conforme mostrado neste estudo, é improvável que o valor de 5 mSv seja ultrapassado durante um exame diagnóstico.

REFERÊNCIAS

- ANVISA. RESOLUÇÃO - RDC N° 330, DE 20 DE DEZEMBRO DE 2019. Disponível em <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-rdc-n-330-de-20-de-dezembro-de-2019-235414748?inheritRedirect=true> Acesso em 21 de agosto de 2020.
- BARROS, F. S.; ROSA, P. C. Efeitos biológicos e proteção radiológica em radiologia veterinária. In: XI Simpósio de Engenharia Biomédica - SEB ,2018,Uberlândia. Disponível em: <https://even3.blob.core.windows.net/anais/128299.pdf> > Acesso em 18 de junho de 2019.
- CDK. Equipamentos de Raios-X. Disponível em: < <http://www.cdk.com.br/produtos/veterinario/spl-hf-vet> > Acesso em 18 de junho de 2019.
- CNEN. Norma CNEN NN 3.01 – Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. [S.I.]. 2014.
- DRUMOND, Gisele Russo Canato. Avaliação de Exposição Ocupacional em Radiologia Digital Veterinária Portátil. Dissertação (mestrado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- DRUMOND, Luiz Fernando. Avaliação do kerma no ar na entrada da pele e da qualidade da imagem em radiografias de tórax de pequenos animais com sistemas de imagens convencional e digital. Dissertação (mestrado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. População de animais de estimação no Brasil. 2013. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/saude/9160-pesquisa-nacional-de-saude.html?=&t=o-que-e> Acesso em 26 de fevereiro de 2018.
- IRD. Instituto de Radioproteção e Dosimetria. Laboratórios certificados para prestação de serviço de monitoração individual externa. Disponível em: <http://www.ird.gov.br/index.php/casec/send/9-casec/113-casec-laboratorios-dosimetria-certificados-julho-2018>. Acesso em 02 de setembro de 2020.
- ISO. International Organization for Standardization. ISO 4037-3 - X and Gamma Reference Radiation for Calibrating Dosimeters and Doserate Meters and for Determining Their Response as a Function of Photon Energy - Part 3: Calibration of Area and Personal Dosimeters,1999.
- MALTHEZ, Anna Luiza Metidieri Cruz. Desenvolvimento e caracterização de dosímetros para monitoração individual de trabalhadores ocupacionalmente expostos à radiação combinando as técnicas de termoluminescência (TL) e luminescência opticamente estimulada (OSL). Campinas, SP:[s.n.], 2015.
- NASCIMENTO C. D. Desenvolvimento de um kit postal para verificação de parâmetros da qualidade em Raios X convencional. 2010. 75 f. Dissertação (Mestrado em Física) Departamento de Física. Universidade Federal de Sergipe.Sergipe, 2010.
- NOBREGA, Almir Inácio. Tecnologia radiológica e diagnóstico por imagem. 4 vol. São Paulo: Editora Difusão, cap.4, p.132-133,2006.
- SCHNELLE, Gerry B. The History of Veterinary Radiology. The First International Conference of Veterinary Radiologists. Irlanda: 1968.

ROSA, Paola da Costa. Aspectos de Radioproteção em Radiologia veterinária na Cidade de Curitiba-Paraná. Dissertação – Programa de Pós Graduação em Engenharia Biomédica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

TAUHATA, L.; SALATI, I.; PRINZIO, R.; PRINZIO, A. Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos. 9a. ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 2013. Instituto de Radioproteção e Dosimetria. Comissão Nacional de Energia Nuclear.

TEIXEIRA, Luiz Antônio Bittencourt. A Medicina Veterinária e o uso do Raio X. 2007 Disponível em: <http://www.crmvpr.org.br/?p=imprensa/artigo_detalhes&id=48> Acesso em 7 de outubro 2017.

TICER, JAMES W. Técnicas Radiológicas na Prática Veterinária. 2 ed. Rio de Janeiro: Roca; 1987.

YUKIHARA, Eduardo. Luminescence Properties of BeO optically stimulated luminescence (OSL) detectors. Radiation Measurements, 46, 2011. 580-587.

YUKIHARA, E.; MCKEEVER, S. Optically Stimulated Luminescence: Fundamentals and Applications. 1a. ed. [S.l.]: John Wiley & Sons Ltd, 2011.