



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

CAMPUS DE BOTUCATU - INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS

WANTUIR CARLOS RAMOS JUNIOR

**SISTEMA DE CÁLCULO PARA DETERMINAÇÃO DO TEMPO
DE EXPOSIÇÃO EM RADIOTERAPIA VETERINÁRIA**

Botucatu

2009

Wantuir Carlos Ramos Junior

**Sistema de Cálculo para Determinação do Tempo de Exposição em
Radioterapia Veterinária**

Monografia apresentada ao Instituto de
Biociências da Universidade Estadual
Paulista “Júlio de Mesquita Filho”,
Campus de Botucatu, para obtenção do
título de Bacharel em Física Médica.

Supervisor: Prof. Dr. Marco Antonio R. Fernandes

Orientador: Prof. Dr. Marco Antonio R. Fernandes

Botucatu

2009

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO
DA INFORMAÇÃO
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CAMPUS DE BOTUCATU - UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: SELMA MARIA DE JESUS

Ramos Junior, Wantuir Carlos.

Sistema de cálculo para determinação do tempo de exposição em radioterapia veterinária / Wantuir Carlos Ramos Junior. - Botucatu [s.n], 2009.

Trabalho de conclusão (bacharelado – Física médica) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Botucatu, 2009

Orientador: Marco Antonio R. Fernandes

1. Física médica 2. Radioterapia veterinária - Técnicas

Palavras-chave: Cálculo; Dose; Radioterapia; Raios X; Veterinária

Agradecimentos

Agradeço ao professor Marco Antonio Rodrigues Fernandes, meu supervisor e orientador desse trabalho. Agradeço também a Mariely Zago dos Santos, minha grande companheira que me ajudou em todos os momentos desse trabalho.

Aos Pais, Familiares e Amigos agradeço pela colaboração ao longo da vida e do curso.

Resumo

A radioterapia em medicina veterinária já é prática conhecida e largamente difundida nos grandes centros especializados dos países desenvolvidos. No início dos anos 2000, existiam cerca de 30 aparelhos de radioterapia destinados especificamente para a clínica veterinária nos Estados Unidos. No Brasil, a radioterapia veterinária ainda se restringe a pesquisas em instituições universitárias, onde na maioria dos procedimentos faz-se a radioterapia superficial realizada com aparelhos de raios X, com voltagem entre 50 e 150 kVp, à distância foco-superfície (DFS) entre 20,0cm e 40,0cm. Como o que ocorre em medicina humana, novas pesquisas reforçam o desenvolvimento e perspectivas de utilização da radioterapia como uma opção segura para tratamento de câncer também em animais. Este trabalho apresenta uma metodologia de cálculo do tempo de exposição para procedimentos de radioterapia superficial em medicina veterinária de pequenos animais (cães e gatos). Os parâmetros dosimétricos dos feixes de raios X são determinados utilizando uma planilha de cálculo da ferramenta Excel do Microsoft Office, desenvolvida neste trabalho para um aparelho Dermopan 2, do Hospital Veterinário da Unesp de Araçatuba. A utilização da planilha auxilia o médico veterinário na determinação do tempo de exposição a radiação preconizado para cada caso clínico, otimizando a rotina dos profissionais nos procedimentos de radioterapia veterinária, os quais muitas vezes não dispõem de físicos-médicos na equipe e no momento da realização da radioterapia. O uso correto da planilha diminui as chances de erros nas taxas de dose de radiação, proporcionando maior qualidade dos tratamentos.

Palavras-chave: Cálculo; Dose; Radioterapia; Raios X; Veterinária.

Abstract

Radiotherapy in veterinary practice is already known and widely distributed in large specialized centers of developed countries. In early 2000, there were about 30 radiotherapy equipment specifically designed for the veterinary clinic in the United States. In Brazil, the veterinary radiotherapy is still confined to research in universities, where most of the procedures is radiation therapy performed with superficial x-ray machines, with a voltage between 50 and 150 kVp, focus-distance surface (DFS) between 20,0cm and 40,0cm. As that occurs in human medicine, new research strengthens the development and prospects for the use of radiotherapy as a safe option for treating cancer in animals. This paper presents a methodology for calculating the exposure time for superficial radiotherapy procedures in veterinary medicine for small animals (dogs and cats). The dosimetric parameters of X-rays are determined using a spreadsheet tool for Microsoft Office Excel, developed in this paper for a device Dermopan 2, Veterinary Hospital of UNESP in Araçatuba. Using the worksheet helps the veterinarian to determine the time of exposure to radiation determined for each clinical case, optimize the workflow for professionals in veterinary radiotherapy procedures, which often lack the medical physics in team and at the time of radiotherapy. The correct use of spreadsheet decreases the chances of errors in dose rates of radiation, providing a higher quality of care.

Keywords: Calculation; Dose; Radiotherapy; Veterinary; X-ray.

Sumário

Resumo

Abstract

1 Introdução	1
1.1 O Câncer nos Animais.....	2
1.2 Radioterapia em Medicina Veterinária: Histórico e Perspectivas	3
2 Revisão da literatura.....	7
2.1 Raios X de Quilovoltagem	7
2.1.1 Produção de Raios X	7
2.1.2 Camada Semi-redutora (CSR)	8
2.1.3 Filtros	9
2.2 Interação dos Raios X com a matéria.....	9
2.2.1 Efeito Fotelétrico	11
2.2.2 Efeito Compton	11
2.2.3 Produção de Pares.....	12
2.3 Distribuição da dose.....	13
2.3.1 Porcentagem de Dose Profunda (PDP)	13
2.3.2 Dosimetria e Rendimento.....	16
2.4 Dermopan 2	17
3 Objetivos.....	20
4 Justificativas	20
5 Materiais e Métodos.....	20
6 Resultados e Discussão	26
7 Conclusão	29
8 Referências bibliográficas	30

1. Introdução

Com a descoberta dos raios X, por Wilhelm Konrad Röntgen, em 1895, pesquisadores, que notaram propriedades biológicas daqueles raios, passaram a utilizar a radiação com finalidade terapêutica. [1]

Em 1896, já aconteceu uma tentativa de tratamento de câncer de mama por Emil Grubbé, em Chicago (uma hora de exposição por 18 dias). [3]

A utilização de feixes de radiações ionizantes, como os raios X, para destruir células é chamada, então, radioterapia. Em humanos, a radiação é aplicada num determinado tempo, em frações diárias. Quando a fonte está localizada à distância da lesão é chamada teleterapia, e é chamada braquiterapia quando a fonte é colocada em contato ou no interior da lesão. [1]

A radioterapia humana como especialidade médica já é consagrada e bem difundida entre os centros médicos do Brasil. Já a radioterapia veterinária teve início por motivos experimentais, já que eram utilizados animais como cobaias para testar os resultados de tratamentos. [7]

Em países da Europa e nos Estados Unidos, a radioterapia veterinária é realizada, mas no Brasil esse procedimento tem caráter mais experimental do que terapêutico. Novas pesquisas estão sendo realizadas na área com a criação de novos protocolos e utilização animais em que a doença surgiu naturalmente, sem necessidade de indução, unindo a pesquisa à possível melhoria da qualidade de vida e sobrevida desses animais. [2]

O desenvolvimento do tratamento com radiações ionizantes depende da difusão do conhecimento entre os especialistas, principalmente dos médicos radioterapeutas e físicos médicos envolvidos na rotina do serviço, e também de estudos de protocolos integrados com outras terapias que visem maior efetividade radiobiológica dos procedimentos. [7]

Este trabalho apresenta um sistema de cálculo computacional de tempo de exposição de radioterapia para cães e gatos no aparelho de radioterapia

superficial com raios X, Dermopan 2, da Siemens. Os dados de dosimetria utilizados para o cálculo foram coletados no aparelho. Com o desenvolvimento deste sistema pretende-se padronizar os tratamentos, considerando os fatores físicos em cada caso, maximizando os efeitos desejados no combate ao câncer veterinário e diminuindo os danos biológicos aos animais. A utilização do Excel é de fácil manipulação, permitindo o cálculo pelo médico veterinário, sem que haja necessidade de um físico em todos os planejamentos e tratamentos.

1.1 O Câncer nos animais

O câncer é a proliferação desordenada das células de qualquer tecido do corpo. Tal crescimento causa danos ao funcionamento de tais tecidos e com o avanço da doença, pode causar a morte do indivíduo. Se detectada em fases iniciais, pode-se retirar o tumor cirurgicamente antes que ocorra a metástase, possibilitando um prolongamento da vida do animal. [5]

Os sinais clínicos de um animal com câncer variam com o tipo de tumor e estágio. O osteossarcoma (tumor ósseo), por exemplo, pode estar associado à fratura nos ossos, já que há destruição da estrutura óssea. No caso dos linfomas (tumor nos gânglios) pode haver o aumento de um ou mais gânglios. Mas em muitos casos o animal apresenta apenas perda de peso antes que os sinais mais graves apareçam. [5]

Não há predileção de sexo, mas há uma maior incidência do câncer em certas raças. Geralmente, o câncer aparece em animais mais velhos. Ainda não se sabe se há fatores genéticos ligados a doença, nem qual a razão para o início do crescimento desordenado das células. Sendo assim não há uma maneira de se prevenir o câncer em animais, o que torna o diagnóstico precoce a única maneira de se combater o câncer, com chances de prolongamento da vida do animal e, algumas vezes, a cura. [5]

O tratamento pode ser cirúrgico e/ou medicamentoso, de acordo com o tipo e estágio do tumor. A quimioterapia é usada em cães em alguns tipos de câncer, mas esse tratamento além de matar as células tumorais, deprime a medula óssea, causando efeitos indesejáveis. Durante a quimioterapia não há queda de pêlos em animais com pelagem curta. O fato de que, com o tratamento de quimioterapia, o animal deve ser monitorado com exames de sangue semanais para verificar a ação da droga no organismo e se o tratamento pode ser continuado, associado ao uso de medicamentos e dietas especiais, torna o tratamento bastante oneroso. A radioterapia também é usada em animais, mais ainda não é comumente usada em nosso país. [5]

1.2 Radioterapia em Medicina Veterinária: Histórico e Perspectivas

Richard Eberlein, médico veterinário alemão, 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 em radioterapia veterinária. Esses resultados na época eram considerados desafiadores, pois não era possível produzir raios X em quantidade e qualidade suficiente para radiodiagnóstico, tão pouco para radioterapia. [4]

A radioterapia avançou pouco até os anos 20, quando tubos de raios X tornaram-se amplamente disponíveis e foi possível a produção de raios X de aproximadamente 200kVp. [4]

Em 1938, Alois Pommer, diretor do Röntgen Institute, instalou uma máquina de radioterapia de raios X de 180kVp, publicando seus resultados em 1958. Seus estudos reportavam a tolerância da pele em cães e cavalos. [4]

No início a radioterapia veterinária era usada geralmente para tratamento de doenças benignas, o que era mais viável do que tratar tumores, pois eles eram relativamente superficiais, e eram usadas apenas doses totais relativamente pequenas. [4]

O protocolo básico de Pommer é de aproximadamente 2,4Gy a 3,0Gy por fração, administradas em dias alternados de 10 a 15 frações num total de 36,0Gy a 45,0Gy. Esse foi um protocolo comumente usado em medicina veterinária por muitas décadas, com doses por fração crescendo para 4,0Gy e doses totais de 40,0Gy a 48,0 Gy. [4]

As estimativas de dose eram realizadas para superfície e os resultados mostraram que os tumores controlados por esse protocolo apresentaram uma baixa probabilidade de lesão tardia. Para controle de dose administrada, era utilizada uma câmara de ionização, que era localizada no campo de irradiação durante o procedimento. [4]

L. N. Owen, no final dos anos 60, na universidade de Cambridge, foi o primeiro veterinário a usar um acelerador linear (AL) para radioterapia veterinária, mas pelo fato de o AL estar localizado em um hospital humano o acesso era limitado. Por isso, os tratamentos eram realizados em grandes frações de radiação, uma vez por semana. [4]

Uma ampla variedade de protocolos de tratamento é usada atualmente em medicina veterinária, dominadas por fatores como: fatores econômicos, disponibilidade de equipamento e pessoal, 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 clientes têm que viajar alguma distancia, os animais devem ser hospitalizados, o que acaba encorajando o uso de doses diárias e em curtos períodos de tempo. [4]

No Brasil, a radioterapia veterinária tem caráter experimental, uma vez que não existem aparelhos e serviços destinados exclusivamente para esse fim e os

tratamentos são, em sua maioria, realizados para teste de um novo protocolo veterinário ou até mesmo, como cobaias, para um novo protocolo humano.

Uma equipe de professores do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal Fluminense (UFF), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e profissionais do setor de radioterapia e radiologia do hospital Universitário Clementino Fraga Filho (HUCFF) realizam pesquisa na área. A pesquisa visa trazer o tratamento radioterápico para animais ao Brasil e tornar mais confortável às pessoas o tratamento contra o câncer de pele, ao reduzir os deslocamentos realizando protocolo de dose semanal. [2]

No Hospital Veterinário da Unesp de Araçatuba, de 1998 a 2006, foram realizados 69 procedimentos de radioterapia veterinária em cães, gatos e um cavalo. Foram realizados procedimentos de braquiterapia e radioterapia superficial com raios X (50 kV). Os resultados comprovaram a eficácia do tratamento em animais, destacando a importância do cálculo de dose adequado para cada caso.

As figuras 01, 02 e 03 mostram exemplos de casos tratados. Na figura 01, observa-se um cão com carcinoma escamo-celular (CEC) na pata, um molde superficial de disco de Au^{198} posicionado na lesão e a pata irradiada após três anos do tratamento. [7]



Figura 01: Evolução de um caso de CEC canino tratado com braquiterapia.

A figura 02 apresenta uma lesão do tipo sarcóide em pálpebra superior em eqüino, betaterapia em leito operatório e a lesão após três anos de tratamento.



Figura 02: Evolução de um caso de sarcóide em pálpebra superior em eqüino tratado com betaterapia.

A figura 03 mostra um exemplo de posicionamento do aparelho de raios X Dermopan 2.



Figura 03: Posicionamento no Dermopan 2.

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 e mais uma opção de tratamento trará aos donos esperanças de que pode haja possibilidade de sobrevida desses animais. [2]

2. Revisão da Literatura

2.1 Raios X de Quilovoltagem

Os aparelhos de raios X de quilovoltagem produzem feixes de várias energias e de acordo com a faixa de energia destes são utilizados para cada tipo de radioterapia.

A terapia de contato é realizada com energias de 30kVp a 50kVp e à distância foco-superfície (DFS) de 2,0cm ou menos.

A terapia superficial é realizada com energias entre 50kVp e 150kVp e à distância foco-superfície (DFS) entre 20,0cm e 40,0cm.

A terapia profunda (ortovoltagem) é realizada com energias entre 150kVp e 300kVp e à distância foco-superfície (DFS) entre 30,0cm e 50,0cm.

Nos procedimentos de radioterapia com feixes de raios X de quilovoltagem, geralmente, a dose é calculada à profundidade zero (na pele do paciente).

2.1.1 Produção de Raios X

A produção de raios X ocorre basicamente com o bombardeio de elétrons sobre um alvo. Os tubos de produção de raios X contêm um cátodo e um ânodo,

para aceleração dos elétrons, no vácuo para que haja o mínimo de perda de energia possível. [6]

O cátodo é um filamento de tungstênio, com alto ponto de fusão. Com o aquecimento deste filamento, são liberados elétrons que são acelerados até o ânodo por uma diferença de potencial, criando uma corrente eletrônica. A voltagem gerada é da ordem de kV (quilovolt) e a corrente da ordem de mA (miliampére). [6]

Ao colidirem com o alvo (ânodo), parte de sua energia é convertida em raios X e parte em calor. Devido ao calor gerado, o ânodo deve ter alto ponto de fusão, no caso, novamente o tungstênio, além de refrigeração por água, óleo ou ar. [6]

2.1.2 Camada Semi-Redutora (CSR)

A camada semi-redutora (CSR) é a espessura de um material capaz de reduzir a intensidade de um feixe de raios X pela metade. A CSR indica a qualidade da radiação, pois para feixes mais energéticos (com mais qualidade), sua CSR será maior. [6]

A CSR é representada por:

$$CSR = \frac{0,693}{\mu} \quad (Eq. 01)$$

Onde: μ é o coeficiente de atenuação linear do material. [6]

Chama-se 1ª CSR a espessura que reduz a intensidade de 100% para 50%, e de 2ª CSR, a que reduz de 50% para 25%. Feixes mais heterogêneos terão a 2ª CSR maior que a 1ª CSR. Para analisar a qualidade do feixe, utiliza-se o conceito de coeficiente de homogeneidade (CH) que é dada pela razão entre a 1ª CSR e a

2ª CSR: $CH = \frac{1^{\text{a}} \text{ CSR}}{2^{\text{a}} \text{ CSR}}$ (Eq. 02). Para feixes monoenergéticos o CH seria igual a 1 unidade. [6]

2.1.3 Filtros

A utilização de filtros, geralmente placas de diversos metais, torna o feixe mais “endurecido” e o CH torna maior (entre 0,8 e 1,0). A filtração aumenta a qualidade do feixe, aumentando o poder de penetração, mas reduzindo a intensidade do feixe. A tabela 01 apresenta valores das CSR e CH para diversas espessuras, em mm, de filtros de cobre (Cu). [6]

Tabela 01: CH para cada espessura de filtro. [6]

Filtro	1ª CSR	2ª CSR	CH
0 mm Cu	1,00	1,50	0,67
0,25 mm Cu	1,20	1,70	0,70
0,95 mm Cu	1,35	1,75	0,77
1,00 mm Cu	1,45	1,80	0,81
1,25 mm Cu	1,50	1,85	0,81
1,50 mm Cu	1,55	1,90	0,82
1,75 mm Cu	1,57	1,91	0,82

Observando a tabela 01, o filtro escolhido para uma filtração ideal seria o de 1,0 mm de Cu, pois após esse valor o CH torna-se praticamente constante. [6]

2.2 Interação dos Raios X com a matéria

O feixe de raios X é atenuado ao se propagar pela matéria, tendo sua intensidade reduzida. A expressão matemática que representa esta atenuação, em feixes estreitos, é dada por: [6]

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x} \quad (\text{Eq. 03})$$

Onde:

I = intensidade transmitida pelo absorvedor

I_0 = intensidade incidente no absorvedor

x = espessura do absorvedor

μ = coeficiente de atenuação linear [6]

A figura 04 representa a curva de atenuação de um feixe colimado de raios X em papel semilog. O meio em que os raios X atravessam funciona como filtros, deixando o feixe mais penetrante. [6]

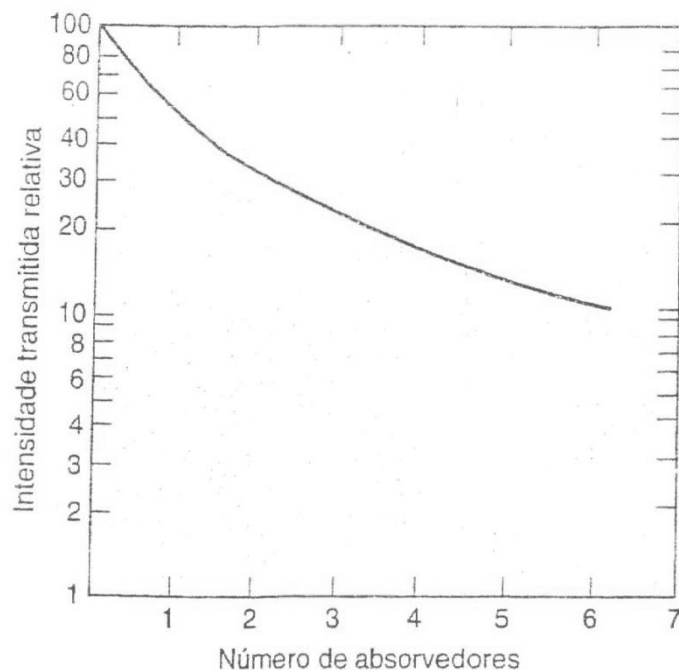


Figura 04: Curva de transmissão de um feixe de raios X. [6]

Outro fator que diminui a intensidade do feixe de raios X é a Lei do Inverso do Quadrado da Distância. Esta lei mostra que a intensidade do feixe diminui proporcionalmente ao quadrado da distância da fonte. [6]

2.2.1 Efeito fotoelétrico

O efeito fotoelétrico é o processo em que o fóton interage com um elétron de um átomo, desaparecendo e cedendo toda a sua energia ao elétron. O elétron então é ejetado, devido à ionização, há um rearranjo no átomo para preencher a vaga deixada por ele. Acompanhando este rearranjo, há emissão de raios X característicos, chamado assim porque seus valores são característicos de cada elemento. Na figura 05 há a esquematização deste efeito. [6]

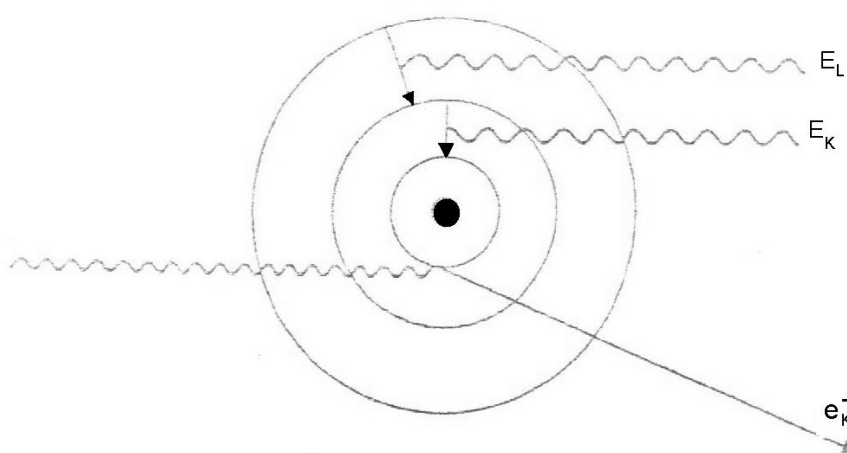


Figura 05: Ilustração do Efeito Fotoelétrico. [6]

2.2.2 Efeito Compton

No caso do efeito Compton o fóton incidente interage com um elétron de uma camada mais externa ejetando-o de sua órbita, mas, desta vez, o fóton não desaparece, e sim muda de trajetória. A partir daí o fóton defletido e passa a ser chamado de radiação espalhada. A figura 06 representa este efeito. [6]

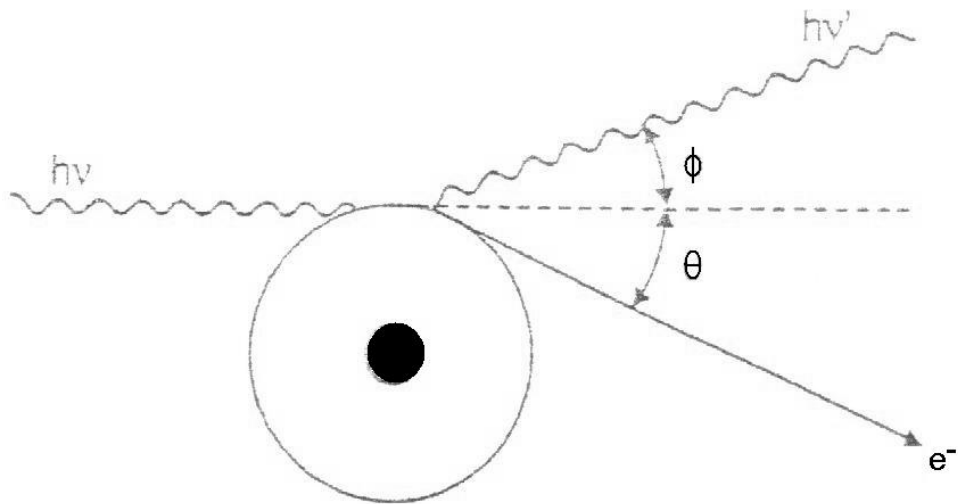


Figura 06: Espalhamento Compton. [6]

2.2.3 Produção de Pares

Na produção de pares, um fóton de alta energia (superior a 1,022MeV) interage próximo ao núcleo do átomo, desaparece e há o surgimento de um par de elétrons, um negativo e um positivo, chamado pósitron. A figura 07 representa a produção de pares. [6]

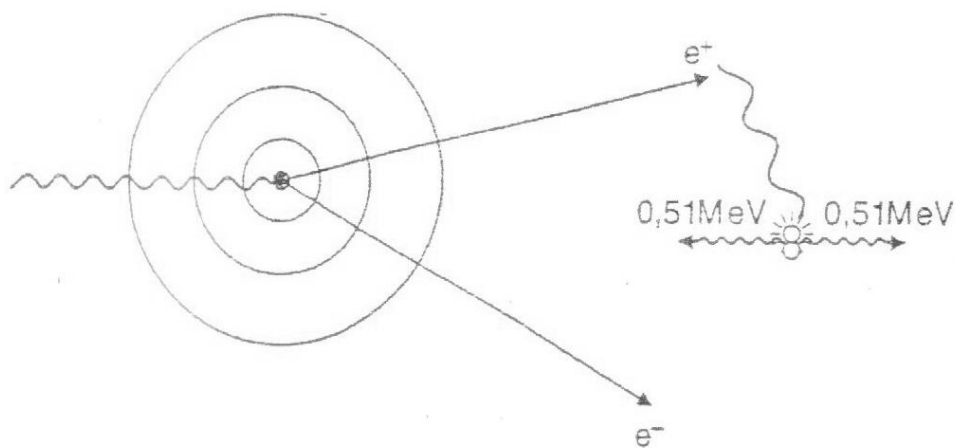


Figura 07: Esquematização do efeito de produção de pares. [6]

A figura 08 indica a incidência do efeito fotoelétrico, efeito Compton e produção de pares, de acordo com a energia do fóton incidente e do número atômico do material absorvedor.

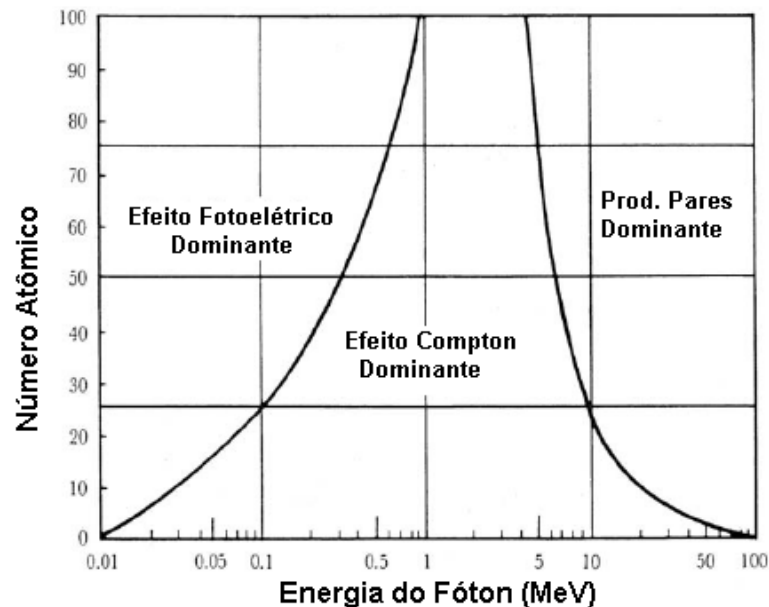


Figura 08: Representação da dominância dos processos de interação dos fótons com a matéria. [8]

2.3 Distribuição da Dose

2.3.1 Porcentagem de Dose Profunda (PDP)

A Porcentagem de Dose Profunda (PDP) é a relação percentual da dose, em determinada profundidade, em relação à profundidade onde a profundidade de equilíbrio eletrônico, onde a dose é máxima. A equação que expressa essa relação é dada por: [6]

$$PDP = \frac{Dd}{Dm} \cdot 100 \quad (\text{Eq. 04})$$

Onde: D_d é a dose na profundidade “d” no eixo central do feixe

D_m é a dose na profundidade de equilíbrio eletrônico “ d_m ” no eixo central do feixe

A dose na profundidade “d” é a dose na profundidade de equilíbrio eletrônico com a correção pela lei do inverso do quadrado da distância e pelo fator espalhamento (B). Pode-se dizer então: [6]

$$D_d = D_m \cdot \left(\frac{F + d_m}{F + d} \right)^2 \cdot B \cdot e^{-\mu d} \quad (\text{Eq. 05})$$

Onde: d é a profundidade

d_m é a profundidade de dose máxima

F é a distância fonte-pele

Substituindo a Eq. 04 em 05 : [6]

$$PDP = 100 \cdot \left(\frac{F + d_m}{F + d} \right)^2 \cdot B \cdot e^{-\mu d} \quad (\text{Eq. 06})$$

Logo, PDP está em função da profundidade, tamanho do campo, qualidade da radiação e distância foco superfície (DFS). A figura 09 mostra a PDP no eixo central para diferentes qualidades de feixes de fótons, para um mesmo campo de 10,0cm X 10,0cm, DFS de 100,0cm, e para cobalto.[8]

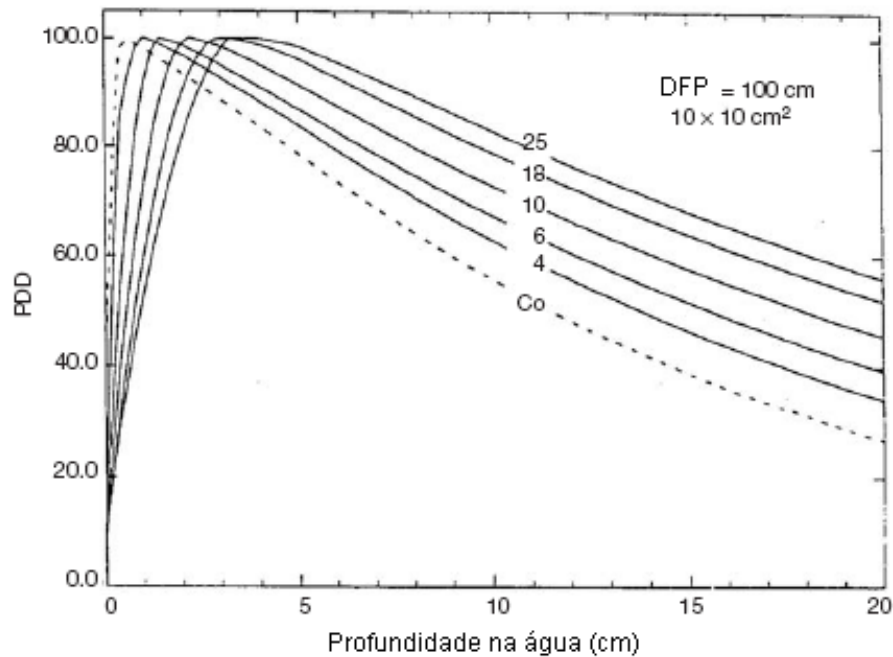


Figura 09: PDP para diferentes qualidades de feixes de fótons e para cobalto. [8]

A PDP decresce com o aumento da profundidade devido à maior atenuação sofrida ($e^{-\mu d}$) e pela lei do inverso do quadrado da distância ($\left(\frac{F+d_m}{F+d}\right)^2$), com exceção da região de equilíbrio eletrônico. [6]

Já com maior tamanho de campo, a PDP eleva-se, pois com maior volume irradiado o espalhamento (B) será maior. [6]

Para diferentes DFS, altera-se a PDP pela lei do inverso do quadrado da distância e também pelo fator de absorção e espalhamento, pois o campo na pele terá o mesmo tamanho, mas em profundidade terá tamanhos diferentes para DFS diferentes, assim observado na figura 10. [6]

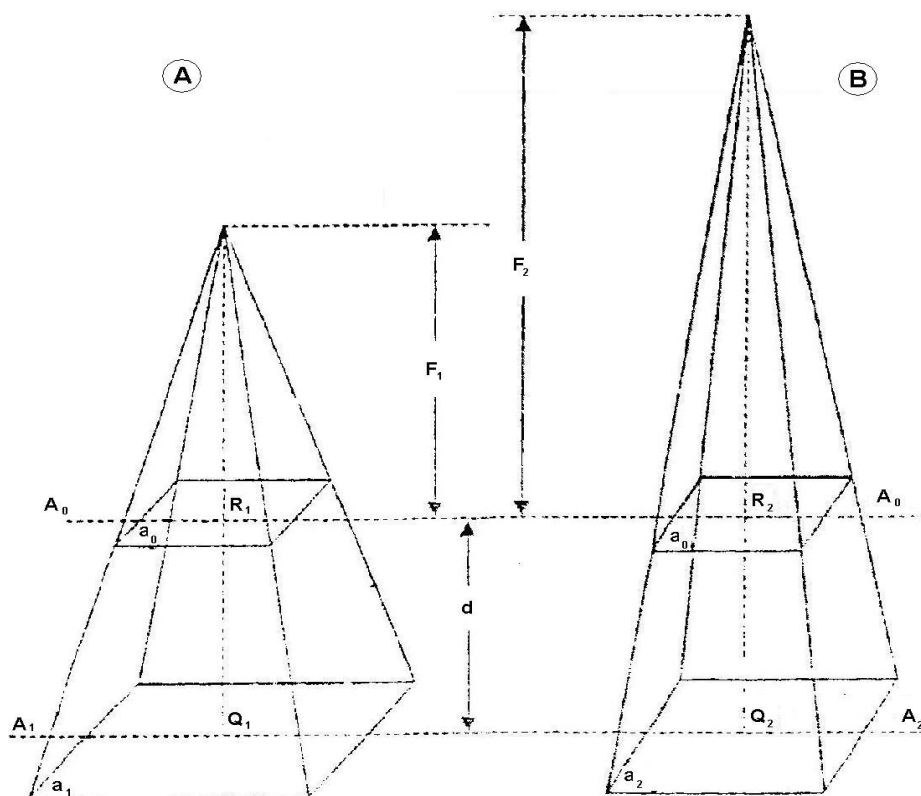


Figura 10: Ilustração da variação de PDP com a mudança de DFS. [6]

Para feixes de mais penetrantes, a absorção será menor e a PDP será elevada. [6]

2.3.2 Dosimetria e Rendimento

A dosimetria é a análise dos parâmetros físicos do feixe de radiação, afim de que se garanta que a dose prescrita pelo médico seja realmente aplicada ao paciente. A dose emitida pelo aparelho, assim como a dose absorvida pelo paciente, varia conforme as diversas opções existentes (distância fonte-pele, tamanho de campo, filtros, etc.). Utilizando uma câmara de ionização, são realizadas leituras para diversas condições e através dessas leituras, com as devidas correções (temperatura, pressão, calibração da câmara, etc.), chega-se ao valor de rendimento. [9]

O rendimento é a dose (cGy) que o aparelho fornece e que é absorvida pelo paciente num determinado tempo (no caso, para cada minuto) em várias condições. Sabendo-se o valor do rendimento e as condições de planejamento, pode-se determinar qual o tempo necessário de exposição para que seja aplicada uma dose desejada. [9]

2.4 Dermopan 2

O Dermopan 2 é um aparelho de raios X para radioterapia superficial fabricado pela Siemens. Sua tensão é de até 50kV e corrente de 25mA. A figura 11 mostra o aparelho e as indicações de seus principais componentes.

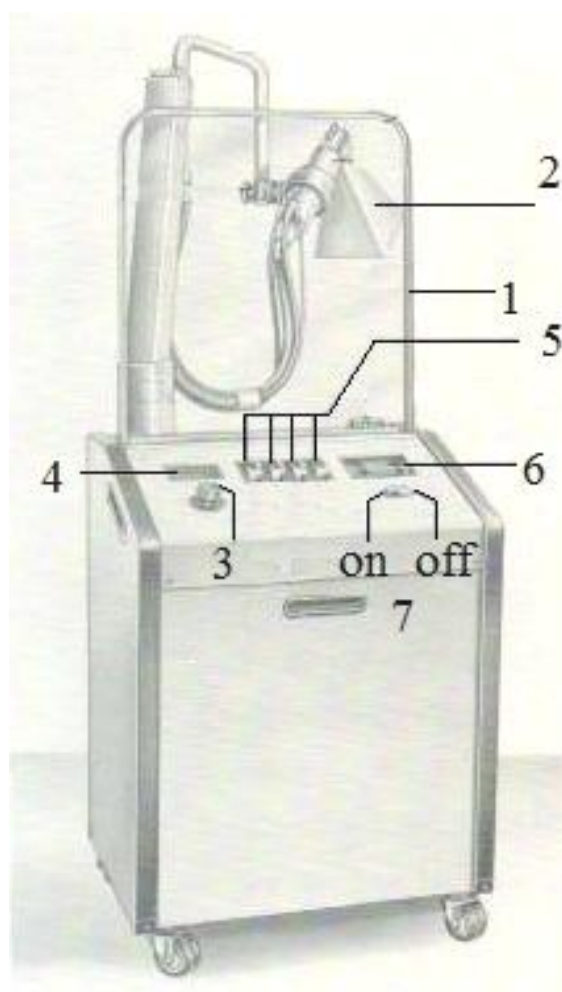


Figura 11: Aparelho Dermopan 2 e seus componentes.

Na figura 11:

- | | |
|---|--|
| 1 – Cristal Plumbífero | 2 – Localizador |
| 3 – Ajuste de mA | 4 – Voltímetro para leitura de mA |
| 5 – Campos indicadores de escala de tensão (kV) | 6 – Relógio para ajuste de tempo de irradiação |
| 7 – Liga (on) e Desliga (off) | |

As quatro escalas de tensão, com seus filtros correspondentes, são: 10kV (sem filtro), 29kV (0,3mm Al), 43kV (0,6mm Al) e 50kV (1,0mm Al). A figura 12 mostra em destaque o console do aparelho, onde se seleciona a escala de tensão e o tempo de exposição.

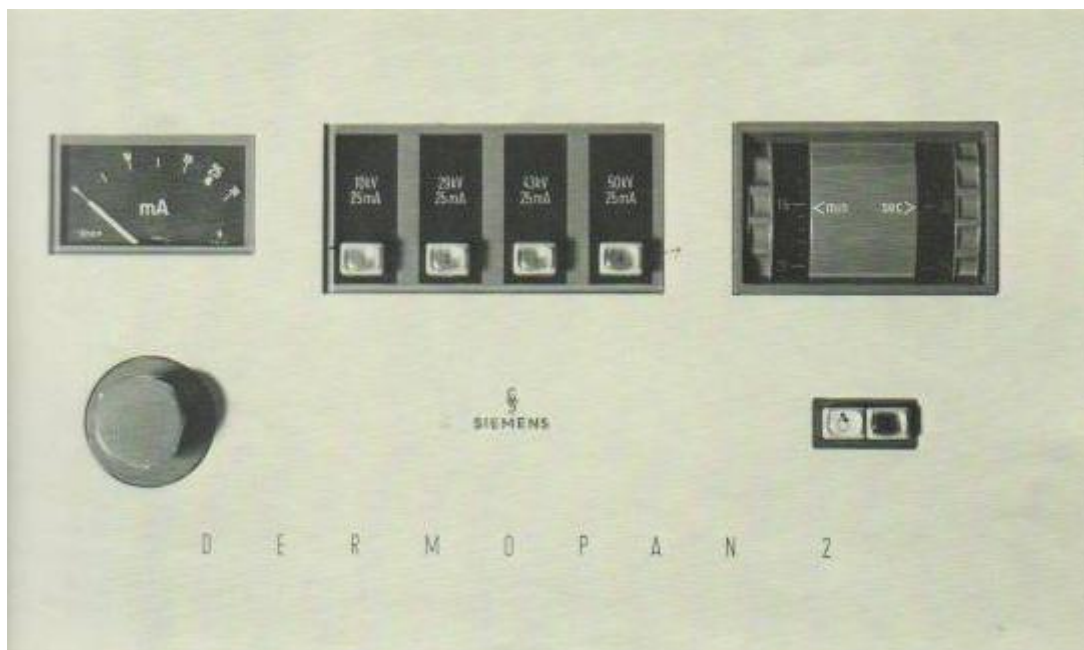


Figura 12: Console do aparelho Dermopan 2.

O aparelho conta ainda com acessórios de irradiação (localizadores). A figura 13 mostra os diversos localizadores do Dermopan 2. A utilização variada desses localizadores é importante, pois possibilita a irradiação de diferentes tipos de campos a diversas distâncias foco-superfície.



Figura 13: Localizadores para o aparelho Dermopan 2.

As curvas de Porcentagem de Dose Profunda (PDP) do aparelho para localizador de campo grande, DFS de 30,0cm, são apresentadas na figura 14. A PDP para cada opção de tensão é diferente, sendo as maiores tensões as mais penetrantes. A curva de 50kV atinge maior profundidade de tecido devido à filtração adicional, que “endurece” o feixe.

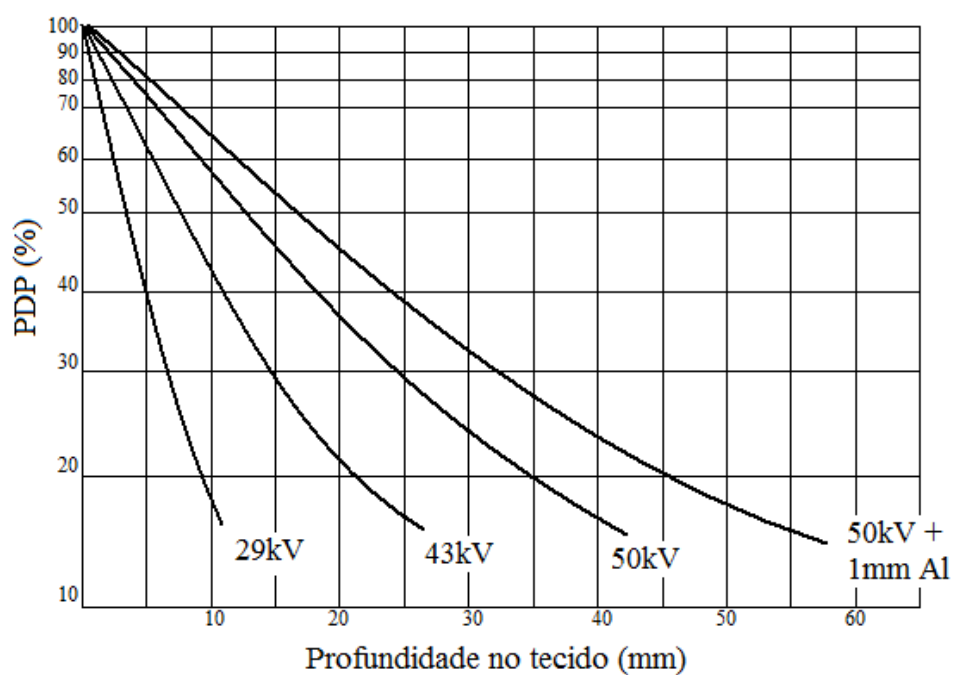


Figura 14: Curva de PDP do Dermopan 2.

Como o aparelho Dermopan 2 é utilizado para radioterapia superficial, observa-se que a dose é absorvida em pouca profundidade, concentrando a dose próximo a superfície. Mesmo para a curva de 50kV com filtro adicional de 1mm de Al, a curva mais penetrante, de acordo com a figura 14, em 45mm a PDP é de apenas 20%.

3. Objetivos

Desenvolver uma metodologia computacional para cálculo de tempo de exposição para radioterapia em medicina veterinária, padronizando os tratamentos e considerando as variáveis físicas de cada caso.

4. Justificativas

O cálculo de tempo de exposição em medicina veterinária no Hospital Veterinário da UNESP de Araçatuba não é realizado em todos os casos, sendo os valores utilizados estimados pelo médico veterinário, baseados em valores testados em outros casos. Com o desenvolvimento de uma planilha de cálculo, o tempo de exposição de cada caso considerará cada variável e o tratamento tornar-se-á mais eficiente e com menores danos ao animal. Além de tornar o tratamento mais eficaz, o uso da planilha permite manipulação do próprio médico veterinário, sem necessidade de um físico presente no planejamento.

5. Materiais e Métodos

Foram utilizadas as tabela de dosimetria, que apresenta os valores de rendimento do aparelho para cada localizador (tamanho do campo).

Tabela 02: Valores de rendimento para o localizador cone de vidro.

Cone de Vidro			
Filtro	kVp	Diâmetro	Rendimento
1mm Al	50	4cm	397,96 cGy/min
1mm Al	50	3cm	387,11 cGy/min
1mm Al	50	2cm	376,25 cGy/min
1mm Al	50	1cm	367,21 cGy/min
2mm Al	50	4cm	188,29 cGy/min
2mm Al	50	3cm	183,25 cGy/min
2mm Al	50	2cm	174,84 cGy/min
2mm Al	50	1cm	181,36 cGy/min
1mm Al	43	4cm	448,25 cGy/min
1mm Al	43	3cm	444,06 cGy/min
1mm Al	43	2cm	431,44 cGy/min
1mm Al	43	1cm	423,11 cGy/min
1mm Al	29	4cm	444,57 cGy/min
1mm Al	29	3cm	436,10 cGy/min
1mm Al	29	2cm	429,75 cGy/min
1mm Al	29	1cm	425,52 cGy/min

Tabela 03: Valores de rendimento para o localizador piramidal.

Piramidal		
Filtro	kVp	Rendimento
1mm Al	50	331,48 cGy/min
1mm Al	43	350,57 cGy/min
1mm Al	29	371,40 cGy/min

Tabela 04: Valores de rendimento para o localizador cônico.

Cônico		
Filtro	kVp	Rendimento
1mm Al	50	101,66 cGy/min
1mm Al	43	108,07 cGy/min
1mm Al	29	111,02 cGy/min

Tabela 05: Valores de rendimento para o localizador cone de metal.

Cone de Metal			
Filtro	kVp	Diâmetro	Rendimento
1mm Al	50	4cm	1220,74 cGy/min
1mm Al	50	3cm	1187,45 cGy/min
1mm Al	50	2cm	1154,16 cGy/min
1mm Al	50	1cm	1126,41 cGy/min
0,6mm Al	43	4cm	1324,08 cGy/min
0,6mm Al	43	3cm	1311,70 cGy/min
0,6mm Al	43	2cm	1274,58 cGy/min
0,6mm Al	43	1cm	1249,85 cGy/min
0,3mm Al	29	4cm	1370,52 cGy/min
0,3mm Al	29	3cm	1344,42 cGy/min
0,3mm Al	29	2cm	1324,42 cGy/min
0,3mm Al	29	1cm	1311,79 cGy/min

O aparelho utilizado é o de Dermopan 2, da Siemens, utilizado para radioterapia superficial com raios X, do Hospital Veterinário de Araçatuba. Neste tipo de aparelho o rendimento não deve variar consideravelmente com os anos, já que a radiação não é emitida por uma fonte radioativa que decai com o tempo. Devido a isso, os dados de dosimetria não precisam ser revistos com frequência e, portanto, podem-se utilizar os dados antigos nesse trabalho, e se realizada uma nova dosimetria, deve-se somente atualizar os dados divergentes.

No Excel, a tabela foi digitalizada numa planilha adjacente e foi desenvolvida uma planilha principal para cálculo de tempo de exposição. Utilizou-se as funções SE e PROCH. A função SE verifica se uma condição foi satisfeita e retorna um valor se for VERDADEIRO e outro valor se for FALSO. A função PROCH pesquisa um valor na linha superior de uma tabela ou matriz de valores e retorna o valor na mesma coluna a partir de uma linha especificada.

As fórmulas utilizadas para os cálculos foram:

Para encontrar o rendimento e o tempo de exposição para o localizador

cone de vidro (CV), cone de metal (CM), piramidal (P) e cônico (C), respectivamente.

=SE(C19="CV";SE(C22=1;PROCH(C21;Dosimetria!B8:E12;C20+1;FALSO);SE(C22=2;PROCH(C20;Dosimetria!B17:F18;C21-48;FALSO))));"-----")

=SE(C19="CV";C15/C30;"-----")

=SE(C19="CM";PROCH(C21;Dosimetria!M9:P13;C20+1;FALSO);"-----")

=SE(C19="CM";C15/C34;"-----")

=SE(C19="P";PROCH(C21;Dosimetria!H8:K9;2;FALSO);"-----")

=SE(C19="P";C15/C38;"-----")

=SE(C19="C";PROCH(C21;Dosimetria!H16:K17;2;FALSO);"-----")

=SE(C19="C";C15/C42;"-----")

A figura 15 mostra a planilha principal do sistema de cálculo de tempo de exposição para o aparelho citado.

A45 fx

A	B	C	D																
1	HOSPITAL VETERINÁRIO Unesp - Araçatuba CLÍNICA CIRÚRGICA DE PEQUENOS ANIMAIS FICHA TÉCNICA DE RADIOTERAPIA																		
2																			
3																			
4																			
5																			
6																			
7	Nome:	Peso:	Data:																
8	Espécie:	Raça:	Sexo: Idade:																
9	Proprietário:																		
10	Endereço:		Telefone:																
11																			
12	Médico Veterinário:																		
13																			
14																			
15	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 50%;">Dose total (cGy)</td><td></td></tr> <tr><td>Dose por aplicação (cGy)</td><td></td></tr> <tr><td>Nº Aplicações</td><td></td></tr> <tr><td>DFP (cm)</td><td></td></tr> <tr><td>Localizador</td><td>*CV, CM, P ou C</td></tr> <tr><td>Diâmetro (cm)</td><td>*Para os cones: 4, 3, 2 ou 1</td></tr> <tr><td>kVp</td><td>*50, 43 ou 29</td></tr> <tr><td>Filtro (mm Al)</td><td>*Para CV, 1 ou 2</td></tr> </table>			Dose total (cGy)		Dose por aplicação (cGy)		Nº Aplicações		DFP (cm)		Localizador	*CV, CM, P ou C	Diâmetro (cm)	*Para os cones: 4, 3, 2 ou 1	kVp	*50, 43 ou 29	Filtro (mm Al)	*Para CV, 1 ou 2
Dose total (cGy)																			
Dose por aplicação (cGy)																			
Nº Aplicações																			
DFP (cm)																			
Localizador	*CV, CM, P ou C																		
Diâmetro (cm)	*Para os cones: 4, 3, 2 ou 1																		
kVp	*50, 43 ou 29																		
Filtro (mm Al)	*Para CV, 1 ou 2																		
16																			
17																			
18																			
19																			
20																			
21																			
22																			
23																			
24																			
25																			
26																			
27																			
28																			
29																			
30																			
31																			
32																			
33																			
34																			
35																			
36																			
37																			
38																			
39																			
40																			
41																			
42																			
43																			
44																			

Localizadores

- CV = Cone de Vidro
- CM = Cone de Metal
- P = Piramidal
- C = Cônico

Para CV

Rendimento (cGy/min)	
Tempo de exposição (min)	

Para CM

Rendimento (cGy/min)	
Tempo de exposição (min)	

Para P

Rendimento (cGy/min)	
Tempo de exposição (min)	

Para C

Rendimento (cGy/min)	
Tempo de exposição (min)	

Para os outros localizadores os filtros são fixos

Cálculo Dosimetria

Pronto

Figura 15: Ilustração da planilha principal do sistema de cálculo.

Os dados do caso devem ser digitados nas células indicadas, para que com eles o sistema busque o valor de rendimento corresponde e calcule qual o tempo de exposição necessária para que a dose desejada seja aplicada ao animal. A disposição da planilha é tal para que seja utilizada como ficha técnica do serviço, podendo ser impressa e anexada à ficha do animal (paciente). A figura 16 indica um exemplo de cálculo.

	A	B	C	D
13				
14				
15		Dose total (cGy)	850	
16		Dose por aplicação (cGy)	850	
17		Nº Aplicações	1	
18		DFP (cm)	15	
19		Localizador	CV	*CV, CM, P ou C
20		Diâmetro (cm)	3	*Para os cones: 4, 3, 2 ou 1
21		kVp	50	*50, 43 ou 29
22		Filtro (mm Al)	2	*Para CV, 1 ou 2
23				- Para os outros localizadores os filtros são fixos
24				
25				
26		Localizadores		
27				
28				
29			Para CV	
30		Rendimento (cGy/min)	183,25	
31		Tempo de exposição (min)	4,64	
32				
33			Para CM	
34		Rendimento (cGy/min)	-----	
35		Tempo de exposição (min)	-----	
36				
37			Para P	
38		Rendimento (cGy/min)	-----	
39		Tempo de exposição (min)	-----	
40				
41			Para C	
42		Rendimento (cGy/min)	-----	
43		Tempo de exposição (min)	-----	
44				

CV = Cone de Vidro
 CM = Cone de Metal
 P = Piramidal
 C = Cônico

Cálculo Dosimetria

Pronto

Figura 16: Exemplo de cálculo utilizando o sistema.

A dose escolhida pelo médico veterinário é digitada, assim como os dados de planejamento (localizador, diâmetro caso seja utilizado os cones, kVp e filtro). Para o localizador cone de vidro há opção de utilização de 1mm Al ou 2 mm Al. Para os outros localizadores os filtros utilizado são sempre os mesmos: 1mm Al para piramidal e cônico; 0,3mm Al para cone de metal e 29kVp; 0,6mm Al para cone de metal e 43kVp e 1mm Al para cone de metal e 50kVp.

Com esses dados o sistema busca o rendimento nas tabelas da planilha adjacente e calcula o tempo de exposição, mostrados nas janelas abaixo dos dados, de acordo com o localizador.

6. Resultados e Discussão

A tabela 06 indica dados de casos de radioterapia com feixes de raios-X em animais realizados no Hospital Veterinário da Unesp de Araçatuba, no aparelho Dermopan 2, sem a utilização da planilha.

Tabela 06: Dados de casos de radioterapia veterinária no Dermopan 2.

Caso	Dose (cGy)	Localiz.	Filtro (mm Al)	Diâmetro	kVp	Rendimento (cGy/min)	Tempo (min)
1	3000	P	1	-	50	300	10
2	850	CV	2	3	50	170	5
3	510	CV	2	3	50	170	3
4	-	CV	2	3	50	-	5
5	-	CV	2	3	50	-	3
6	-	CV	2	3	50	-	2
7	-	CV	2	4	50	-	9
8	-	CV	1	3	50	-	1

Onde: Localiz. = Localizador.

Os casos de 4 a 8 não apresentam dados de dose e rendimento, pois a escolha do tempo de exposição foi feita de maneira intuitiva, sem considerar

os cálculos e os parâmetros físicos, baseados na experiência de casos semelhantes tratados anteriormente.

A tabela 07, mostra os casos de 1 a 3, que contém os dados de cálculo, em comparação ao cálculo realizado pelo planilha.

Tabela 07: Comparação entre cálculo manual e cálculo pela planilha.

Caso	Rend.Man. (cGy/min)	Rend.Plan. (cGy/min)	Erro (%)	Tempo Man.(min)	Tempo Plan.(min)	Erro (%)
1	300,00	331,48	9,5	10,0	9,1	9,9
2	170,00	183,25	7,2	5,0	4,7	6,4
3	170,00	183,25	7,2	3,0	2,8	7,1

Onde: Rend.Man. = Rendimento Manual (encontrado sem o sistema)

Rend.Plan. = Rendimento pela Planilha

Tempo Man.= Tempo Manual (encontrado sem o sistema)

Tempo Plan. = Tempo pela Planilha

Com os dados obtidos na tabela 07 notamos erros de até 10% na dose de incidência sobre a região tratada, o que destaca a importância da aplicação de um sistema de cálculo de dose no serviço.

A tabela 08, mostra a dose estimada dos casos 4 a 8. Como o tratamento foi realizado por uma escolha intuitiva do tempo, sem base de cálculo, foi estimada a dose a partir do rendimento de cada caso, encontrado pela planilha, e o tempo escolhido pelo veterinário.

Tabela 08: Dose estimada a partir do rendimento e tempo de exposição.

Caso	Rendimento calculado	Tempo	Dose estimada*
4	183,25 cGy/min	5 min	916,25 cGy
5	183,25 cGy/min	3 min	549,75 cGy
6	183,25 cGy/min	2 min	366,5 cGy
7	188,29 cGy/min	9 min	1694,61 cGy
8	387,11 cGy/min	1 min	387,11 cGy

*Estimada pelo tempo de tratamento $\rightarrow Dose = tempo . Rendimento$

Analisando as tabelas apresentadas, notamos que não existe um padrão entre os tratamentos realizados, e também que não há uma real preocupação com a dose aplicada, tendo em vista o caráter intuitivo dos parâmetros do tratamento, uma vez que, como pudemos ilustrar, nos casos 4 a 8 da tabela 06, o parâmetro usado para a terapêutica utilizada é o tempo de exposição e não a dose.

Portanto, é necessário aplicar uma nova sistemática para radioterapia em veterinária, onde existam rotinas de planejamento mais elaboradas. Deve ser adotado um protocolo padrão para a escolha da dose no tratamento de cada patologia. A implementação de um sistema de cálculo que considere todos os parâmetros físicos, como o apresentado nesse trabalho, também se faz necessária, pois otimiza o planejamento.

7. Conclusão

O sistema de cálculo de tempo de exposição desenvolvido neste trabalho mostrou-se eficaz e confiável. A simplicidade da metodologia permite ao próprio veterinário determinar o tempo de exposição considerando todas as variáveis físicas de cada caso, com agilidade e rapidez, devido à utilização da ferramenta Excel da Microsoft que é acessível, comum em micro-computadores, e proporciona a fácil manipulação do sistema, além de apresentar algoritmos de programação otimizada, possibilitando atualizações de dados com facilidade.

Assim como em radioterapia humana, é imprescindível a atuação do físico médico nos procedimentos de radioterapia em medicina veterinária. Os cálculos dosimétricos e estudos geométricos dos feixes e campos de radiação exigem a participação de um profissional com conhecimento em radiação, visando a otimização dos tratamentos e a constante redução da exposição das pessoas envolvidas. Embora ainda não haja legislação específica das autoridades da vigilância sanitária quanto ao uso de radiação nas práticas veterinárias, nem normativas da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), a perspectiva é de que a radioterapia em animais possa ser mais utilizada no Brasil, surgindo como um novo campo de atuação do físico médico, trazendo avanços e benefícios na cancerologia veterinária.

8. Referências Bibliográficas

- [1] SALVAJOLI, J. V.; SOUHAMI, L.; FARIA, S. L. **Radioterapia em oncologia**. Rio de Janeiro: MEDSI Editora Medica e Científica LTDA, 1999. 1243p.
- [2] 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, Março de 2007.
- [3] http://www.sbradioterapia.com.br/site/internas/associados/banco_aulas.aspx, acessado em Maio de 2009.
- [4] BURK, R. L. ; KING, G. K. **The Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice**. Philadelphia, Pennsylvania: W. B. Saunders Company, 1997. 171p.
- [5] <http://www.webanimal.com.br>, acessado em 17/09/2009.
- [6] SCAFF, L. A. M. **Física da Radioterapia**. São Paulo: Sarvier, 1997. 351p.
- [7] 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”**. São Paulo, 2009.
- [8] AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA ATÔMICA (IAEA). **Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students**. E.B.Podgorsak – Technical Editor. Vienna. 2005.
- [9] AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA ATÔMICA (IAEA). **TRS 398 – Absorbed dose determination in external beam radiotherapy – An international code of practice for dosimetry based on standards of absorbed dose to water** . Vienna, 2000.