

PROCEDIMENTOS DE DOSIMETRIA PARA FEIXES DE FÓTONS DE ALTA ENERGIA PARA ELABORAÇÃO DE PLANO DE RADIOPROTEÇÃO APLICADO À RADIOTERAPIA VETERINÁRIA

DOSIMETRY PROCEDURES FOR HIGH ENERGY PHOTON BEAMS FOR THE PREPARATION OF RADIOPROTECTION PLAN

Gizele Cristina Ferreira¹

Michel de Campos Vettorato²

Marco Antônio Rodrigues Fernandes³

RESUMO

O trabalho apresenta os procedimentos de dosimetria para verificação da distribuição de dose de radiação em feixes de alta energia em acelerador linear, visando à elaboração de um Plano de Radioproteção com adequações para aplicação em radioterapia veterinária com feixes de fótons de megavoltagem. São apresentados os ensaios radiométricos realizados no acelerador linear instalado no Setor Técnico de Radioterapia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Botucatu. Os testes dosimétricos de planura, simetria e de determinação da dose absoluta dos feixes de radiação mostraram-se exequíveis para a rotina da radioterapia veterinária. Os resultados apresentados dos parâmetros radiométricos medidos estão em conformidade com os protocolos de dosimetria nacionais e internacionais. As especificidades quanto à prática do uso de fontes de radiações ionizantes em Medicina Veterinária exigem adequações no PR quanto à dose de radiação por fração e ao uso de acessórios de imobilização ajustados para os animais irradiados.

Palavras-chaves: Dose de radiação, Dosimetria, Medicina veterinária, Plano de radioproteção, radioterapia.

ABSTRACT

The work presents the dosimetry procedures for verifying the radiation dose distribution in high energy beams in a linear accelerator, aiming at the elaboration of a Radiation Protection Plan with adaptations for application in veterinary radiotherapy with megavoltage photons beams. The radiometric tests performed on the linear accelerator installed in the Technical Section of Radiotherapy of the Botucatu Medical School Clinic Hospital are presented. The dosimetric tests of flatness, symmetry and determination of the absolute dose of the radiation beams proved feasible for the routine of veterinary radiotherapy. The results of the measured radiometric parameters are in accordance with national and international dosimetry protocols. The specificities regarding the practice of the use of sources of ionizing radiation in veterinary medicine require adjustments in the Radiation Protection Plan for the radiation dose per fraction and the use of the immobilization accessories adjusted for the irradiated animals

Key words: Radiation dose, Dosimetry, Veterinary medicine, Radioprotection plan, Radiotherapy.

¹Discente do Programa de Pós-Graduação em Animais Selvagens (Mestrado) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Campus de Botucatu (FMVZ/UNESP)

²Discente do Programa de Pós-Graduação em Animais Selvagens (Doutorado) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Campus de Botucatu (FMVZ/UNESP),

³Docente do Departamento de Dermatologia e Radioterapia - Faculdade de Medicina de Botucatu (FMB) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" UNESP de Botucatu. Rua São Marcos, 116 – Jardim Sumaré – Araçatuba – SP. E-mail: marco@cetea.com.br

1 INTRODUÇÃO

A radioterapia é a modalidade médica que utiliza fontes de radiações ionizantes no tratamento de doenças. Das especialidades médicas, é a que tem apresentado significativo aumento de suas aplicações (SALVAJOLI, SOUAHAMI, FARIA, 2013; CUNHA et al., 2014). O princípio da terapêutica baseia-se na destruição de células tumorais através do bombardeio delas com feixes de radiações eletromagnéticas ou corpusculares. (HALPERIN et al., 2013; CUNHA, 2013).

O desenvolvimento tecnológico e os avanços no campo da Ciência da Computação trouxeram sistemas de *softwares* e *hardwares* dedicados, que, aliados aos modernos equipamentos de radioterapia, têm proporcionado melhor distribuição da dose de radiação e maior precisão do alvo (IAEA, 2004). Técnicas sofisticadas de radioterapia, além de propiciar melhor conforto ao paciente, podem ainda possibilitar o aumento da dose de radiação absorvida no volume tumoral com menos efeitos radiobiológicos colaterais nos tecidos e órgãos sadios periféricos ao campo de tratamento, o que favorece a taxa de curabilidade e controle da doença (GUIMARÃES, et al, 2013).

As primeiras recomendações de proteção radiológica para os trabalhadores foram publicadas pela *Roentgen Society* após a confirmação do dano no tecido humano que as altas doses de radiação causaram vinte anos após a descoberta dos raios X (XAVIER, 2006). O uso indiscriminado das radiações ionizantes, associado à falta de conhecimento sobre os efeitos biológicos radioinduzidos, levou à criação de normas que visam à proteção do ser humano e do meio ambiente) (PIRES; GELBCKE; MATOS, 2004)

Para se garantir o sucesso da radioterapia, é necessária a realização de ensaios radiométricos periódicos, os quais devem seguir os protocolos nacionais e internacionais de dosimetria das radiações (IAEA,2000; INCA, 2000; IAEA, 2007; BRASIL, 1998).

A radiometria compreende métodos de medidas da intensidade e avaliação da qualidade dos campos de radiações ionizantes (EWALD, 2008). A legislação preconiza que os testes radiométricos sejam realizados por profissionais capacitados com formação específica, além de se exigir instrumentos de detecção de radiação calibrados periodicamente em laboratório credenciado pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN, 2012; CNEN, 2014).

O Plano de Proteção Radiológica (PR) é um documento exigido pela Portaria da Secretaria de Vigilância Sanitária nº 453 de 1º de junho de 1998 que deverá ser entregue a este órgão ao solicitar o alvará de funcionamento inicial do serviço. Deverá conter não só a descrição do estabelecimento e de suas instalações, mas também o Programa de Garantia de Qualidade,

que descreve como deve ser o controle de qualidade dos equipamentos e o PR, este possui informações para o trabalho seguro com radiações ionizantes (CNEN, 2014).

A autorização de funcionamento de um serviço de radioterapia requer, dentre vários requisitos, a aprovação pelos órgãos competentes, do PR da clínica radioterápica (CNEN, 1988). O PR deve conter as informações sobre os equipamentos utilizados, a identificação da equipe de profissionais, as características físicas e funcionais das dependências, além de apresentar os resultados dos testes de radiometria e controle de qualidade dos feixes e equipamentos emissores de radiações ionizantes empregados no serviço (CNEN, 2011).

Pesquisas com fontes radioativas na área da Medicina Veterinária têm proporcionado a inserção de novas técnicas de diagnóstico e terapia idealizadas para as diversas espécies animais (STOSKOPF, 2012). Nesta linha de pensamento, a radioterapia veterinária vem ganhando espaço junto ao meio acadêmico e científico e despertado o interesse de profissionais para o investimento neste segmento terapêutico (BURK, KING, 1997; FERNANDES, et.al. 2003; MORRIS, 2007; DALECK, 2008; FERNANDES et al, 2010; MORETTO, 2013; MUHLBAUER, 2013; ANDRADE, FERNANDES, 2014; VETTORATO, 2016; VETTORATO et al., 2017; SILVA, 2018).

Nesse sentido, torna-se imperativa a realização de estudos radiométricos dos feixes de radiação para uso dedicado à radioterapia veterinária conjuntamente com a elaboração de PR específico para a correta implantação na rotina destes procedimentos terapêuticos. Essa iniciativa visa não apenas satisfazer as prerrogativas dos órgãos fiscalizadores, mas sim garantir as condições de trabalho seguro e eficácia terapêutica.

Nas técnicas de teleterapia, novos aceleradores lineares com complexos recursos liberam elevadas doses de radiação no volume alvo com maior proteção às células sadias dos tecidos circunvizinhos, diminuindo sensivelmente os efeitos deletérios. Na braquiterapia, o uso de microfones de alta taxa de dose acionadas por controle remoto, tem proporcionado maior comodidade aos pacientes, mais agilidade nos procedimentos que passaram a ser realizados de forma ambulatorial, aumentando a oferta do tratamento a um número maior de pacientes. Todos esses avanços, visando à melhoria e garantia da qualidade dos tratamentos também propiciaram a utilização das fontes de radiação com maior segurança radiológica (PODGORSK, 2005).

Este trabalho teve como objetivo analisar o perfil de distribuição de dose de radiação fornecido por fótons de alta energia utilizados em radioterapia humana e que apresentam indicação para a oncologia veterinária, visando assim subsidiar os protocolos radioterápicos dedicados à medicina animal.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos de dosimetria foram realizados nos feixes de fótons de megavoltagem do acelerador linear da marca Varian, modelo 2100C instalado no Setor Técnico de Radioterapia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da UNESP de Botucatu (HC-FMB). Foram realizados ensaios radiométricos de planura e simetria e medidas da dose absoluta dos feixes de teleterapia.

Para a elaboração do PR aplicado à veterinária, foram estudados os PR de dois diferentes Serviços de Radioterapia consolidados na prática da radioterapia humana.

Os tempos de tratamento e a dose por fração foram adequados para as especificidades da rotina oncológica veterinária, uma vez que os pacientes animais requerem cuidados de imobilização, tais como procedimentos anestésicos durante cada sessão de radioterapia, o que implica em maior tempo para a realização da radioterapia e menor número de frações.

Para a realização dos ensaios de planura e simetria, foi utilizado o sistema de dosimetria QC6Plus do fabricante PTW. O equipamento é composto por dosímetro de seis canais, seis câmaras de ionização individuais com $0,54\text{cm}^3$ de volume sensível, envoltas por material PMMA (polimetil-metacrilato – material termoplástico rígido), grade de calibração, cabo de conexão de 20 metros, software QCWin e placas de atenuação da radiação com dimensões de $25,0 \times 25,0$ cm e espessura de 1,0 mm.

Os ensaios dosimétricos foram realizados com um eletrômetro modelo CDX-2000B da fabricante *Standard Imaging* (série: JO10553). Para a dosimetria com feixe de fótons de 6 MV e 10 MV, foi utilizada uma câmara de ionização cilíndrica do tipo dedal, modelo A12 da fabricante Exradin (série: XAO10867). Para análises dos feixes de elétrons, foi utilizada uma câmara de ionização do tipo de placas paralelas, modelo P11 da fabricante Exradin (série: XBO10816). As leituras do eletrômetro foram realizadas na unidade nC (nanocoulomb).

Os experimentos foram repetidos por seis vezes, em diferentes dias e períodos de medidas, visando analisar a reprodutibilidade das características dos feixes de radiação estudados e a estabilidade do sistema de medição.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os valores da planura e simetria medidos para os feixes de radiação analisados.

Tabela 1 – Média dos valores obtidas da planura e simetria nos seis experimentos realizados.

Feixe	RX	RX	Elétrons	Elétrons	Elétrons	Elétrons	Elétrons
Energia	6,0 MV	10,0 MV	4,0 MeV	6,0 MeV	9,0 MeV	12,0 MeV	15,0 MeV
Dose	mGy	mGy	mGy	mGy	mGy	mGy	mGy
Ponto							
Acima	946,43	942,97	756,93	800,80	813,48	826,43	852,37
Centro	928,20	928,47	827,40	820,30	829,02	850,73	875,37
Abaixo	938,67	931,88	747,63	794,97	812,53	831,20	854,68
Esquerda	956,13	950,93	749,35	804,61	821,70	835,38	867,30
Direita	941,58	941,13	756,23	803,20	822,90	841,77	867,58
Planura In	0,97%	0,79%	5,06%	1,56%	1,04%	1,45%	1,52%
Plan Cross	1,48%	1,19%	4,93%	1,18%	0,49%	0,75%	0,73%
Simetria In	-0,66%	-0,86%	-0,62%	-0,31%	0,14%	0,56%	0,31%
Sim Cross	1,57%	1,05%	-0,44%	0,17%	0,26%	-0,41%	-0,03%

RX = raios X

Plan cross = planura cross

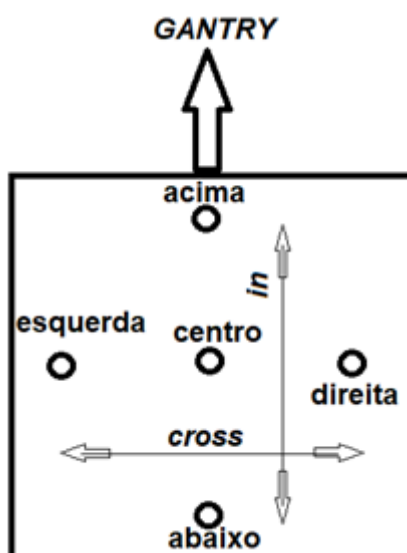
Sim cross = simetria cross

Fonte: Próprio Autor, 2019

Os pontos de medidas referem-se às posições das cinco câmaras de ionização na matriz do detector PTW QC6Plus, distribuídas a partir do seu centro, sendo uma central e outras quatro lateralmente posicionadas.

A Figura 1 ilustra esquematicamente a distribuição das câmaras de ionização no detector e os sentidos dos planos longitudinais (*in*) e transversais (*cross*) do campo de radiação.

Figura 1 – Distribuição das câmaras de ionização na matriz do detector



A Tabela 2 apresenta os valores do desvio padrão das medidas da planura e simetria apresentados na Tabela 1.

Tabela 2 – Valores dos desvios padrão das medidas da planura e simetria.

Feixe	RX	RX	Elétrons	Elétrons	Elétrons	Elétrons	Elétrons
Energia	6,0 MV	10,0 MV	4,0 MeV	6,0 MeV	9,0 MeV	12,0 MeV	15,0 MeV
Dose	mGy	mGy	mGy	mGy	mGy	mGy	mGy
Ponto							
Acima	5,93	7,99	6,16	7,83	7,08	6,90	6,98
Centro	6,06	5,65	5,71	8,58	5,87	7,12	5,37
Abaixo	6,76	6,75	5,54	7,81	4,62	6,53	5,05
Esquerda	5,15	5,72	7,18	11,15	6,16	6,60	7,21
Direita	6,32	6,63	7,09	9,06	5,39	7,09	5,44
Planura In	0,08%	0,18%	0,23%	0,26%	0,17%	0,21%	0,19%
Plan Cross	0,10%	0,14%	0,54%	0,48%	0,21%	0,27%	0,18%
Simetria In	0,60%	0,89%	1,10%	0,93%	0,31%	0,35%	0,26%
Sim Cross	0,27%	0,58%	1,32%	0,82%	0,55%	0,67%	0,47%

RX = raios X

Plan cross = planura cross

Sim cross = simetria cross

Fonte: Próprio Autor, 2019

Os valores de referência para a planura e a simetria são 3,0% e 2,0% para feixes de fótons, respectivamente. Para feixes de elétrons as referências são 7,0% e 3,0%. Considerando apenas os valores médios apresentados na Tabela 1, os resultados mostram que os parâmetros radiométricos analisados ficaram dentro da tolerância permitida. Todavia, pode-se verificar que o feixe de elétrons de 4,0 MeV apresenta valores de planura do campo de radiação próximos da tolerância permitida, indicando que o uso desta energia de elétrons exige maior cautela para se garantir a uniformidade da distribuição de dose no plano do campo de radiação.

Analisando os valores dos desvios padrão apresentados na Tabela 2, nota-se que os feixes de fótons apresentam boa estabilidade, com variações nas leituras pontuais menores do que 1,0% para as medidas realizadas nos seis diferentes experimentos.

A Tabela 3 apresenta os valores de doses de radiação medidas para os feixes de radiação analisados, bem como os parâmetros radiométricos usados nos experimentos de dosimetria.

Tabela 3 – Valores de doses de radiação medidas.

Feixe	RX	RX	Elétrons	Elétrons	Elétrons	Elétrons	Elétrons
Energia	6,0 MV	10,0 MV	4,0 MeV	6,0 MeV	9,0 MeV	12,0 MeV	15,0 MeV
TPR _{20,10}	0,670	0,739					
R _{50-água} (cm)			1,242	2,327	3,655	5,034	6,371
Z _{ref} (cm)	10,0	10,0	0,60	1,30	2,10	2,90	3,70
Dose	mGy	mGy	mGy	mGy	mGy	mGy	mGy
Medida	995,6	998,4	1000,7	992,7	996,50	994,0	1000,4
Esperada	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0
Diferença	0,4%	0,2 %	0,7 %	0,7 %	0,4 %	0,6 %	0,4 %

TPR_{20,10} = razão tecido-*fantom*

R_{50-água} = profundidade do *fantom* na água com metade da dose de radiação

Z_{ref} = profundidade de referência

Fonte: Próprio Autor, 2019

O parâmetro TPR_{20,10} (razão tecido-*fantom*) é determinado para feixes de fótons, representa a qualidade de penetração do feixe de radiação e é obtido durante os testes de comissionamento na instalação do acelerador linear. Ele é calculado pela razão das leituras da câmara de ionização na profundidade de 20,0 cm na água pela leitura na profundidade de 10,0 cm.

Para os feixes de elétrons, o parâmetro que caracteriza as condições de penetração da radiação é o R_{50-água}, representa a profundidade na água do *fantom* onde a dose de radiação é metade (50%) do valor da dose na profundidade de dose máxima. O parâmetro Z_{ref} (profundidade de referência) representa a profundidade na qual deve ser colocada a câmara de ionização de placas paralelas para a realização das medidas da dose dos feixes de elétrons.

A diferença máxima entre os valores de dose de radiação esperada e a medida, tolerável pelos protocolos de dosimetria, é de 2,0%, portanto, nos experimentos realizados neste trabalho, todos os feixes de radiação analisados comportaram-se em conformidade com as recomendações nacionais e internacionais (PODGORSAK, 2005), (IAEA, 2000).

As características radiométricas dos feixes de teleterapia analisados e usados na rotina clínica de humanos, indicam o uso deles para a radioterapia veterinária, uma vez que os parâmetros de penetrabilidade da radiação (TPR_{20,10} e R₅₀) possuem dimensões que se adequam às espessuras e condições das regiões anatômicas mais acometidas por neoplasias em animais, uma vez que, tumores de pele, tecidos moles, pelve e tórax, são frequentemente submetidos a radioterapia na rotina clínica veterinária pelo mundo e respondem positivamente na maioria dos

casos (FARRELY, MCENTEEM, 2014; ANDRADE; FERNANDES, 2014; VETTORATO et al., 2019).

A aplicação de feixes de radiações ionizantes requer o uso de equipamentos e dispositivos de alta complexidade que devem ser periodicamente avaliados quanto à sua qualidade e eficácia através de testes radiométricos feitos por profissional capacitado com conhecimentos específicos sobre as propriedades e características dos respectivos feixes de radiações (PODGORSAK, 2005). Os resultados apresentados na atual pesquisa, contribuem para a otimização das etapas do processo de comissionamento de uma clínica de radioterapia veterinária, o que envolve procedimentos específicos exigidos pela CNEN, tais como: a) obtenção de autorização para construção das edificações da sala do equipamento de teleterapia, b) autorização para importação do equipamento ou fonte emissores de radiações ionizantes e c) autorização para operação do serviço de radioterapia, a qual demanda a elaboração do PR e a realização de testes de radiometria dos feixes de radiação a serem instalados.

4 CONCLUSÕES

Os ensaios de planura, simetria e de determinação da dose absoluta dos feixes de radiação mostraram-se exequíveis para a rotina da radioterapia veterinária.

Os resultados apresentados das análises dos parâmetros radiométricos dos feixes de radiação estudados mostraram que os valores de dose de radiação medidos estão em conformidade com os esperados e de acordo com os dados obtidos no comissionamento do acelerador linear.

As características radiométricas dos feixes de teleterapia utilizados na rotina clínica de humanos se adequam ao uso em animais, e auxilia na otimização das etapas do processo de comissionamento de uma clínica de radioterapia veterinária exigidos pela CNEN.

Este trabalho detalha os procedimentos dosimétricos que necessitam ser realizados com maior periodicidade em serviços que utilizam equipamentos de teleterapia, podendo assim, auxiliar os profissionais da área da medicina veterinária, e subsidiar os profissionais e autoridades sanitárias envolvidas nas práticas da radioterapia veterinária quanto aos preceitos do uso seguro das fontes radioativas e feixes de teleterapia.

REFERÊNCIAS

ANDRADE A. L.; FERNANDES M. A. R. **Braquiterapia em Medicina Veterinária**. In: JERICÓ M. M; NETO A. J. P; KOGIKA M. M. Tratado de Medicina Interna de Cães e Gatos. v. 2. São Paulo: Roca, 2014; p. 560- 583.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Portaria 453, de 01 de junho de 1998**. Diretrizes básicas de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico. Brasília, 1998. Disponível em http://sna.saude.gov.br/legisla/legisla/radio/SVS_P453_98radio.doc. Acesso em 20 nov. 2018.

BURK R. L.; KING G. K. **The Veterinay Clinics of North America – Small Animal Practice – Radiation Oncology**. Philadelphia-USA: W.B. Saunders Company,1997; 171p.

CNEN – COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos**. 9ª revisão. Rio de Janeiro – IRD/CNEN. 242p. 2013. Disponível em <www.cnen.gov.br>: Acesso em 22 nov. 2018.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. (2005). Norma-CNEN-NN-3.01:2011. **Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica**. Resolução nº. 27 D.O.U. 06/01/2005; 114/2011 01/09/2011. Rio de Janeiro. Disponível em <www.cnen.gov.br>: Acesso em 25 nov. 2018.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Norma CNEN NE 3.02. **Serviços de Radioproteção**, Rio de Janeiro. www.cnen.gov.br. 1988. Disponível em <www.cnen.gov.br> Acesso em 26 nov. 2018.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Norma CNEN NN 6.10. **Requisitos de Segurança e Radioproteção para Serviços de Radioterapia**, Rio de Janeiro. www.cnen.gov.br. 2014. Disponível em <www.cnen.gov.br> Acesso em 26 nov. 2018.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Resolução nº. 130 de 31/05/2012 - D.O.U. 04/06/2012. **Dispõe sobre os requisitos necessários para a segurança e a proteção radiológica em Serviços de Radioterapia**. Rio de Janeiro. Disponível em <www.cnen.gov.br> Acesso em 28 nov. 2018.

CUNHA, S. C. S. Radioterapia: As radiações do bem. **Revista Pulo do Gato**, Campinas, 2013. Disponível em: <<http://www.revistapulodogato.com.br/materias/lermateria/70/radioterapia-as-radiacoes-do-bem>> Acesso em: 22 dez. 2019.

CUNHA, S. C. S.; CARVALHO, L. A. V.; CORGOZINHO, K. B.; HOLGUIN, P. G.; FERREIRA, A. M. R. A utilização da radioterapia no tratamento do carcinoma de células escamosas cutâneo felino avançado. **Arquivo Brasileiro Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 66, n. 1, p. 7-14, 2014. Disponível em <<https://www.ingentaconnect.com/content/doi/01020935/2014/00000066/00000001/art00002>> Acesso em: 19 de nov. 2019.

DALECK, C. R.; NARDI, A. B.; RODASKI, S. **Oncologia em Cães e Gatos**. São Paulo, 1 edição. Editora Roca, 2008. 612p.

FARRELLY, J.; MCENTEEM.C. A survey of veterinary radiation facilities in 2010. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, v.55, n.6, p.638-643, 2014. Disponível em <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/vru.12161>> Acesso em: 3 de set. 2019.

FERNANDES; M. A. R.; ANDRADE, A. L.; BIAZZONO, L.; LUVIZOTTO, M. C. R.; SANTOS, A.; CORREA, C. Gold (^{198}Au) fiuks brachytherapy use on canine skin tumor. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 40, n. 5, p. 321-327, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S141395962003000500002&script=sci_arttext> Acesso em: 10 de out. 2017.

FERNANDES, M. A. R.; ANDRADE, A. L.; LUVIZOTO, M. C. R.; PIERÔ, J. R.; CIARLINI, L. D. R. P. Radioterapia em Medicina Veterinária Princípios e Perspectivas. **Revista Brasileira de Física Médica**, v. 4, n. 2, p. 11-14, 2010. Disponível em: <http://www.abfm.org.br/rbfm/publicado/RBFM_v4n2_p11-4.pdf> Acesso em: 10 de out. 2017.

FERNANDES, M.A.R. **Metodologia para Determinação da Carga de Trabalho Efetiva em Equipamentos de Teleterapia. Proposta para Otimização das Blindagens da Sala de Radioterapia Veterinária**. Tese (Livre Docência). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP. Faculdade de Medicina de Botucatu. Botucatu. 2018.

GUIMARÃES, L. F. C.; SILVA, M. C.; SILVEIRA, P. J.; FLOSI, A. A.; BOCCALETTI, K. W. Avaliação de planejamentos de IMRT para tratamento de próstata utilizando energias de 6 MV e 15 MV. **Revista Brasileira de Física Médica**, v. 7, n. 2, p. 53-56, 2013. Disponível em <http://www.rbfm.org.br/rbfm/article/view/238>. Acesso em 28 nov. 2018.

IAEA, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Technical Report Series n. 430: **Commissioning and quality assurance of computerized planning system for radiation treatment of cancer**. Vienna, Austria, 2004. Disponível em https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TRS430_web.pdf. Acesso em 29 nov. 2018.

IAEA. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Practice**. Technical Reports Series n° 457. Vienna, Austria, 2007. Disponível em <https://www.iaea.org/publications/7638/dosimetry-in-diagnostic-radiology-an-international-code-of-practice> Acesso em: 29 nov. 2018.

IAEA. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy**. Technical Reports Series N°. 398. Vienna, Austria, 2000. Disponível em https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TRS398_scr.pdf Acesso em 01 dez. 2018.

IAEA. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Manual de dosimetria em radioterapia**. Technical Reports Series N°. 110). Vienna, Austria, 1971. Disponível em http://new.paho.org/hq/dmdocuments/2010/ManualDosRadiotherapy_1970.pdf. Acesso em 04 dez. 2018.

INCA – INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER – MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Programa de Qualidade em Radioterapia. TEC DOC 1151. Aspectos Físicos da Garantia da Qualidade em Radioterapia – Protocolo de Controle de Qualidade**. Rio de Janeiro. 2000.

Disponível em: www.inca.gov.br. Acesso em 25 de junho 2018.

HALPERIN, E. C.; WAZER, D. E.; PEREZ, C. A.; BRADY, L. W. **Perez and Brady's Principles and Practice of Radiation Oncology**. 6ª Ed. Lippincott Williams & Wilkins: 2013. 1936p.

MORETTO, A.J.G, CORRÊA F.G. Radioterapia para carcinomas em animais domésticos. Garça. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária** 2013; 20. Disponível em: <http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/mcMIQhIjR6u eiY8_2013-6-21-15-37-39.pdf> Acesso em 12 de abril 2018.

MUHLBAUER, M. C.; KNELLER, S. K. **Radiography of the Dog and Cat. Guide to Making and Interpreting Radiographs**. John Wiley & Sons., Inc. Publication, 2013.

MORRIS, J; DOBSON, J. **Oncologia em pequenos animais**. São Paulo. Editora ROCA. 2007. 300p.

PIRES, D.; GELBCKE, F.L.; MATOS, E. "**Organização do trabalho em enfermagem: implicações no fazer e viver dos trabalhadores de nível médio**". Trabalho, Educação e Saúde, São Paulo, v. 2 n. 2, p. 311-325, 2004. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/tes/v2n2/06.pdf> Acesso em 08 dez. 2018.

PODGORSKAK, E.B. Technical Editor. **Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students**. Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA). Vienna. Austria, 2005.

SALVAJOLI, J. V.; SOUAHAMI, L.; FARIA, S. L. **Radioterapia em Oncologia**. MEDSI Editora Atheneu. Rio de Janeiro-RJ. 2013.

SILVA, D.A. **Planejamento Computacional Tri-Dimensional para Radioterapia em Região Pélvica de Animais Selvagens**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. Botucatu – SP. 2018.

STOSKOPF, M.K, BROWN, J, DEVOE, R. Imaging in Zoological Medicine Practice. **Journal of radiology nursing**, v. 31, n. 3, p. 81-90, 2012. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1546084311001726>. Acesso em 09 dez. 2018.

VETTORATO, M.C. **Desenvolvimento de Metodologia para Aplicação de Técnicas de Radioterapia em Medicina Veterinária**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. Botucatu – SP. 2016.

VETTORATO, M. C. et al. Implementation of immobilization accessories for positioning of small animals for radiation therapy. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 69, n. 6, p. 1419-1425, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010209352017000601419&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 31 de mar. 2019.

VETTORATO, M. C.; FOGAÇA, J. L.; FERNANDES, M. A. R. Radioterapia aplicada em tumores de pele e tecidos moles em pequenos animais. **Tekhne e Logos**, v. 10, n. 1, p. 105-119, 2019.

XAVIER, A. M. **Princípios Básicos de Segurança e Proteção Radiológica**. Terceira Edição. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio dos físicos médicos do HC-FMB pela viabilidade da execução dos ensaios radiométricos dos feixes de radiação do acelerador linear.