



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"



SUELEN SIMÕES COSTA

ANÁLISE DO ÍNDICE DE TRANSMISSÃO DA RADIAÇÃO DA SALA DO ACELERADOR
LINEAR DO HOSPITAL DAS CLÍNICAS DA FACULDADE DE MEDICINA DE BOTUCATU E
MAPEAMENTO COM DOSÍMETRO TLD

BOTUCATU – SP

2017

SUELEN SIMÕES COSTA

ANÁLISE DO ÍNDICE DE TRANSMISSÃO DA RADIAÇÃO DA SALA DO
ACELERADOR LINEAR DO HOSPITAL DAS CLÍNICAS DA FACULDADE DE
MEDICINA DE BOTUCATU E MAPEAMENTO COM DOSÍMETRO TLD

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Instituto de Biociências da Unesp, Câmpus de
Botucatu, como requisito necessário para a
conclusão do curso de graduação em Física
Médica.

Professor orientador: Prof. Dr. Roberto Morato
Fernandez.

BOTUCATU – SP

2017

Agradecimentos

Primeiramente a **Deus** que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitária, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer. Seu fôlego de vida em mim, me foi sustento e me deu coragem para questionar realidades, e propor sempre um novo mundo de possibilidades.

Agradeço a minha mãe, **Cláudia**, que superou todos os obstáculos que houve em nossas vidas, que nunca desistiu, que lutou mais que qualquer um para que eu me tornasse alguém na vida, que ultrapassou barreiras e lutou contra obstáculos psicológicos e financeiros, que além de me ensinar tudo na vida, fez de mim quem eu sou. Você é minha vida, nunca terei como agradecer tudo isso.

Agradeço ao **Victor**, que desde o início da faculdade, enfrentou ao meu lado toda dificuldade imaginável e inimaginável que uma faculdade pode nos dar, que deixou muita coisa por mim, mas que também conquistou o dobro. Agradeço por sermos um casal diferente, agradeço por sabermos o verdadeiro significado da palavra companheirismo, agradeço por termos nos tornado melhor juntos; tudo acontece porque tem que acontecer, passamos pelo que passamos para hoje sermos quem somos. Eterno jovem casal.

Agradeço ao meu **avô Carlos**, por sempre saber o que dizer, por passar tudo o que passou e ainda assim conseguir sorrir comigo, tenho a maior admiração do mundo por você. Será sempre a luz em meu caminho, a morte não é nada. Para você meu avô, meu aplauso!

A minha **avó Celina**, que é a maior demonstração de sabedoria e fé, agradeço imensamente por me ensinar que a paciência e a coragem são a base para superar qualquer problema e alcançar nosso objetivo, você é um exemplo sim que a vida vale a pena ser vivida com amor e fé em Deus.

Ao meu tio **Gede**, uma pessoa de alma pura e coração de ouro, que esteve ao meu lado quando eu mais precisei, que sempre me apoiou, e comemorou comigo cada conquista realizada, a você tio, meu carinho eterno.

Ao **Márcio**, que me ensinou o que é a verdadeira superação de vida, que se preocupa comigo

e me protege, uma pessoa que me mostrou o significado verdadeiro da palavra família, agradeço por me mostrar a felicidade nas pequenas coisas da vida.

Agradeço ao professor **Paulo Mancera**, que me tornou uma aluna melhor, pois na faculdade, uma das maiores dificuldades é aprender a estudar, e eu consegui aprender quando cursei Cálculo II e Física Matemática com você, professor; agradeço imensamente por ser o melhor professor.

Agradeço ao **César**, que se responsabilizou em me ensinar, pelo estímulo a mim confiado e pela valiosa cooperação que me foi direcionada.

Agradeço ao **Vander** pelo equilíbrio que direcionou ao projeto e interesse em nos ajudar.

Agradeço ao professor **Roberto Morato** por ter me apoiado durante o projeto, pelas conversas e pelo suporte em todo meu trajeto na faculdade.

Agradeço ao professor **Marco Antonio**, por seus ensinamentos, paciência e confiança ao longo das supervisões de minhas atividades na faculdade. É um prazer tê-lo em minha banca examinadora.

Agradeço a a professora **Daniela Cantane**, pelo convívio, pelo apoio, pela compreensão e pela amizade. É um prazer tê-la em minha banca examinadora.

Agradeço a todos meus **bichinhos**, que estiveram comigo em absolutamente todos os momentos: “Um cachorro não se importa com o valor do seu salário, não liga pra sua roupa, não tira extrato bancário, não sabe o que é dinheiro, viagens pro estrangeiro, nem quer morar em mansão, ele só quer seu carinho e quem sabe um cantinho dentro do seu coração, o amor tem quatro letras e por certo quatro patas, não diferencia ouro, ou um pedaço de lata, não fala, não sabe ler, mas diz tudo pra você, com o poder de um olhar tão puro e tão leal, tem o dom especial de sempre nos perdoar, eu nunca vou entender a tamanha pretensão, de um homem que se diz, mais sabido que um cão, na nossa sociedade, enfeitada de vaidade, e sentimentos banais, pro homem poder crescer, teria que renascer, igualzinho aos animais.”

RESUMO

Quando um setor de radioterapia é construído, deve-se seguir as normas estabelecidas pela CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear). Dentre essas normas está o Cálculo de Blindagem que deve ser feito antecedente à construção, a fim de calcular as espessuras necessárias das paredes, para realizar os tratamento com determinada carga de trabalho. No entanto, as condições de trabalho mudam, o serviço pode acabar elevando ou abaixando o número de pacientes atendidos, assim como mudanças em áreas de risco que circundam o setor de radioterapia. Analisando esses fatores, o objetivo do estudo foi verificar se as condições de construção do setor ainda estão adequadas para o contexto atual de atendimentos da região. Para isso, foi realizado o levantamento radiométrico do setor, que nos dá a informação da quantidade de dose que está passando pelas barreiras. Esses valores são comparados com a norma da CNEN e verificados se estão ou não dentro do limite permitido. Este estudo conclui que o levantamento radiométrico não só ficou abaixo do limite permitido, como suportaria uma carga de trabalho mais alta, caso houvesse necessidade.

Palavras-chave: Radioterapia, Levantamento Radiométrico, Dosímetro TLD.

Sumário

1. Introdução.....	6
1.1 Construção de um serviço de radioterapia.....	6
1.2 Levantamento radiométrico.....	6
1.3 Detectores.....	8
2. Objetivo.....	10
3. Metodologia.....	11
3.1 Carga de Trabalho – W.....	11
3.2 Fator Uso – U.....	11
3.3 Fator Ocupação – T.....	14
3.4 Levantamento Radiométrico.....	15
3.5 Mapeamento com dosímetro TLD.....	19
4. Resultados.....	21
5. Discussão.....	23
6. Conclusão.....	24
7. Referências.....	25

1. Introdução

1.1 Construção de um serviço de radioterapia

Para realizar a construção de um serviço de radioterapia, primeiramente é realizado o RPAS (relatório preliminar de análise e segurança) que contém o cálculo de blindagem do setor, considerando as condições (carga de trabalho, fator uso, fator ocupação) de um serviço padrão e encaminhado para a CNEN que após análise caso ocorra aprovação, é autorizado a construção do serviço e posteriormente a importação do aparelho de radioterapia. Com o aparelho instalado é realizado o teste de aceitação (alinhamento do feixe, garantia dos padrões de qualidade, etc.), e também é realizado o teste de comissionamento com o fantoma 3-D. As tabelas de auxílio ao serviço são construídas e é enviada a solicitação para operação à CNEN. O RFAS (relatório final de análise e segurança) é finalizado e a CNEN visita o serviço a fim de realizar o levantamento radiométrico para autorização de funcionamento do local. O serviço então está apto para funcionar.

1.2 Levantamento radiométrico

As medidas de proteção radiológica são necessárias devido aos seus efeitos biológicos da radiação. Quando um componente celular é danificado por qualquer agente externo (dentre os quais, está inclusa a radiação) uma quantidade grande de efeitos indesejáveis pode ocorrer. E estes efeitos podem atingir várias células, uma vez que estas se reproduzem por mitose. O tipo de dano, por sua vez, é dependente da radiação a qual a célula foi exposta. A interação entre a radiação e sistemas biológicos leva a mudanças que podem ser maléficas (como o caso mais grave, morte celular ou mesmo o câncer) ou benéficas (o tratamento do câncer com radioterapia) [1].

Assim, é importante realizar um levantamento radiométrico na sala do setor de radioterapia, (local onde há a exposição proposital à radiação), com a finalidade de verificar o quanto de radiação está passando pelas barreiras construídas e analisando se está de acordo com o limite de tolerância para radiações ionizantes estabelecido pela CNEN.

O levantamento radiométrico deve ser realizado com o uso de medidores de radiação específicos. No caso da radioterapia, onde as energias são muito altas e toda a radiação é originada de uma mesma fonte, usamos o Geiger Müller. Outro medidor muito utilizado em serviços que contenham radiações de menores energias e de diversas fontes é a câmara de ionização.

Após a construção de um serviço de radioterapia, o levantamento radiométrico é realizado a fim de confirmar todas as condições propostas pelo RPAS que contém o cálculo de blindagem, que leva em consideração a carga de trabalho (W), fator uso (U) e fator ocupação (T) do setor.

A CNEN determina que o limite de dose equivalente para indivíduos ocupacionalmente expostos (trabalhadores do setor) é de $4 \times 10^{-4} \text{ Sv/semana}$ e para indivíduos do público é de $2 \times 10^{-5} \text{ Sv/semana}$. Entretanto, para o cálculo de blindagem do serviço de radioterapia de Botucatu, foi considerado somente o valor de dose para indivíduos do público.

A leitura registrada pelo Geiger é dada em mR/h (exposição). Para obter a medida em mSv/semana (dose equivalente) é necessário multiplicar a exposição por um fator de conversão, além dos parâmetros W, U e T acima mencionados, conforme mostrada na equação 1.

$$\begin{array}{ccc} \text{mR/h} & \xrightarrow{\quad} & \text{mSv/semana} \\ & \searrow & \\ & & \frac{\text{leitura (mR/h)} * W}{100} * U * T \end{array} \quad (1)$$

onde:

a) Carga de Trabalho – W

Carga de trabalho é a quantidade de radiação produzida por uma máquina de tratamento em um determinado intervalo de tempo a uma dada distância. A carga de trabalho é dividida em Clínica (W_c) e Física (W_f), onde W_c corresponde a carga de trabalho usada em tratamentos e W_f a manutenção e irradiações de dosimetria [2].

b) Fator Uso – U

Fator Uso é uma grandeza adimensional relacionada à quantidade e direção que o feixe útil é condicionado em um serviço de radioterapia; é um fator que leva em consideração o tempo que este feixe se posiciona em uma direção, ou ângulo em particular [2].

c) Fator Ocupação – T

Fator Ocupacional é uma grandeza adimensional relacionada a ocupação do público em áreas adjacentes ao setor de radioterapia; é um fator que leva em consideração o tempo em

que cada área vizinha ao setor é ocupada, sem relacionar o número de indivíduos presentes [2].

1.3 Detectores

Existem vários tipos de detectores de radiação ionizante que se diferenciam pelo modo como detectam a radiação e como são realizadas suas leituras. A figura 1 esquematiza os diferentes tipos de detectores usados em radiação.

Neste trabalho, utilizamos o detector elétrico a gás Geiger Müller por medir a exposição de forma imediata, uma vez que sabemos qual a energia e o tipo de radiação. Para realizar o mapeamento da sala do setor de radioterapia, foi utilizado o dosímetro termoluminescente (TLD), pois o objetivo era verificar a leitura em um local durante um intervalo de tempo.

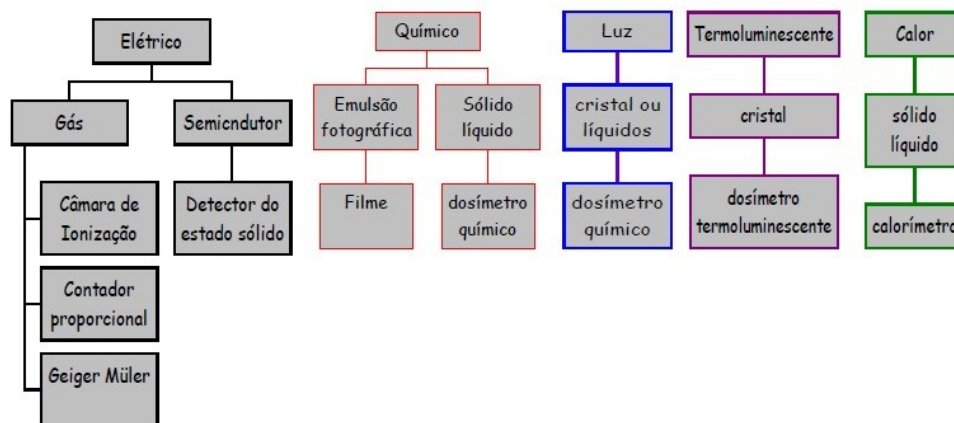


Figura 1: Esquema mostrando os diferentes dos tipos de detectores usados em radiação.

Geiger Müller

O Geiger Müller pertence ao grupo de detectores elétricos, que mede a corrente iônica produzida pela passagem de radiação por um determinado volume de um gás. Este gás está contido em um cilindro contendo dois eletrodos, que são submetidos a uma diferença de potencial entre eles. Esses eletrodos possuem a forma de placas paralelas ou fios cilíndricos concêntricos. Em circunstâncias normais, o gás é isolante e não há qualquer corrente passando através dos eletrodos; no entanto, quando a radiação atravessa o gás, causa ionização. [3] Este tipo de detector não diferencia o tipo de radiação emitida ou energia. Em nosso estudo,

estamos interessados em detectar a exposição que ocorre no momento da incidência do feixe, uma vez que conhecemos o tipo de radiação e energia.

A Figura 2 ilustra o detector Geiger Müller utilizado para realizar as medidas de exposição no setor de radioterapia do HC da Unesp de Botucatu.



Figura 2: Geiger Müller utilizado na realização do levantamento radiométrico do setor de radioterapia do HC da Unesp de Botucatu.

Dosímetro Termoluminescente – TLD

Na figura 3 é apresentado o dosímetro termoluminescente. Essa capacidade de termoluminescência é explicada pelo modelo de bandas. Os TLD's são, em geral, cristais iônicos, que possui uma banda de valência com inúmeros elétrons e uma banda de condução vazia, separadas por uma banda proibida. Quando o cristal é exposto à radiação, há um movimento de elétrons para a banda de condução, ficando aprisionados nesta banda e uma produção de lacunas na banda de valência. A partir de um processo térmico (aumento de temperatura) no cristal, fótons são liberados e coletados por uma fotomultiplicadora e essa quantidade liberada será proporcional a população original de cargas.

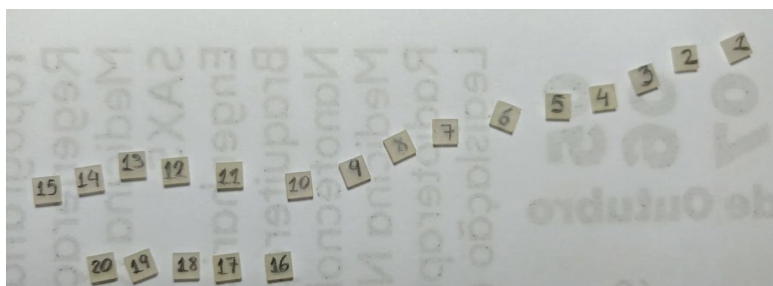


Figura 3: Dosímetros termoluminescentes utilizados para o mapeamento do setor de radioterapia do HC da Unesp de Botucatu.

2. Objetivo

Analisar o índice de transmissão da radiação da sala do acelerador linear do setor de radioterapia do Hospital das Clínicas de Botucatu usando o Geiger Müller a fim de verificar se as barreiras construídas estão aptas para o funcionamento no contexto atual, seguindo as normas da CNEN, e mapear o local utilizando dosímetros termoluminescentes – TLD.

3. Metodologia

Nesse estudo avaliamos o acelerador linear Varian, Clinac 2100C sem *beam stopper*, para as energias de fótons de 6 e 10 MV e energias de elétrons de 4, 6, 9, 12 e 14 MeV, com campo máximo de radiação primária de 40x40 cm² a 100 cm de distância; isocentro: 100 cm, rotação permitida: 360°; colimadores: Multileaf.

Para medidas da exposição foi usado o Geiger Müller (Victoren, modelo 290 série 2209) e para medida de dose absorvida foi usado o TLD LiF7 (fluoreto de Lítio); taxa de dose: 10 pGy a 10 Gy; Dimensões: 0,32 cm x 0,32 cm x 0,09 cm.

3.1 Carga de Trabalho – W

Na planilha de cálculos de blindagem usada para o dimensionamento e construção da sala do acelerador, elaborada no ano de 2000, estimou-se uma carga de trabalho clínica semanal de 900 Gy/semana.

Para a determinação da carga de trabalho física atual, foram analisadas as fichas de cada paciente, onde estão registradas as respectivas doses de radiação aplicadas. A análise foi realizada em 3 diferentes dias, considerando o número de pacientes tratados, a quantidade de campos de radiação e as doses liberadas por campo. A carga de trabalho clínica semanal média encontrada foi de 145 Gy/dia, considerando 5 dias por semana, tem-se uma $W_c = 725$ Gy/semana. Nestes dias de análise, a média de pacientes tratados foi de 68 pacientes.

Considerando 100 Gy/semana correspondente a carga de trabalho física (W_f), a carga de trabalho total passa a ser de 825 Gy/semana.

Fazendo uma análise comparativa apenas da carga de trabalho clínica, verifica-se que o cálculo usado para a construção das paredes da sala do acelerador linear possui uma diferença de 175 Gy/semana.

3.2 Fator Uso – U

A figura 4 ilustra o esquema de uma sala de radioterapia. O fator uso está relacionado com a incidência da radiação sobre a barreira (parede) de acordo com a posição do gantry. As barreiras primárias são as barreiras que recebem o feixe primário de radiação perpendicular a

estas, e correspondem aos ângulos indicados (ângulos ortogonais) que o gantry pode assumir. As demais paredes são chamadas de barreiras secundárias, pois recebem radiação espalhada e de fuga. Estes dois tipos de radiação atingem todas as paredes, independente da posição do gantry, e por este motivo o fator uso das barreiras secundárias tem sempre valor 1. A análise foi feita apenas considerando as barreiras primárias.

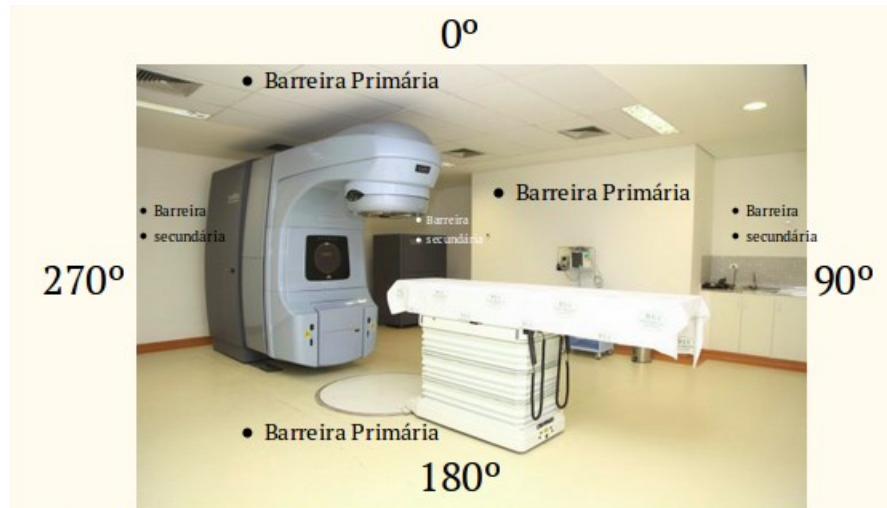


Figura 4: Demonstração das barreiras da sala de um setor de radioterapia e os ângulos do gantry.

Para a determinação do fator uso atual foram analisadas as fichas de cada paciente em 3 diferentes dias, levando em consideração a quantidade de campos em cada ângulo correspondente a cada parede. Estes ângulos foram divididos de 45° em 45° por toda a circunferência do gantry que possui uma rotação de 360°. A tabela 1 abaixo apresenta a relação entre os ângulos do gantry associada com a sua parede (barreira) correspondente.

Tabela 1: Relação entre ângulo do gantry e a parede correspondente.

Ângulo	Parede
0°	Chão
0° - 45°	Chão
45° - 90°	B
90° - 135°	B
135° - 180°	Teto
180° - 225°	Teto
225° - 270°	A
270° - 315°	A
315° - 360°	Chão

A figura 5 apresenta os possíveis ângulos que o gantry pode assumir considerando o acelerador linear no centro do círculo. Também estão indicados as paredes A, B e teto, a fim de que se tenha a exata posição do gantry com a planta do setor de radioterapia.

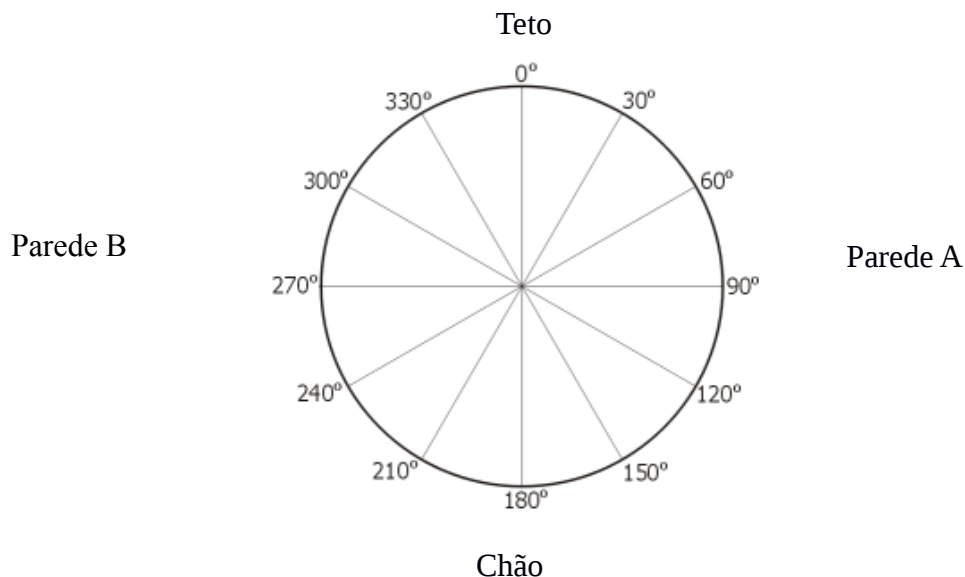


Figura 5: Representação dos possíveis ângulos assumidos pelo gantry e suas posições em relação as paredes do setor de radioterapia do HC da Unesp de Botucatu.

Observa-se na figura 6 que de 0° a 45° o gantry ainda estará apontando para o chão, mas de 45° a 135° o gantry passa a irradiar a parede B.

Após a divisão dos ângulos e sua correlação com as paredes foi contado os feixes de fótons e elétrons que foram direcionados para cada parede, através das fichas dos pacientes, e assim calcular o fator uso. A tabela 2 apresenta a quantidade de feixes usados para as 4 barreiras e o fator uso obtido.

Tabela 2: Cálculo do fator uso obtido pela contagem atual do número de feixes aplicados para cada parede.

Fator Uso – U					
	Fótons	Elétrons	Total	Total Geral	Fator Uso–U
Parede A	123	17	140	515	2/7
Parede B	114	7	121		1/7
Teto	75	0	75		1/7
Chão	102	77	179		3/7

É possível comparar o fator uso obtido com os utilizados para a construção do setor no ano de 2000 (valores obtidos da norma INCA/RJ), assim como os recomendados pela literatura geral à época, como indicado na tabela 3.

Tabela 3: Fatores de uso das principais normas no ano de 2000 [2].

Direção	NCRP- 49	INCA/RJ	Johns & Cunningham	Santa Casa IRGMVMG
Piso	1	3/7	1/2	1/2
Teto	1/4	2/7	1/10	1/5
Lateral	1/4	1/7	1/10	1/10
Angulado	-	-	-	1/20

3.3 Fator Ocupação – T

O fator ocupação não é calculado numericamente. Ao invés disso é feita uma estimativa de ocupação de cada local adjacente ao setor de radioterapia, levando em consideração a quantidade de pessoas e o tempo que elas permanecem nestas áreas adjacentes ao setor. A tabela a seguir compara o fator ocupação usado na época da construção do setor com o fator ocupação atual.

Tabela 4: Comparação entre o fator ocupação atual e o fator ocupação utilizado na construção.

Parede	Fator ocupação atual	Fator ocupação de 2000
A	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$
B	1/16	$\frac{1}{4}$
C	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$
D	1/16	1
E	1/16	$\frac{1}{4}$
F	1	1
H	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$
Porta	1/16	1/8

A tabela 5 apresenta os valores do fator ocupação recomendados na literatura.

Tabela 5: Valores de fator ocupação recomendados pela literatura.

Fator Ocupação	Ocupação
1	Total → áreas de trabalho como controle, consultórios, escritórios, etc.
$\frac{1}{4}$	Parcial → salas de espera, recuperação, etc.
$\frac{1}{16}$	Eventual → corredores, banheiros, áreas externas, etc.

3.4 Levantamento Radiométrico

Utilizando o Geiger Müller, medidas de exposição foram obtidas para alguns pontos de cada área adjacente à sala de radioterapia, conforme apresentada na figura 6. Cada um desses pontos foram medidos para todos os ângulos ortogonais (0° , 90° , 180° e 270°) mencionados (figura 4) e para todas energias de fótons disponíveis (6 MV e 10 MV). Medidas obtidas abaixo de 0,003mR/h foram consideradas como radiação de fundo (BG) e conseqüentemente os valores de dose equivalente também foram considerados com BG.

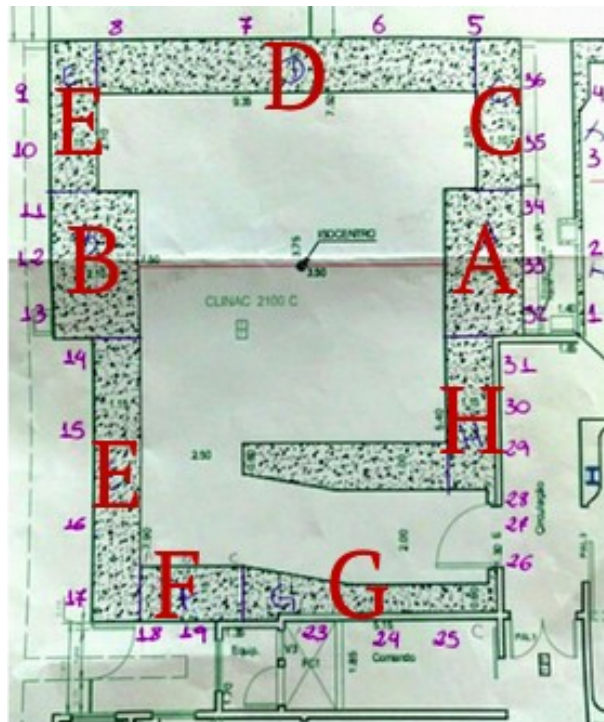


Figura 6: Planta baixa da sala de radioterapia indicando os pontos onde foi medida a exposição de radiação.

A figura 6 apresenta a planta baixa da sala de radioterapia indicando cada ponto medido nas áreas adjacentes à sala. Embora tenham sido medidas as exposições para todas as energias utilizadas nos vários tratamentos realizados, para fins de cálculo foram usados somente os valores de exposição para energia de 10 MV de fótons, com a carga horária semanal de 10 horas, conforme apresentado nas tabelas 6, 7, 8 e 9.

Tabela 6: Valores da exposição medida (mR/h), fator uso e ocupação correspondente e dose equivalente (mSv/semana) para cada área adjacente a sala de radioterapia, para energia de fóton de 10 MV – Gantry a 0°

PONTO DE MEDIDA	Leitura (mR/h)	Fator uso (U)	Fator ocupação (T)	mSv/semana
1. corredor do cobalto	BG	1	1/8	BG
2. corredor do cobalto	BG	1	1/8	BG
3. corredor do cobalto	BG	1	1/8	BG
4. corredor do cobalto	BG	1	1/8	BG
5. jardim	BG	1	1/16	BG
6. jardim	BG	1	1/16	BG
7. jardim	BG	1	1/16	BG
8. jardim	BG	1	1/16	BG
9. calçamento da rua	BG	1	1/16	BG
10. calçamento da rua	BG	1	1/16	BG
11. calçamento da rua	BG	1	1/16	BG
12. calçamento da rua	BG	1	1/16	BG
13. calçamento da rua	BG	1	1/16	BG
14. calçamento da rua	BG	1	1/16	BG
15. calçamento da rua	BG	1	1/16	BG
16. calçamento da rua	BG	1	1/16	BG
17. calçamento da rua	BG	1	1/16	BG
18. Bombas do chiller	BG	1	1/16	BG
19. Bombas do chiller	BG	1	1/16	BG
20. sala de máscaras	BG	1	1	BG
21. sala de máscaras	BG	1	1	BG
22. sala de máscaras	BG	1	1	BG
23. sala de comando	BG	1	1	BG
24. sala de comando	BG	1	1	BG
25. sala de comando	BG	1	1	BG
26. Porta	0,12	1	1/8	1,50E-03
27. porta	0,12	1	1/8	1,50E-03
28. porta	0,15	1	1/8	1,88E-03
29. corredor interno	BG	1	1/8	BG
30. corredor interno	BG	1	1/8	BG
31. corredor interno	BG	1	1/8	BG
32. corredor externo	BG	1	1/8	BG
33. corredor externo	BG	1	1/16	BG
34. corredor externo	BG	1	1/16	BG
35. corredor externo	BG	1	1/16	BG
36. corredor externo	BG	1	1/16	BG
37. casa de maquina - ar	BG	1	1/64	BG
38. casa de maquina - ar	BG	1	1/64	BG
39. casa de maquina - ar	BG	1	1/64	BG
40. caixa de água	BG	1	1/250	BG
41. telhado	0,3	1	1/250	1,20E-04

Tabela 7: Valores da exposição medida (mR/h), fator uso e ocupação correspondente e dose equivalente (mSv/semana) para cada área adjacente a sala de radioterapia, para energia de fóton de 10 MV – Gantry a 270°

PONTO DE MEDIDA	Leitura (mR/h)	Fator uso (U)	Fator ocupação (T)	mSv/semana
1. corredor do cobalto	0,18	2/ 7	1/8	6,43E-04
2. corredor do cobalto	0,4	2/ 7	1/8	BG
3. corredor do cobalto	BG	1	1/8	BG
4. corredor do cobalto	BG	1	1/8	BG
5. jardim	BG	1	1/16	BG
6. jardim	BG	1	1/16	BG
7. jardim	BG	1	1/16	BG
8. jardim	BG	1	1/16	BG
9. calçamento da rua	BG	1	1/16	BG
10. calçamento da rua	BG	1	1/16	BG
11. calçamento da rua	BG	1	1/16	BG
12. calçamento da rua	BG	1	1/16	BG
13. calçamento da rua	BG	1	1/16	BG
14. calçamento da rua	BG	1	1/16	BG
15. calçamento da rua	BG	1	1/16	BG
16. calçamento da rua	BG	1	1/16	BG
17. calçamento da rua	BG	1	1/16	BG
18. Bombas do chiller	BG	1	1/16	BG
19. Bombas do chiller	BG	1	1/16	BG
20. sala de máscaras	BG	1	1	BG
21. sala de máscaras	BG	1	1	BG
22. sala de máscaras	BG	1	1	BG
23. sala de comando	BG	1	1	BG
24. sala de comando	BG	1	1	BG
25. sala de comando	BG	1	1	BG
26. Porta	0,1	1	1/8	1,25E-03
27. porta	0,18	1	1/8	2,25E-03
28. porta	0,1	1	1/8	1,25E-03
29. corredor interno	BG	1	1/8	BG
30. corredor interno	BG	1	1/8	BG
31. corredor interno	1,4	1	1/8	1,75E-02
32. corredor externo	1,2	1	1/8	1,50E-02
33. corredor externo	0,6	1	1/16	3,75E-03
34. corredor externo	0,6	1	1/16	3,75E-03
35. corredor externo	0,6	1	1/16	3,75E-03
36. corredor externo	0,6	1	1/16	3,75E-03
37. casa de maquina - ar	BG	1	1/64	BG
38. casa de maquina - ar	BG	1	1/64	BG
39. casa de maquina - ar	BG	1	1/64	BG
40.caixa de água	BG	1	1/250	BG
41. telhado	0,1	1	1/250	4,00E-05

Tabela 8: Valores da exposição medida (mR/h), fator uso e ocupação correspondente e dose equivalente (mSv/semana) para cada área adjacente a sala de radioterapia, para energia de fóton de 10 MV – Gantry a 90°

PONTO DE MEDIDA	Leitura (mR/h)	Fator uso (U)	Fator ocupação (T)	mSv/semana
1. corredor do cobalto	BG	1	1/8	BG
2. corredor do cobalto	BG	1	1/8	BG
3. corredor do cobalto	BG	1	1/8	BG
4. corredor do cobalto	BG	1	1/8	BG
5. jardim	BG	1	1/16	BG
6. jardim	BG	1	1/16	BG
7. jardim	BG	1	1/16	BG
8. jardim	BG	1	1/16	BG
9. calçamento da rua	BG	1	1/16	BG
10. calçamento da rua	BG	1	1/16	BG
11. calçamento da rua	0,5	1/ 7	1/16	4,46E-04
12. calçamento da rua	0,5	1/ 7	1/16	4,46E-04
13. calçamento da rua	0,5	1/ 7	1/16	4,46E-04
14. calçamento da rua	1,4	1	1/16	8,75E-03
15. calçamento da rua	BG	1	1/16	BG
16. calçamento da rua	BG	1	1/16	BG
17. calçamento da rua	BG	1	1/16	BG
18. Bombas do chller	BG	1	1/16	BG
19. Bombas do chller	BG	1	1/16	BG
20. sala de máscaras	BG	1	1	BG
21. sala de máscaras	BG	1	1	BG
22. sala de máscaras	BG	1	1	BG
23. sala de comando	BG	1	1	BG
24. sala de comando	BG	1	1	BG
25. sala de comando	BG	1	1	BG
26. Porta	0,3	1	1/8	3,75E-03
27. porta	0,24	1	1/8	3,00E-03
28. porta	0,24	1	1/8	3,00E-03
29. corredor interno	BG	1	1/8	BG
30. corredor interno	BG	1	1/8	BG
31. corredor interno	BG	1	1/8	BG
32. corredor externo	BG	1	1/8	BG
33. corredor externo	BG	1	1/16	BG
34. corredor externo	BG	1	1/16	BG
35. corredor externo	BG	1	1/16	BG
36. corredor externo	BG	1	1/16	BG
37. casa de maquina - ar	BG	1	1/64	BG
38. casa de maquina - ar	BG	1	1/64	BG
39. caixa de maquina - ar	BG	1	1/64	BG
40. caixa de água	BG	1	1/250	BG
41. telhado	0,1	1	1/250	4,00E-05

Tabela 9: Valores da exposição medida (mR/h), fator uso e ocupação correspondente e dose equivalente (mSv/semana) para cada área adjacente a sala de radioterapia, para energia de fóton de 10 MV – Gantry a 180°

PONTO DE MEDIDA	Leitura (mR/h)	Fator uso (U)	Fator ocupação (T)	mSv/semana
1. corredor do cobalto	BG	1	1/8	BG
2. corredor do cobalto	BG	1	1/8	BG
3. corredor do cobalto	BG	1	1/8	BG
4. corredor do cobalto	BG	1	1/8	BG
5. jardim	BG	1	1/16	BG
6. jardim	BG	1	1/16	BG
7. jardim	BG	1	1/16	BG
8. jardim	BG	1	1/16	BG
9. calçamento da rua	BG	1	1/16	BG
10. calçamento da rua	BG	1	1/16	BG
11. calçamento da rua	BG	1	1/16	BG
12. calçamento da rua	BG	1	1/16	BG
13. calçamento da rua	BG	1	1/16	BG
14. calçamento da rua	BG	1	1/16	BG
15. calçamento da rua	BG	1	1/16	BG
16. calçamento da rua	BG	1	1/16	BG
17. calçamento da rua	BG	1	1/16	BG
18. Bombas do chiller	BG	1	1/16	BG
19. Bombas do chiller	BG	1	1/16	BG
20. sala de máscaras	BG	1	1	BG
21. sala de máscaras	BG	1	1	BG
22. sala de máscaras	BG	1	1	BG
23. sala de comando	BG	1	1	BG
24. sala de comando	BG	1	1	BG
25. sala de comando	BG	1	1	BG
26. Porta	0,14	1	1/8	1,75E-03
27. porta	0,1	1	1/8	1,25E-03
28. porta	0,12	1	1/8	1,50E-03
29. corredor interno	BG	1	1/8	BG
30. corredor interno	BG	1	1/8	BG
31. corredor interno	BG	1	1/8	BG
32. corredor externo	BG	1	1/8	BG
33. corredor externo	BG	1	1/16	BG
34. corredor externo	BG	1	1/16	BG
35. corredor externo	BG	1	1/16	BG
36. corredor externo	BG	1	1/16	BG
37. casa de maquina - ar	1	1	1/64	1,56E-03
38. casa de maquina - ar	1	1	1/64	1,56E-03
39. casa de maquina - ar	1	1	1/64	1,56E-03
40. caixa de água	16	1/ 7	1/250	9,14E-04
41. telhado	22	1/ 7	1/250	1,26E-03

3.5 Mapeamento com dosímetro TLD

Medidas da exposição em um determinado intervalo de tempo também foram obtidas, através de dosímetros TLD, distribuídas interna e externamente à sala do acelerador linear. Estes foram enumerados e posicionados conforme mostra a figura 7, protegidos com plástico e fixados a uma altura aproximada de 2 m a partir do chão. A leitura dos TLD's foi realizada em uma leitora de TLD's Harshaw: Modelo 700.

Além dos dosímetros indicados na figura 7, foram colocados também três dosímetros TLD em uma sala afastada da sala irradiada que foram utilizados como controle, para comparar com as leituras dos dosímetros fixados na sala do acelerador linear.

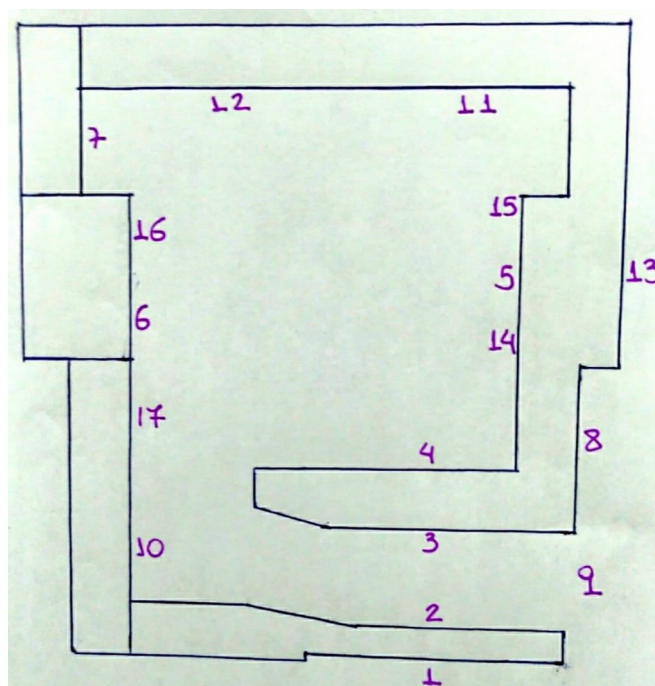


Figura 7: Localização dos pontos onde foram fixados os dosímetros TLD na sala do acelerador linear.

A figura 8 mostra como os dosímetros foram enumerados e protegidos para sua fixação.



Figura 8: Dosímetro protegido utilizado para o mapeamento do setor de radioterapia.

4. Resultados

No levantamento radiométrico, após a obtenção das medidas em mSv/semana, estas foram comparadas com os limites exigidos pela CNEN. No mapeamento com dosímetro TLD as leituras foram obtidas e comparadas com os dosímetros controle e com o levantamento radiométrico.

Levantamento Radiométrico

De acordo com norma CNEN-3.01, a dose limite semanal para público é de $2 \times 10^{-5} \text{ Sv/semana}$ ou $20 \mu \text{ Sv/semana}$. Portanto, os pontos analisados (figura 6) não devem exceder esse limite, para que o setor esteja apto para funcionamento. Após realizar o levantamento radiométrico desses pontos nos 4 ângulos ortogonais do gantry (tabelas 6 a 9), estas medidas foram somadas e o resultado é apresentado na tabela 10. É possível observar que todos os pontos ficaram abaixo do limite exigido pela CNEN, lembrando que essa somatória considerou a carga de trabalho da máquina de 10 horas/semana usando energia de fótons de 10MV.

Mapeamento com dosímetro TLD

Data da colocação dos TLD's: 06/09/2017 às 09h30min.

Data da retirada dos TLD's: 18/09/2017 às 06h30min.

Tempo total de exposição: 285 horas.

Data da leitura dos TLD's: 27/09/2017 às: 11h52min.

Foram colocados 20 dosímetros TLD, em que foram observadas leituras com altos valores de carga nos pontos internos da sala do acelerador linear, contrastando com os baixos valores observados nos dosímetros fixados externamente à sala. A tabela 11 apresenta as leituras encontradas dos dosímetros distribuídos na sala conforme a figura 7.

Tabela 10: Somatória dos valores de dose para os 4 ângulos ortogonais do gantry para cada ponto analisado.

10MV - 0 (mSv/semana)	10MV - 270 (mSv/semana)	10MV - 90 (mSv/semana)	10MV - 180 (mSv/semana)	soma 10MV (mSv/semana)
0	6,43E-04	0	0	6,43E-04
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	4,46E-04	0	4,46E-04
0	0	4,46E-04	0	4,46E-04
0	0	4,46E-04	0	4,46E-04
0	0	8,75E-03	0	8,75E-03
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
1,50E-03	1,25E-03	3,75E-03	1,75E-03	8,25E-03
1,50E-03	2,25E-03	3,00E-03	1,25E-03	8,00E-03
1,88E-03	1,25E-03	3,00E-03	1,50E-03	7,63E-03
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	1,75E-02	0	0	1,75E-02
0	1,50E-02	0	0	1,50E-02
0	3,75E-03	0	0	3,75E-03
0	3,75E-03	0	0	3,75E-03
0	3,75E-03	0	0	3,75E-03
0	3,75E-03	0	0	3,75E-03
0	0	0	1,56E-03	5,31E-03
0	0	0	1,56E-03	1,56E-03
0	0	0	1,56E-03	1,56E-03
0	0	0	9,14E-04	9,14E-04
1,20E-04	4,00E-05	4,00E-05	1,26E-03	1,38E-03

Tabela 11: Medida dos TLD's nos pontos indicados na figura 7 – Sala do acelerador linear

nº. TLD	Ponto	Local	Leitura (nC)	
1		Sala dos Técnicos	115,00	Externo à sala do AL
2		Corredor de entrada	144,70	Externo à sala do AL
3		Parede labirinto	127,90	Externo à sala do AL
4		Parede interna do Labirinto	1.027,00	Interno à sala do AL
5		Centro do cinturação primário Direito	4.262,00	Interno à sala do AL
6		Centro do cinturação primário Esquerdo	5.053,00	Interno à sala do AL
7		Parede interna esquerda - feixe espalhado	1.179,00	Interno à sala do AL
8		Corredor da radioterapia - externo sala AL	213,50	Externo à sala do AL
9		Porta de entrada da sala do AL	97,83	Externo à sala do AL
10		Final do corredor de entrada da sala do AL	409,80	Interno à sala do AL
11		Parede do fundo da sala do AL	1.052,00	Interno à sala do AL
12		Parede do fundo da sala do AL	575,70	Interno à sala do AL
13		Corredor da radioterapia - externo sala AL	164,70	Externo à sala do AL
14		Cinturação primário Direito	1.345,00	Interno à sala do AL
15		Cinturação primário Direito	3.112,00	Interno à sala do AL
16		Cinturação primário Esquerdo	2.230,00	Interno à sala do AL
17		Parede interna esquerda - feixe espalhado	1.314,00	Interno à sala do AL
18	Padrão		120,30	
19	Padrão		125,20	
20	Padrão		95,43	

5. Discussão

Comparando os valores obtidos de exposição com a norma vigente (ver tabela 10), pode-se verificar que o cálculo de blindagem feito na época da construção da sala de radioterapia ainda satisfaz a condição atual de trabalho, sendo observado uma margem de “folga” para todos os pontos analisados.

Como mencionado anteriormente, o objetivo do trabalho foi utilizar os fatores reais e atuais do setor. Assim, podemos concluir que é possível um aumento tanto na carga de trabalho quanto nos fatores uso e ocupação. O aumento de qualquer um desses fatores seriam suportados pelas atuais instalações, não havendo prejuízo de proteção radiológica com as barreiras atuais do setor.

Analisando a leitura dos dosímetros, observa-se que a leitura interna da sala do acelerador linear foi bem maior do que a leitura dos dosímetros externos a sala. Esse último, teve as leituras semelhantes aos dosímetros controle, colocados em uma sala sem contato com a sala irradiada. O fato dos dosímetros externos e os controle mostrarem leituras semelhantes mostra a ação das barreiras do setor, onde seu papel é proteger as áreas externas à sala de radioterapia, tornando-as áreas sem influência considerável da radiação do acelerador linear.

6. Conclusão

Após avaliação do levantamento radiométrico pode-se concluir que as doses de radiação transmitidas através das barreiras estão dentro do limite semanal normatizado pela CNEN (Comissão Nacional e Energia Nuclear), permitindo um aumento na carga de trabalho do setor. É possível através desse estudo, pensar em um novo cálculo de blindagem [5], mantendo-se o nível de proteção exigido por norma para as condições atuais de trabalho neste setor.

O aumento da carga de trabalho possibilitaria um impacto social positivo, uma vez que pacientes de Botucatu e região são atendidos no setor. Através da medidas, conclui-se que um aumento de carga de trabalho em torno de 20%, em comparação com o atual (uma média de 22 pacientes a mais tratados por dia), seria suportado com a blindagem atual do setor.

7. Referências Bibliográficas

- [1] Scaff, Luiz. Física na Radioterapia: A base analógica de uma era digital. São Paulo: Editora Projeto Saber 2010. 639p.
- [2] Brasil. Ministério da Saúde. Instituto Nacional de Câncer-INCA. Blindagem em radioterapia: técnica e normas. Rio de Janeiro: INCA, 2000. 63 p.
- [3] Cherry, Simon R.; Sorenson, James A.; Phelps, Michael E. Physics in nuclear medicine 3ed. Filadélfia: Saunders 2003. 497p.
- [4] Khan, Faiz M. The physics of radiation therapy 3ed. Filadélfia: Lippincott W & W, 2003. 560 p.
- [5] Silva, Victor S. Análise dos parâmetros físicos estimados para cálculo de blindagem da sala do acelerador linear do HC-FMB – adequação com a rotina atual do serviço. 2017. 35 p. Monografia - Unesp Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2017.