

## PRINCIPAIS AVANÇOS E APLICAÇÕES DA RADIOTERAPIA NA MEDICINA VETERINÁRIA

### MAIN ADVANCES AND RADIOTHERAPY APPLICATIONS IN VETERINARY MEDICINE

Michel Campos Vettorato<sup>1</sup>  
Marco Antonio Rodrigues Fernandes<sup>2</sup>

Jéssica Leite Fogaça<sup>1</sup>  
Luiz Carlos Vulcano<sup>3</sup>

#### RESUMO

A radioterapia é a modalidade médica que utiliza de fontes de radiações ionizantes para o tratamento de diversas doenças e já é um procedimento médico muito bem estabelecido na medicina humana. No entanto, no Brasil, o uso desta técnica na medicina veterinária ainda é raro, com apenas estudos em nível de pesquisa científica e poucos grupos de especialistas dedicados a esse tipo de trabalho. Centros de radioterapia veterinária já existem em outros países como Estados Unidos, França, Canadá, Inglaterra, e até mesmo na Argentina, e os resultados apresentados nestas clínicas são bastante incentivadores e promissores. Devido a isso, este trabalho procurou descrever os principais avanços e aplicações da radioterapia dentro da medicina veterinária por meio da literatura. Após as descrições, foi possível identificar que, embora a prática da radioterapia veterinária ainda não seja realizada no Brasil, as pesquisas envolvendo essa modalidade terapêutica em animais estão crescendo lentamente em território nacional e que, a partir do ano de 2000, houve um grande aumento nos números de instalações e de equipamentos do tipo AL nos serviços de atendimento de pequenos e grandes animais nos Estados Unidos, além da existência de uma ampla variedade nos protocolos de doses utilizadas nessas instituições.

**Palavras-chave:** Radioterapia. Medicina Veterinária. Principais Avanços.

---

<sup>1</sup> Pós-graduando em Biotecnologia Animal pela Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (Campus de Botucatu) (FMVZ) Universidade Estadual Paulista, Júlio de Mesquita Filho - Rua Prof. Dr. Walter Mauricio Correra, s/n - Rubião Junior, Botucatu - SP, 18618-970. e-mail: [vettorato@hotmail.com](mailto:vettorato@hotmail.com)

<sup>2</sup> Docente da Universidade Estadual Paulista – Júlio de Mesquita Filho – Faculdade de Medicina de Botucatu/ Instituto de Biociência (FMB/IBB)

<sup>3</sup> Docente da Universidade Estadual Paulista – Júlio de Mesquita Filho - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (Campus de Botucatu) (FMVZ)

### ABSTRACT

Radiotherapy is the medical modality that uses ionizing radiation sources for several disease treatments and has already been well established in human medical procedures. However, in Brazil, the use of this technique in veterinary medicine is still scarce, counting with scientific research studies and few groups of specialists dedicated to this type of work. There are veterinary radiotherapy centers already other countries like USA, France, Canada, England, and even in Argentina and results presented in these clinics are quite encouraging and promising. This paper aims, through literature review, to describe the major advances and applications of radiation therapy in veterinary medicine. After descriptions, it was observed that although the practice of veterinary radiotherapy is not yet held in Brazil, researches involving this therapeutic modality in animals are slowly growing in the country. It was also observed that from the beginning of 2000 there has been a large increase in number of facilities and linear accelerator type equipment in the care of small services and large animals in the United States besides a wide variety in doses protocols used in these institutions.

**Key words:** Radiotherapy. Veterinary Medicine. Major Advances

## 1. INTRODUÇÃO

A radioterapia é uma prática médica considerada eficaz para tratamento do câncer em animais e seres humanos. O princípio básico da radioterapia é o efeito da radiação ionizante sobre as células neoplásicas, levando-as à morte ou evitando a sua multiplicação. A radioterapia divide-se em duas modalidades denominadas de teleterapia, pela qual a radiação é administrada através de um feixe externo, e a braquiterapia, em que uma fonte radioativa é implantada dentro ou próxima ao tumor (CUNHA et al., 2014). O uso da radioterapia tem sido relativamente raro, quando comparada com a cirurgia e a quimioterapia, porém o uso limitado da radioterapia tem origem maior devido à falta de financiamentos do que a falta de indicação médica (MCNIEL, 2009).

Cada modalidade possui sua vantagem e desvantagem, por exemplo, a teleterapia é relativamente segura para o operador, entretanto o equipamento é caro e são necessárias múltiplas doses de radiação para um determinado período. A braquiterapia oferece melhor localização da radiação e permite liberar altas doses no tumor, protegendo os tecidos circunvizinhos normais, porém o implante no paciente pode ser considerado perigoso ao operador e a qualquer outra pessoa que trabalha ou tenha contato próximo com o paciente (MORRIS; DOBSON, 2007).

A radioterapia possui como finalidade destruir as células neoplásicas ou diminuir a sua multiplicação, melhorando, assim, a qualidade de vida do animal, permitindo diminuir a dor, sangramento e pressão de órgãos circunvizinhos. A radioterapia pode ser administrada através de frações ao longo de 2 a 5 semanas, o que dependerá essencialmente do tamanho, tipo e localização do tumor. É importante que, antes de submeter o paciente à radioterapia, seja realizado um breve exame clínico visando o estado físico do paciente. Caso a radioterapia seja utilizada para fins paliativos, o procedimento requer grandes frações, distribuídas uma vez por semana durante três semanas (NORTH; BANKS, 2009, FOSTER; SMITH, 2015).

A radioterapia curativa é recomendada em várias situações, entre elas, utiliza-se essa modalidade para esterilizar as margens do campo de um sarcoma ou carcinoma no pós-operatório, é usado como principal tratamento para tumores nasais e faciais e como tratamento primário para alguns tumores cerebrais. Atua no controle local dos tumores orais, é usada também no tratamento pré-operatório de sarcoma de tecidos moles para diminuir o tamanho e a viabilidade da massa, e também como terapia intraoperatória para esterilizar tumores abertos ou intracavitários, além de como parte do protocolo de indução para o linfoma de mediastino e

em alguns protocolos de indução de linfoma (VILLALOBOS; KAPLAN, 2007, WITHROW; VAIL; PAGE, 2013).

A radioterapia paliativa é recomendada para reduzir a dor do câncer e crescimento do tumor como o osteossarcoma. Para diminuir o sangramento nasal e facial, para encolher massas orais e faríngeas, para tratar tumores cerebrais inoperáveis, para encolher massas do mediastino e nódulos linfáticos grandes no linfoma resistente e para reduzir o tamanho de grandes lesões primárias ou metastáticas (VILLALOBOS; KAPLAN, 2007).

Dos tumores tratados, geralmente os orais e os tumores dentro da cavidade nasal muitas vezes respondem bem à radioterapia. Já os tumores cerebrais são tratados com sucesso, assim como os tumores de pele, incluindo alguns tumores de mastócitos e carcinomas de células escamosas. Contudo, os linfomas, tanto em cães como em gatos, têm respondido à radioterapia, e muitas vezes são realizadas em conjunto com quimioterapia. A gestão de tumores ósseos, incluindo osteossarcoma, utiliza a radioterapia como parte do regime (FOSTER; SMITH, 2015 MARCINOWSKA; DOBSON, 2015a).

Já existem centros de radioterapia veterinária em outros países como Estados Unidos, França, Canadá, Inglaterra e na Argentina. Ao decorrer dos anos, os resultados apresentados nestas clínicas estão sendo bastante incentivadores e promissores para a medicina em animais (FERNANDES et al., 2010). Devido a isso, este trabalho teve o objetivo de descrever os principais avanços e aplicações da radioterapia dentro da medicina veterinária por meio da literatura.

## **2. DESENVOLVIMENTO**

O médico veterinário alemão Richard Eberlein é considerado o pai da radiologia veterinária por provavelmente ter sido o primeiro a usar radiação no tratamento de animais. Publicou um artigo sobre radiodiagnóstico menos de um ano após Röntgen ter descoberto os raios X e cerca de dez anos depois, em 1906, relatou resultados obtidos com a radioterapia veterinária. Esses resultados na época eram considerados desafiadores, pois não era possível produzir raios X em quantidade e qualidade suficiente para radiodiagnóstico, tampouco para radioterapia (BURK; KING, 1997).

A primeira vez que a radiação foi utilizada em 1906, foi para o tratamento de tumores em equinos. Nos primeiros dias, a radiação foi usada no tratamento de doença benigna, tais como inflamação ortopédica e algumas doenças inflamatórias da pele (KNOTTENBELT; KANE; SNALUNE, 2015). A radioterapia avançou pouco até os anos 20. Quando os tubos de

raios X tornaram-se amplamente disponíveis, foi possível a produção de raios X de aproximadamente 200 quilovoltagem pico (kVp) (BURK; KING, 1997).

Os primeiros estudos sobre radiosensibilidade e dosimetria foram realizados em cães e em cavalos na Faculdade de Veterinária de Viena em 1927. Logo em 1938, Alois Pommer, diretor do Roentgen Institute na época, instalou um aparelho de raios X de baixa energia, aproximadamente 180 kVp na Faculdade de Veterinária da Pensilvânia, nos Estados Unidos, publicando os seus resultados em 1958, os quais reportavam a tolerância da pele em cães e equinos. Um treinamento extensivo em radioterapia foi idealizado a partir de 1959 na Universidade do Colorado (Estados Unidos) (FERNANDES, et. al. 2010, JERICÓ; NETO; KOGIKA, 2015).

No início, eram usadas doses totais relativamente pequenas. O protocolo básico de Alois Pommer foi de aproximadamente 2,4 a 3,0 Gray (Gy) por fração, administradas em dias alternados de 10 a 15 frações em um total de 36,0 a 45,0 Gy. Esse foi um protocolo comumente usado em medicina veterinária por muitas décadas, com doses por fração crescendo para 4,0 Gy e doses totais de 40,0 a 48,0 Gy (BURK; KING, 1997). A principal razão para o desenvolvimento de um protocolo deste tipo na época era preocupação com várias anestésias e os custos para a manipulação dos animais, sendo que quase 90 anos, esses protocolos são ainda usados para alguma aplicação na oncologia veterinária (NORTH; BANKS, 2009).

A radioterapia tornou-se uma especialidade médica reconhecida, com ênfase cada vez maior de ser colocado em uso. Os avanços tecnológicos sofisticados ocorreram ao longo dos últimos 50 anos e as técnicas de radioterapia foram melhorando exponencialmente. Os equipamentos tornaram-se mais precisos, e a utilização de técnicas avançadas de imagem para maximizar os efeitos terapêuticos preserva as células normais adjacentes. Isto se tornou um dos tratamentos não cirúrgicos mais eficazes de localizar tumores superficiais e profundos, em particular, os tumores cutâneos, os quais são encontrados principalmente em equinos (KNOTTENBELT; KANE; SNALUNE, 2015).

Em 1960, na Universidade de Cambridge, foi utilizado pela primeira vez um acelerador linear (AL) para realização de um procedimento de radioterapia em veterinária, mas pelo fato de o AL estar localizado em um hospital humano o acesso era limitado e por isso, os tratamentos eram realizados em grandes frações de radiação, uma vez por semana. Nessa época, também se iniciava o primeiro programa de residência e treinamento de radioterapia veterinária na Universidade do Colorado, que posteriormente originou o núcleo de formação do Departamento de Radiologia e Ciências da Saúde composto por físicos e biofísicos especialistas em radiação

além de veterinários. Os concluintes eram certificados pelo Colégio Americano de Radiologia Veterinária (FERNANDES, et. al. 2010, JERICÓ; NETO; KOGIKA, 2015).

Em 1969, surgem os primeiros protocolos de tratamento com radiações ionizantes em medicina veterinária, na Universidade do Colorado. Em 1981, foi instalado o primeiro AL especificamente destinado para radioterapia em pequenos animais. Algumas unidades de Cobalto-60 ( $^{60}\text{Co}$ ) já haviam sido instaladas, durante os anos de 1970, em destacados hospitais veterinários (FERNANDES, et. al. 2010, JERICÓ; NETO; KOGIKA, 2015).

Em 1994, criou-se um conselho de especialidade de radioterapia em oncologia pelo Colégio Americano de Radiologia Veterinária, e desde então oferece programas de residência médica em oncologia para o uso da radiação (VILLALOBOS; KAPLAN, 2007).

Em 1998, na Argentina, foi inaugurado o Centro de Radioterapia para Animais de Buenos Aires (CRABA), e em 2000, foi criado o Projeto de Desenvolvimento da Área de Radioterapia no Hospital Escola de Pequenos Animais da Faculdade de Ciências Veterinárias da Universidade de Buenos Aires, visando implantar o segundo Centro de Radioterapia para Animais, agora no Centro de Especialidades Médicas Veterinárias (CEMV) de Buenos Aires. No final do ano 2000, existiam 30 equipamentos de radioterapia veterinária em funcionamento na América do Norte e atualmente verifica-se uma tendência de crescimento e sofisticação tecnológica desses serviços (FERNANDES, et. al. 2010).

Até o momento, existem três tipos de aparelhos em uso na radioterapia: os de ortovoltagem, o  $^{60}\text{Co}$  e o AL. O aparelho de ortovoltagem produz raios X de baixa energia, em média 150-400 kVp, o qual possui baixa penetração nos tecidos, sendo a dose máxima depositada na pele do paciente não é adequada para o tratamento de tumores profundos. Ainda existem poucos centros no mundo que usam máquinas de ortovoltagem para paciente veterinária. O  $^{60}\text{Co}$  foi a primeira das máquinas de megavoltagem (MV) que permitiram o tratamento de tumores profundos com efeito poupador da pele, ou seja, a dose máxima de radiação não é entregue à pele. É mais barato de instalar do que um AL, mas tem considerações importantes de segurança quanto à radiação, devido à presença de uma fonte radioativa. Alguns centros mundiais têm unidades de cobalto para o tratamento de pacientes veterinários, as instalações mais recentes estão optando para as máquinas de megavoltagem, como o AL, pois elas têm um número de intervalos de energia, sendo as mais utilizadas aquelas com energia de 6 MV. (NORTH; BANKS, 2009).

A braquiterapia é raramente usada na oncologia veterinária devido às dificuldades na utilização de implantes em pacientes veterinários. No entanto, a braquiterapia é benéfica para o tratamento de tumores em cavalos e gado, sendo seu benefício nos pequenos animais

pertinente, mas menos comprovada. Historicamente, os elementos radioativos como Radônio-222 ( $^{222}\text{Rn}$ ) e o Ouro-198 ( $^{198}\text{Au}$ ) em braquiterapia veterinária são implantados como "sementes" permanentes individuais, em que muitas vezes são difíceis de distribuir idealmente para todo o tumor. Atualmente o radionuclídeo de escolha é o Iridio-192 ( $^{192}\text{Ir}$ ), que é implantado em fitas de *nylon*, que permitem a fácil distribuição adequada em todo o tumor (WALKER, 1997).

No entanto, salas de isolamento são necessárias e, dependendo do implante, o paciente pode requerer o isolamento de dias a semanas, semelhante ao método do quarto hospitalar terapêutico utilizado na braquiterapia dentro da medicina médica. Essas salas de isolamento no Brasil seguem as normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) (WANTUIR, 2009).

Na administração da radioterapia, durante o tratamento, o animal precisa ser anestesiado, sendo importante salientar que existe sempre um ligeiro risco associado com anestesia geral, embora o animal seja monitorizado cuidadosamente enquanto está anestesiado, sendo anestesia sempre de curta duração. Antes da radioterapia, cada animal é avaliado através de exames laboratoriais e exame físico, para ser submetido à anestesia. Durante a primeira sessão, o animal é colocado sobre a mesa e são utilizadas as radiografias, exames de ressonância magnética e tomografia computadorizada, por meio das quais se tem a localização exata do tumor (FOSTER; SMITH, 2015, BURK; KING 1997).

Após isso, utilizando fórmulas matemáticas e técnicas de mapeamento, o aparelho é programado e posicionado para focar o feixe sobre o tumor localizado. Vários pontos sobre a pele do animal podem ser marcados para fornecer pontos de referência para tratamentos subsequentes. Esta configuração da máquina normalmente exige 30-60 minutos. O tempo de tratamento real durante as seguintes sessões é muito curto, e o animal é anestesiado normalmente para apenas 10-15 minutos (FOSTER; SMITH, 2015, LARUE; GILLETTE, 2001).

Nos estágios iniciais do processamento, o veterinário tem de decidir qual método de imagem deve ser utilizado para acompanhamento do tratamento, optando-se pela tomografia computadorizada ou pela imagem de ressonância magnética. Os oncologistas podem preferir a tomografia como imagem inicial, porque ela é usada no planejamento do tratamento, como também para o acompanhamento por meio do computador, e assim, possibilitando duas etapas em conjunto. A imagem de ressonância magnética pode fornecer informações valiosas, mas possui algumas limitações quando comparado com a tomografia, especialmente no uso do planejamento do tratamento, um exemplo comum é o emprego da dosimetria. Exigir a

tomografia como um segundo passo é caro para os clientes e pode criar mais estresse para os pacientes idosos (VILLALOBOS; KAPLAN, 2007, MARCINOWSKA; DOBSON, 2015a).

Em uma revisão realizada por Khoo et al. (1997), comparando a tomografia e com a ressonância no planejamento radioterápico, é possível entender com mais clareza as vantagens e desvantagens de cada técnica. Segundo Withrow; Vail; Page (2013), o tratamento de pacientes com câncer é complexo e determinar a melhor modalidade de tratamento ou a combinação das modalidades pode ser um desafio. Na maioria dos casos, quando o controle local de um tumor sólido não pode ser obtido cirurgicamente, sem comprometer excessivamente a função, aparência, ou a qualidade de vida do animal, uma consulta com um oncologista da radiação deve ser considerada em muitos casos.

Novas modalidades, tais como a radioterapia estereotáxica (SRT), radioterapia guiada por imagem (IGRT), radioterapia com intensidade modulada (IMRT), radioterapia conformacional tridimensional (3D-CRT) e a tomoterapia estão mudando o paradigma do tratamento em animais, pois permitem esculpir maior dose de radiação local, proporcionando assim, opções de radiação melhorada para tumores em uma variedade de localizações. No entanto, estas modalidades requerem estratégias para o posicionamento e imobilização do paciente, além de um sistema de planejamento de tratamento específico. (LARUE; CUSTIS, 2014, WITHROW; VAIL; PAGE, 2013, MARCINOWSKA; DOBSON, 2015a, MARCINOWSKA; DOBSON, 2015b).

Dependendo do tipo e número de tratamentos, em alguns centros, a radioterapia pode custar cerca de aproximadamente 900 a 3500 dólares. O custo normalmente é resultado do equipamento caro e sua complexidade necessária para manuseio, além de os custos com os anestésicos e dos laboratórios, e também dos conhecimentos dos profissionais da saúde veterinária envolvidos. (FOSTER; SMITH, 2015).

Uma ampla variedade de protocolos de tratamento é usada atualmente em medicina veterinária, determinada por fatores como: fatores econômicos, disponibilidade de equipamento e de fontes radioativas, preferências do cliente e logística. Em grandes áreas metropolitanas, tratar 3 a 5 vezes por semana por intervalos longos pode ser mais conveniente. Em locais em que os proprietários têm de viajar em uma determinada distância, os animais devem ser hospitalizados, o que acaba encorajando o uso de doses diárias e em curtos períodos de tempo (BURK; KING, 1997; SCHWARZ; SAUNDERS, 2011).

Infelizmente na medicina veterinária, esse tipo de tratamento tem sido útil, mas indisponível para muitos pacientes, devido ao número limitado de centros de radioterapia veterinários. Nos últimos anos tem havido um aumento destes centros e os clientes são

frequentemente dispostos a transportar os seus animais para o gerenciamento de câncer para esses centros de tratamentos (LARUE; GILLETTE, 2001, MCNIEL, 2009). A Tabela 1 representa uma lista de todas as instalações de radioterapia veterinária em funcionamento nos Estados Unidos no ano de 2000, assim como a cidade da instalação e o tipo de radioterapia disponível. Nota-se que das 30 instalações da pesquisa realizada no ano de 2000, 11 já possuem equipamentos do tipo AL.

Tabela 1 Instalações da radioterapia veterinária (Estados Unidos, ano: 2000).

| CIDADE                        | INSTALAÇÕES                                    | TIPO DE RADIOTERAPIA DISPONÍVEL   |
|-------------------------------|--|---|
| Auburn (Alabama)              | Auburn University                              | AL 6 MV, elétrons, Ir <sup>192</sup> , Estrôncio-90 ( <sup>90</sup> Sr)                               |
| Tucson (Arizona)              | Southwest Veterinary Oncology                  | <sup>60</sup> Co  |
| Fountain Valley (Califórnia)  | All Care Animal Referral Center                | <sup>60</sup> Co  |
| Berkeley (Califórnia)         | Special Veterinary Services                    | Ortovoltagem  |
| Davis (Califórnia)            | University of California at Davis              | AL 4 MV, ortovoltagem, <sup>192</sup> Ir, <sup>90</sup> Sr  |
| Hermosa Beach (Califórnia)    | VCA – Animal Cancer Center                     | <sup>60</sup> Co  |
| West Los Angeles (Califórnia) | VCA – West Los Angeles                         | <sup>60</sup> Co  |
| Pacífica (Califórnia)         | Veterinary Oncology Specialties                | Ortovoltagem, <sup>90</sup> Sr, Fósforo-32 ( <sup>32</sup> P)   |
| Santa Cruz (Califórnia)       | Veterinary Tumor Institute                     | <sup>60</sup> Co, ortovoltagem  |
| Fort Collins (Colorado)       | Animal Cancer Center-CSU                       | AL 6 MV, elétrons   |
| Cooper City (Florida)         | Veterinary Radiology Specialists of South FL   | Ortovoltagem, Paládio-103 ( <sup>103</sup> Pd), <sup>90</sup> Sr                                      |
| Urbana (Illinois)             | University of Illinois                         | <sup>60</sup> Co  |
| Gaithersburg (Maryland)       | VCA- Veterinary Referral Associates            | AL 6 MV   |
| Boston (Massachusetts)        | Angell Memorial Animal Hospital                | AL 4 MV   |
| North Grafton (Massachusetts) | Tufts University School of Veterinary Medicine | AL 6 MV, elétrons   |
| Detroit (Michigan)            | Animal Cancer Treatment Center                 | <sup>60</sup> Co  |
| East Lansing (Michigan)       | Michigan State University                      | Ortovoltagem  |
| St. Paul (Minnesota)          | University of Minnesota                        | <sup>60</sup> Co  |
| Columbia (Missouri)           | VMTH – University of Missouri                  | AL 8 MV, elétrons, Césio-137 ( <sup>137</sup> Ce), <sup>90</sup> Sr, Samário 153 ( <sup>153</sup> Sm) |
| Manhattan (New York)          | Animal Medical Center                          | <sup>60</sup> Co  |
| Raleigh (North Carolina)      | North Carolina State University – CVM          | <sup>60</sup> Co  |
| Philadelphia (Pennsylvania)   | VH – University of Pennsylvania                | Ortovoltagem  |
| Knoxville (Tennessee)         | University of Tennessee                        | <sup>60</sup> Co, <sup>192</sup> Ir, <sup>90</sup> Sr   |
| Dallas (Texas)                | Animal Radiology Clinic                        | <sup>137</sup> Ce   |
| Houston (Texas)               | Gulf Coast Veterinary Oncology                 | AL 4 MV, ortovoltagem   |
| College Station (Texas)       | Texas A&M College of Veterinary Medicine       | <sup>60</sup> Co, <sup>192</sup> Ir, <sup>90</sup> Sr   |

|                        |                                     |                       |
|------------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| Springfield (Virginia) | Regional Veterinary Referral Center | AL 4 MV               |
| Seattle (Washington)   | Veterinary Oncology Services        | AL 6 MV               |
| Pullman (Washington)   | Washington State University         | AL 6 e 8 MV, elétrons |
| Madison (Wisconsin)    | University of Wisconsin             | <sup>60</sup> Co      |

Fonte: LARUE; GILLETTE, 2001.

Segundo Walker (1997), são encontrados algumas aplicações da braquiterapia intersticial realizados tanto para grandes como para pequenos animais em hospitais veterinários em Alabama, Califórnia, Georgia, Kansas, Tennessee e Texas.

Em uma pesquisa sobre as instalações de radioterapia veterinária nos Estados Unidos no ano de 2001, realizada por Mcentee (2004), foi possível determinar o tipo de equipamento disponível no serviço, os protocolos de radiação utilizados, os acessórios de uso, os tipos de tumores irradiados, assim como outros assuntos da prática de cada instalação. A Tabela 2 representa um breve resumo da pesquisa de Mcentee (2004) e a quantidade conforme todos os dados. Nota-se o aumento de 12 instalações no Ano de 2001, quando comparado à pesquisa de Larue; Gillette (2001), no ano de 2000, como também o aumento no número de equipamento do tipo AL no período de 1 ano e a variação nos protocolos de doses.

Tabela 2 Pesquisa sobre as instalações de radioterapia veterinária nos Estados Unidos (Ano de 2001).

| <b>PESQUISAS NAS INSTALAÇÕES DE RADIOTERAPIA NOS ESTADOS UNIDOS</b> | <b>QUANTIDADE CONFORME A PESQUISA</b>  |
|---|--|
| Instalações de Radioterapia Veterinária ao Total                    | 42 Locais  |
| Instalações Acadêmicas  | 17 (40%)   |
| Instalações Práticas Privadas                                       | 25 (60%)   |
| Taxa de Resposta Global   | 79%  |
| Equipamento de Ortovoltagem   | 3 Instalações  |
| Instalações com Megavoltagem  | 30 Instalações   |
| AL  | 18   |
| Protocolos de 2ª a 6ª Feira   | 18 Instalações (58%)   |
| Protocolos de 2ª 4ª e 6ª Feira                                      | 10 Instalações (32%)   |
| Dose Diária por Fração  | 2,25 a 4,2 Gy<br>(2,25, 2,4, 2,5, 2,7, 3, 3,2, e 4,2 Gy)                       |
| Número de Frações   | 10 a 24 Frações  |
| Dose Total  | 30 a 60 Gy   |
| Protocolos de Radioterapia Paliativa                                | Dose Diária (4 a 10 Gy), Frações (1 a 6) e Dose Total (4 a 50 Gy)              |
| Uso de Dispositivos de Imobilização                                 | Nunca (25%), <25% dos Pacientes (34%), 25 a 50% dos Pacientes (9%) e >50% (9%) |
| Colimador multilâminas (MLC)  | 2 Locais   |
| Braquiterapia   | 33 Instalações que responderam, 9 (27%) usam a Braquiterapia                   |

|                          |                 |
|--------------------------|-----------------|
| Uso do <sup>192</sup> Ir | 5 Locais        |
| <sup>137</sup> Cs        | 1 Local         |
| <sup>90</sup> Sr         | 13 Locais (39%) |

Fonte: MCENTEE, 2004.

Segundo Villalobos e Kaplan (2007), atualmente as clínicas veterinárias estão começando a instalar AL novos e usados em seus serviços. Com a atualização constante de equipamentos de diagnóstico e de tratamento em hospitais humanos, a medicina veterinária está herdando equipamentos com preços razoáveis. Um número crescente de hospitais veterinários possui os equipamentos AL. Recentemente a Faculdade de Medicina Veterinária do estado da Carolina do Norte nos Estados Unidos, adquiriu um AL usado por 100.000 dólares e estima-se que com os preços razoáveis dos equipamentos aumentem o acesso do AL para os pacientes veterinários com câncer.

Muitos centros de radiação em oncologia veterinária estão atualizando os sistemas dos AL com capacidades avançadas, como a 3D-RCT e a IMRT, uma delas é a utilização do computador para controlar o colimador multilâminas (MLC). (SCHWARZ; SAUNDERS, 2011).

Há aproximadamente 50 instalações de radioterapia dedicadas ao tratamento de tumores em pequenos animais nos Estados Unidos e na Europa, e pode se esperar o aumento no futuro, como egressos de programas de residência para introduzir essa prática na rotina. As doses em pequenos animais normalmente nesse tipo de serviço variam geralmente de 30 a 60 Gy, os quais são distribuídas em 4 a 30 frações de tratamento ao longo de um período de 3 a 6 semanas, dependendo da intenção do tratamento (curativo ou paliativo) (VILLALOBOS; KAPLAN, 2007; MARCINOWSKA; DOBSON, 2015a, MARCINOWSKA; DOBSON, 2015b).

O espaço para a radioterapia de cavalos aumentou lentamente, como equipamentos e instalações tornaram-se disponíveis para hospitais em equinos. A radioterapia é a modalidade padrão-ouro em muitos cânceres e há um crescente número de relatos da eficácia dessa modalidade no tratamento de tumores benignos e malignos em equinos. No entanto, apesar dos avanços gerais da radioterapia em outras espécies, ainda há muito poucos centros que são experientes ou equipados para comprometerem com essa modalidade em qualquer tipo de câncer em equinos. O custo do tratamento geralmente é muito elevado e, além disso, a logística para a anestesia do cavalo e a enfermagem de apoio torna essa especialidade desafiadora. Lamentavelmente, apesar da eficácia da radioterapia, essa especialidade ainda não é largamente utilizada na oncologia equina (KNOTTENBELT; KANE; SNALUNE, 2015).

A radioterapia é uma modalidade, por razões logísticas, limitam o seu uso na oncologia equina. A teleterapia, por exemplo, é uma técnica que geralmente não está disponível para equinos (THÉON, 1998, SAVAGE, 2001). No entanto, vários radiosótopos têm sido utilizados nos procedimentos em equinos, segundo Lavoie e Hinchcliff (2008) a taxa de cura média para o uso de braquiterapia intersticial como tratamento para sarcoídes por meio do  $^{192}\text{Ir}$  é de 87 a 94%, para o  $^{198}\text{Au}$ , para o  $^{222}\text{Rn}$  é de 92% e para o  $^{226}\text{Ra}$  e o  $^{60}\text{Co}$  é maior que 60% dos casos. A Tabela 3 representa as instituições que possuem radioterapia para equinos nos America do Norte, o tipo de radiação utilizada e sua devida localização. Note-se que todas já possuem equipamentos do tipo AL.

Tabela 3 Instituições de radioterapia em equinos nos Estados Unidos.

| LOCALIZAÇÃO                                       | TIPO DE RADIAÇÃO                |
|---|---------------------------------|
| Auburn University (Auburn, Alabama)               | Teleterapia: AL e Braquiterapia |
| University of Missouri (Columbia, Missouri)       | Teleterapia: AL e Braquiterapia |
| The Ohio State University (Columbus, Ohio)        | Teleterapia: AL                 |
| Texas A&M University College Station (Texas)      | Teleterapia: AL e Braquiterapia |
| University of California (Davis)                  | Teleterapia: AL e Braquiterapia |
| Washington State University (Pullman, Washington) | Teleterapia: AL                 |

Fonte: FIDEL, 2010.

Em equinos a radiação externa é normalmente realizada em um AL ou em uma fonte de  $^{60}\text{Co}$ , mas ambas braquiterapia e teleterapia estão disponíveis para uso em equinos. No Reino Unido, a braquiterapia vem utilizando fios de  $^{192}\text{Ir}$  na Universidades de Cambridge e Liverpool, enquanto atualmente a Universidade de Cambridge oferece apenas teleterapia de megavoltagem. Embora, a utilização do  $^{153}\text{Sm}$  em equinos também tem sido relatada (HENSON; DOBSON, 2004).

As indicações para a radioterapia curativa no equino são para tumores mais radiosensíveis, tais como os linfomas. A radioterapia paliativa é considerada para os tumores da cavidade nasal, que muitas vezes estão em estado avançados antes do diagnóstico, tais como carcinomas de células escamosas (HENSON; DOBSON, 2004).

Uma variedade de métodos de radioterapia é usada para correlacionar a diferente dose em equinos, os esquemas de fracionamento estabelecem as melhores práticas para vários tipos de tumores. Uma das primeiras tentativas de fracionamento teve o objetivo de alcançar o melhor controle do tumor. Essa tentativa foi empregada um intervalo de 2 a 3 semanas entre as sessões

de tratamentos, no entanto, esse longo intervalo entre as frações resultaram no repovoamento acelerado da patologia. Outros esquemas de fracionamento passaram a serem utilizados, especialmente os que incluem o hiperfracionamento e o hipofracionamento da dose. Provavelmente esses fracionamentos não têm vantagens materiais em equinos e desse modo eles são em grande medida impraticáveis no momento, no entanto, alguns métodos estão sendo desenvolvido para equinos, o que pode permitir que alguns deles tornem-se mais viáveis no futuro (KNOTTENBELT; KANE; SNALUNE, 2015).

A IMRT possui algumas limitações em grandes animais. O desafio de fazerem cavalos é que o tamanho do corpo e o posicionamento repetitivo tornam-se difíceis, pois o AL precisa girar ao redor do paciente para entregar os feixes múltiplos, ou seja, os AL são projetados para pessoas e nenhum é para animais e, principalmente, para os de grande porte, por isso em equinos, é comum apenas os tumores de cabeça e de extremidades serem acessíveis à IMRT (KANE, 2011).

Em uma pesquisa realizada por Farrelly e Mcentee (2014) sobre as instalações de radioterapia veterinária nos Estados Unidos, Canadá e Europa, os autores identificaram que, no ano de 2010, já havia 66 instalações de teleterapia nos Estados Unidos, 6 na Europa e 4 no Canadá, totalizando em 76 instituições, sendo 24 acadêmicas e 52 privadas. O estudo também apresentou que 35 das instalações entrevistadas já possuíam equipamento AL com energias de 4 a 8 MV e com feixes de elétrons em 78% delas, além de outras tecnologias, tais como a IMRT, a radioterapia guiada por imagem (IGRT), a radiocirurgia estereotáxica e a tomoterapia. No entanto, o estudo limitou-se apenas a prática da teleterapia em pequenos e grandes animais, ou seja, não foi incluso perguntas sobre a braquiterapia e de radioisótopos.

No Brasil, a radioterapia veterinária tem caráter experimental, uma vez que não existem aparelhos e serviços destinados exclusivamente para esse fim. Os tratamentos são, em sua maioria, realizados para teste de um novo protocolo veterinário ou até mesmo, como cobaias, para um novo protocolo humano. No Hospital Veterinário da UNESP de Araçatuba, de 1998 a 2006, foram realizados 69 procedimentos de radioterapia veterinária em cães, gatos e em um cavalo. Desses procedimentos foram realizados braquiterapia e radioterapia superficial de ortovoltagem. Os resultados comprovaram a eficácia do tratamento em animais, destacando a importância do cálculo de dose adequado para cada caso (WANTUIR, 2009).

Neste estudo realizado no Brasil, cujos resultados foram relatados por Fernandes et al. (2010), foi mencionado o sucesso da realização da radioterapia em animais, sendo 64 cães, 4 gatos e 1 cavalo, com lesões em diversas localizações e diferentes estágios evolutivos da doença. Nesses procedimentos, os tumores de origem epitelial de pequenas dimensões foram

submetidos à braquiterapia com discos de  $^{198}\text{Au}$ , ou aplicações (em média 7 sessões) com raios X de 50 kV em equipamento de radioterapia superficial marca Siemens modelo Dermopan®. Em lesões maiores e mais profundas, foi realizada a radioterapia (sessão única) no leito operatório durante o procedimento cirúrgico.

Em um trabalho também realizado no Brasil por CUNHA (2013a), foi avaliada a efetividade de dois protocolos radioterápicos: o hipofracionamento (feito em um equipamento AL Clinac 2100) e o fracionamento padrão (realizado em um aparelho de ortovoltagem Stabilipan®), ambos no tratamento de carcinoma de células escamosas cutâneo em felinos. Cinquenta e duas lesões neoplásicas de 35 felinos com carcinoma de células escamosas cutâneo foram tratadas e divididas em dois grupos, sendo que o protocolo de fracionamento padrão demonstrou melhores resultados do que o protocolo de hipofracionamento, levando em consideração os efeitos colaterais de cada caso.

De acordo com Cunha et al. (2007) e Cunha et al. (2014), a perspectiva da radioterapia veterinária é de que com resultados positivos de pesquisas como as citadas, a radioterapia em animais seja considerada como uma opção adequada para tratamento de câncer em animais. Espera-se que clínicas veterinárias adquiram aparelhos para este fim, visto que animais domésticos no Brasil têm recebido cada vez mais cuidados, sendo mais uma opção de tratamento que trará aos proprietários esperanças de maior sobrevida ou cura desses animais.

### **3. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Por meio das descrições dessa revisão, foi possível identificar que, embora a prática da radioterapia veterinária ainda não seja realizada no Brasil, as pesquisas envolvendo essa modalidade terapêutica em animais estão crescendo lentamente em território nacional e que, a partir do ano de 2000, houve um grande aumento nos números de instalações e de equipamentos do tipo AL nos serviços de atendimento de pequenos e grandes animais dos Estados Unidos, além da existência de uma ampla variedade nos protocolos de doses utilizadas nessas instituições.

### **REFERÊNCIAS**

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

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.

CUNHA, S. C. S.; CARVALHO, L. A.V.; CANARY, P. C.; REISNER, M.; PEREIRA, A. N.; CORGOZINHO, K. B.; SOUZA, H. J. M.; FERREIRA, A. M. R. Aplicação da radioterapia em felino portador de Carcinoma Epidermóide nasal e palpebral utilizando Protocolo de Hipofracionamento. **Acta Scientiae Veterinariae**, v. 35, n. 2, p. 239-243, Rio de Janeiro, 2007.

CUNHA, S. C. S.; **Radioterapia em gatos domésticos com carcinoma de células escamosas cutâneo: avaliação dos protocolos de hipofracionamento e fracionamento padrão**. 142f. Dissertação de doutorado em medicina veterinária. Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2013a.

FARRELLY, J.; MCENTEE, M. C. A survey of veterinary radiation facilities in 2010. **Veterinary Radiology and Ultrasound**, v. 55, n. 6, p. 638-643, 2014.

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**, Natal, v. 4, n. 2, p. 11- 14, 2010.

FOSTER; SMITH **Radiation Therapy in Dogs, Cats and Other Small Animals**. Veterinary & Aquatic Services Department, 2015 Disponível em <<http://www.peteducation.com/article.cfm?c=2+2087&aid=2607>> Acesso em 5 maio 2015.

HENSON, F. M. D.; DOBSON, J. M. Use of radiation therapy in the treatment of equine neoplasia. **Equine Veterinary Education**, v. 16, n. 6, p. 315-318, 2004.

JERICÓ, M. M.; NETO, A. J. P.; KOGIKA, M. M. **Tratado de Medicina Interna de Cães e Gatos**. v. 1, São Paulo: Roca, 2015. 1238p

KANE, E. Radiation oncology for equine tumors: The current state of this therapeutic technique in horses. **DVM360 Magazine**, p. 1-3, 2011.

KHOO, V. S; DEARNALEY, D. P.; FINNIGANB, D. J.; PADHANI, A.; TANNERD, S. F.; LEACHD, M. O. Magnetic resonance imaging (MRI): considerations and applications in radiotherapy treatment planning. **Radiotherapy and Oncology**, v. 42, p. 1- 15, 1997.

KNOTTENBELT, D. C.; KANE, J. C. P.; SNALUNE, K. L. **Clinical Equine Oncology**. Elsevier, 2015. 715p.

LARUE, S. M. ; GILLETTE, E. L. **Radiation therapy**. In: WITHROW, S. J.; MACEWEN, E. G. Small Animal Clinical Oncology. W.B. Saunders Co. Philadelphia, PA. 2001

LARUE, S. M.; CUSTIS, J. T. Advances in Veterinary Radiation Therapy Targeting Tumors and Improving Patient Comfort. **Veterinary Clinical Small Animal**. v. 44, p. 909–923, 2014.

LAVOIE, J. P. HINCHCLIFF, K. W. **Blackwell's five Minute Veterinary Consult Equine**. Iowa: Wiley-Blackwell, 2008.

MARCINOWSKA, A.; DOBSON, J. Radiotherapy and tumours in veterinary practice: part one. **Veterinary Times**, 2015a. Disponível em: <<http://www.vettimes.co.uk/article/radiotherapy-and-tumours-in-veterinarypractice-part-one/>> Acesso em: 16 de Dez. 2015.

MARCINOWSKA, A.; DOBSON, J. Radiotherapy in practice – part 2: uses and outcomes. **Veterinary Times**, 2015b. Disponível em: <<http://www.vettimes.co.uk/article/radiotherapy-in-practice-part-2-uses-andoutcomes/>> Acesso em: 16 de Dez. 2015.

MCENTEE, M. C. A survey of veterinary radiation facilities in the United States during 2001. **Veterinary and Radiology and Ultrasound**, v. 45, n. 5, p.476-479, 2004.

MCNIEL, E. Introduction to Radiation Therapy. Department of **Small Animal Clinical Sciences**, p. 126-129 Michigan State University, East Lansing, Michigan, 2009.

MORRIS, J.; DOBSON, J. **Oncologia de pequenos Animais**. Ed Roca, p. 55-56, 2007.

NORTH, S.; BANKS, T. **Small Animal Oncology: An Introduction**. Philadelphia: Elsevier, 2009. 298p.

SAVAGE, C. J. **Segredos em Medicina de Equinos**. Porto Alegre: Artmed, 2001. 414p.

SCHWARZ, T.; SAUNDERS, J. **Veterinary Computed Tomography**. John Wiley & Sons, 2011. 575p.

THÉON, A. P. Radiation therapy in the horse. **The Veterinary Clinics of North America Equine Practice**, v. 14, n. 3, p. 673-688, 1998.

VILLALOBOS; KAPLAN, **Canine and Feline Geriatric Oncology: Honoring the Human-Animal Bond**. Blackwell: USA, 2007. 385p.

WALKER, M. A. Interstitial implant brachytherapy in small animals. **Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice**. v. 27, n. 1, p. 59-71, 1997.

WANTUIR, C. R. J. **Sistema de cálculo para determinação do tempo de exposição em radioterapia veterinária**. 37f. Trabalho de Conclusão de Curso - Bacharelado em Física Médica, Instituto de Biociência da Universidade Estadual Paulista de Botucatu, 2009.

WITHROW, S. J.; VAIL, D. M.; PAGE, R. **Withrow and MacEwen's Small Animal Clinical Oncology**. 5th edition Elsevier Saunders, 2013. 763p.