



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**

CAIO VINICIUS DE OLIVEIRA

**DISTRIBUIÇÃO E DISPERSÃO DOS NÍVEIS RADIOMÉTRICOS DO
SETOR TÉCNICO DE MEDICINA NUCLEAR DO HOSPITAL DAS
CLÍNICAS DA FACULDADE DE MEDICINA DE BOTUCATU**

**Botucatu-SP
2013**

CAIO VINICIUS DE OLIVEIRA

**DISTRIBUIÇÃO E DISPERSÃO DOS NÍVEIS RADIOMÉTRICOS DO
SETOR TÉCNICO DE MEDICINA NUCLEAR DO HOSPITAL DAS
CLÍNICAS DA FACULDADE DE MEDICINA DE BOTUCATU**

Monografia apresentada junto ao Curso de Física Médica da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP, na área de concentração Radioproteção em Medicina Nuclear, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel.

Orientadora: Prof. Dr. Kátia H. Koga
Co-orientador: Prof. Eduardo Tinois

Botucatu - SP
2013

Oliveira, Caio Vinicius de, 1991-

Título: Distribuição e dispersão dos níveis radiométricos do setor técnico de medicina nuclear do hospital das clínicas da faculdade de medicina de botucatu / Caio Vinicius de Oliveira. – 2013.

29 f. : il. color. ; 30 cm

Orientador: Kátia Hiromoto Koga.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP, Curso de Bacharelado em Física Médica, 2013.

1. Proteção Radiológica. 2. Medicina Nuclear. 3. Dosimetria Externa. I. Koga, Kátia Hiromoto. II. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP – Departamento de Doenças Tropicais e Diagnóstico por Imagem. III. Prof. Assistente

Agradecimentos

Primeiramente a Deus, por me permitir cumprir meus objetivos até o presente momento e continuar sonhando.

Aos meus pais, Antonio Carlos e Vanir pela educação, amor, carinho, exemplo e apoio. Mesmo estando longe nunca deixaram-me sentir distante. Nunca me esquecerei de todos os conselhos. "O fruto não cai longe do pé"

À minha irmã, Gabriele pelo carinho, apoio, lembranças e por toda infância.

À Jéssica que tem me acompanhado em todas minhas decisões, incentivando e dando atenção e apoio.

À Dra. Kátia H. Koga pela orientação neste trabalho, competência profissional, atenção, incentivo, conselhos e conhecimento transmitido.

À Dra. Sônia M. Moriguchi pela atenção e valiosos conselhos.

À Eduardo Tinois da Silva, pela orientação, incentivo, atenção, apoio intelectual e pessoal.

Aos amigos Luís Gustavo, Diego, Danilo e Guilherme pela convivência e todos os momentos descontraídos. Considero-os parte da família.

Aos médicos residentes, biomédicos e técnicos do setor técnico de medicina nuclear do HCFMB que tornaram todo trabalho um atividade prazerosa.

Ao professor Dr. Luciano Barbosa pelas orientações nas análises estatísticas.

Resumo

A medicina nuclear utiliza fontes não-seladas para a realização de exames e tratamentos, devido a movimentação destas fontes, sendo de origem de pacientes injetados ou não, implicam numa grande variação dos níveis radiométricos ambiental. Visando um melhor controle destes níveis este estudo teve objetivo de monitorar pontos estrategicamente distribuídos por todas as dependências do Setor Técnico de Medicina Nuclear do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Botucatu, realizando duas medidas diárias em horários aleatórios, durante um período de três meses, amostrando a rotina normal do setor. O medidor *Geiger-Muller* foi utilizado para aquisição das taxas de exposição dos pontos, teste de eficiência e reprodutibilidade mostraram bom desempenho deste equipamento para esta finalidade. Os resultados permitiram realizar uma projeção de dose anual de cada ambiente indicando os de maiores riscos para os Indivíduos Ocupacionalmente Expostos, assim como os Indivíduos do Públicos comparados com os limites estabelecidos pela Comissão Nacional de Energia Nuclear . Foi desenvolvido um mapa espacial de dose que pode ser empregado como recurso visual para advertência das regiões com maior índice de exposição à radiações ionizantes, possibilitando diminuição de riscos à exposição potenciais.

Palavras-chave: radioproteção, medicina nuclear, monitoração de área, dosimetria externa

Abstract

Nuclear medicine uses non-sealed sources for exams and treatments, because the movement of these sources, source of patients injected or not, involve a wide range of environmental radiometric levels. To better control of these levels this study was aimed at monitoring points strategically distributed in all environments Sector Technical Nuclear Medicine, Hospital of the Botucatu Medical School, performing two measurements at random times daily for a period of three months, sampling the normal routine of the sector. The detector Geiger-Muller was used for the acquisition of exposure rates of the points, efficiency and reproductibility test have shown good performance of this equipment for this purpose. The results allowed to make a projection of annual dose for each environment indicating higher risks for Occupationally Exposed Individuals as well as Public Individuals compared with the limits established by the National Commission of Nuclear Energy. Was developed a spatial map of dose that can be used as a visual warning to the regions with the highest exposure to ionizing radiation, enabling reduced risk of a potential exposure.

Keywords: radioprotection, nuclear medicine, monitoring area, external dosimetry

Sumário

1	Introdução	8
2	Objetivos	10
3	Fundamentos Teóricos	11
	3.1 Dosimetria e Proteção Radiológica	11
	3.2 Classificação de áreas	12
	3.3 Limitação de dose individual	12
	3.4 <i>Geiger-Muller</i>	13
4	Materiais e Métodos	15
	4.1 Materiais Utilizados	15
	4.2 Técnica empregada no levantamento de dados	15
	4.3 Pontos de monitoramento	16
	4.4 Eficiência do <i>Geiger-Muller</i>	19
5	Resultados e Discussões	20
	5.1 Níveis radiométricos	20
	5.2 Nível radiométrico por período do dia	22
	5.3 Mapa espacial de dose	24
	5.4 Eficiência do detector	25
6	Conclusão	27
7	Referências Bibliográficas	28

1 Introdução

A prática clínica de medicina nuclear envolve a administração de compostos de fármacos contendo radioatividade proveniente de radionuclídeos que promovem amplas informações diagnósticas e tratamento de diversas patologias.[1]

As doses geradas aos pacientes por esta técnica são relativamente altas, porém justificáveis devido aos benefícios diagnósticos ou terapêuticos que podem ser alcançados. Entretanto, os trabalhadores do setor e indivíduos do público estão sujeitos à exposição involuntária e muitas vezes inevitáveis. Para garantir a segurança destes, é necessário assegurar que a proteção radiológica seja executada e aplicada com eficácia. O objetivo da proteção radiológica é fornecer um padrão de proteção apropriado ao homem, contra as radiações, sem limitar atividades benéficas que aumentam a exposição à radiação.[2]

O monitoramento individual e ambiental das radiações ionizantes desempenha um papel de grande importância na manutenção das condições de segurança radiológica em instalações radioativas, verificando se as doses recebidas pelos Indivíduos Ocupacionalmente Expostos (IOE), bem como pelos indivíduos do público, são mantidas dentro dos limites estabelecidos pelos órgãos reguladores.[3]

O valor da exposição ocupacional está diretamente relacionado à permanência em ambientes com a presença de radioisótopos e fontes que produzam radiação, podendo ser potencializado pela proximidade e pelo tempo em contato com as mesmas. Estas fontes podem ser, no caso da utilização em medicina nuclear, provenientes dos pacientes injetados ou não como na manipulação de radiofármacos, práticas dos controles de qualidade de equipamentos e/ou contaminação do ambiente.

Devido ao fluxo de fontes pelo serviço de medicina nuclear gera constantes variações dos níveis de exposição nas dependências do serviço, desde níveis de taxa de exposição muito baixos, como radiação de fundo, até taxas que acarretariam doses acumuladas acima do limite anual estabelecido. Como o processo é dinâmico e a monitoração dos níveis radiométricos não é constante, há risco do IOE receber doses superiores aos preconizados.

Seguindo a filosofia da Proteção Radiológica para garantir níveis radiométricos adequados aos IOEs foram realizadas medidas dos níveis radiométricos, com maior frequência do que são prescritas nas normas, das dependências do setor de medicina nuclear amostrando diversas condições de funcionamento do serviço procurando avaliar a variação e

tendência destes níveis, possibilitando uma melhor avaliação dos valores de dose dos IOEs obtido através dos dosímetros individuais, permitindo assim, uma melhor orientação sobre as zonas de maior risco, evitando uma exposição desnecessária, da mesma forma com indivíduos do público.

2 Objetivos

Objetivo Primário

Caracterizar os níveis de exposição à radiação dos ambientes, com relação à tendência e dispersão, do Setor Técnico de Medicina Nuclear do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Botucatu – HCFMB na condição operacional.

Objetivo Secundário

Criar mapa espacial de distribuição de dose das dependências, mostrando as regiões onde se está sujeito à uma maior exposição de radiação ionizante.

3 Fundamentos Teóricos

3.1 Dosimetria e Proteção Radiológica

Proteção radiológica é um conjunto de medidas que visam prevenir ou diminuir os riscos dos efeitos somáticos das radiações ionizantes ao ser humano. A Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) aprovou em 1988 a Norma “Diretrizes Básicas de Radioproteção” (em substituição das “Normas Básicas de Proteção Radiológica” de 1973, onde foi inicialmente estabelecidos limites de dose recomendados internacionalmente) fundamentada na ICRP-26 da Comissão Internacional de Proteção Radiológica (International Commission on Radiological Protection) abordando o conceito de detrimento, ou seja, qualquer dose, por menor que seja, está associada à probabilidade de ocorrência de danos (efeitos estocásticos).

Estudos em radiobiologia em baixas doses mostraram que não existe um limiar real de dose para os efeitos estocásticos. Assim, um tecido sob qualquer exposição de radiação ionizante envolve um risco carcinogênico, dependendo da radiosensibilidade desse tecido.[5]

A radioproteção para fontes de origem externa é baseada em quatro fatores: tempo, distância, blindagem e atividade.

-Tempo

A dose de radiação absorvida por um indivíduo é diretamente proporcional ao tempo de exposição que o indivíduo é submetido. Isto implica que o tempo de permanência junto a uma fonte radioativa deve ser o mínimo necessário para a redução de dose.

-Distância

A exposição à radiação reduz conforme a distância aumenta em relação à fonte radiotiva, isto ocorre devido a intensidade da radiação ser inversamente proporcional ao quadrado da distância entre o alvo e a origem da exposição. Recomenda-se que o indivíduo mantenha-se distante quanto possível de uma fonte.

-Blindagem

O termo blindagem refere-se à utilização de barreiras com objetivo de reduzir a exposição dos indivíduos expostos. Em geral, materiais com o número atômico (Z) alto têm

como característica a absorção adequada da radiação e podem ser implementados como blindagem. Por motivo econômico, o chumbo (Pb) é frequentemente utilizado para este fim.

-Atividade

A atividade relaciona-se à taxa de decaimento de um material radioativo, a exposição se reduz diretamente proporcional à diminuição da atividade do material. Do ponto de vista de proteção radiológica, a manipulação de fontes de alta atividade requer uma maior proteção, sendo necessário o reforço das medidas de segurança para os fatores citados acima: tempo, distância e blindagem.[4]

3.2 Classificação de áreas

As dependências devem ser classificadas como áreas controladas, supervisionadas ou livres e devidamente sinalizadas, com o objetivo de promover um melhor gerenciamento da radioproteção.

-Áreas controladas: área onde é necessária adoção de medidas específicas de proteção e segurança garantindo exposições ocupacionais em conformidade com os requisitos de otimização e limitação de dose.

-Áreas supervisionadas: área não necessária de adoção das medidas de área controlada entretanto, apresenta a necessidade de reavaliações regulares das condições de exposições ocupacionais para determinar se a classificação continua adequada.

-Áreas livres: demais áreas que não esteja enquadrado nas classificações de controladas ou supervisionadas.[6]

3.3 Limitação de dose individual

A exposição dos indivíduos deve ser restringida de tal modo que o equivalente de dose efetiva assim como o equivalente de dose nos órgãos ou tecidos de interesse, causadas pela possível combinação de exposições originadas por práticas, excedam o limite de dose

especificado na Tabela 1.[6]

Tabela 1: Limitação anual de dose estabelecida pela CNEN

Limites de Dose Anuais			
Grandeza	Órgão	IOE	Indivíduo do Público
Equivalente de Dose Efetiva	Corpo Inteiro	20 mSv*	1 mSv
Equivalente de Dose	Cristalino	20 mSv*	15 mSv
	Pele	500 mSv	50 mSv
	Extremidades	500 mSv	---

*Média Aritmética de 5 anos consecutivos, desde que não exceda 50mSv em qualquer um dos anos

3.4 Geiger-Muller

A passagem de radiação pela matéria gera uma interação com as moléculas e os átomos transferindo energia ocasionando ionização e excitação, que estão envolvidos no processo de detecção de radiação, entretanto, a ionização é o evento primário decorrente da energia transferida, ocasionando uma desassociação de um elétron orbital criando um par de íons. [1]

Detectores a gás operam por meio de correntes elétricas induzidas pela ionização das moléculas de gás. Dois eletrodos sob uma voltagem ocasionam uma atração dos elétrons com carga negativa para o ânodo e os íons dos átomos ou moléculas de carga positiva para o cátodo.

O contador *Geiger-Muller* (GM) opera com uma voltagem entre 500 a 900V, nesta faixa a aceleração submetida produzida nos elétrons é relativamente alta e estes terminam por chocar-se com moléculas do gás produzindo ionizações secundárias. Os elétrons liberados nas ionizações secundárias são acelerados em direção ao anodo e ao ganhar velocidade geram um campo elétrico capaz de gerar perturbação nas moléculas do gás com consequentes excitações seguidas por desexcitações eletrônicas que liberam radiação ultravioleta (UV) produzindo novas ionizações. Este processo prolonga-se até que um número grande de íons positivos formam-se no interior da sonda reduzindo o efeito da alta tensão e a formação de novos íons é interrompida

Devido a esta característica o GM possui grande uso em medicina nuclear, pois é

capaz de detectar níveis de radiação no ambiente ou superfície. Sua desvantagem é a limitação na diferenciação do tipo e energia da fonte a ser medida.[4]



Figura 1: Medidor Geiger-Muller

4 Materiais e Métodos

4.1 Materiais Utilizados

1. Medidor de radiação Victoreen modelo 190
2. Sonda Cilíndrica Inovision modelo 491-30

Conjunto segue calibração e controle de qualidade, segundo normas da CNEN.

4.2 Técnica empregada no levantamento de dados

Os Níveis radiométricos ambientais foram adquiridos diariamente durante o período de outubro à dezembro de 2012, distribuídos no período da manhã e tarde em horários aleatórios ao decorrer da semana (segunda à sexta-feira), de forma que houvesse amostra de todo o período de funcionamento do serviço de medicina nuclear, com número igual de medidas por período e ponto.

O equipamento utilizado é o medidor de taxa de exposição *Geiger-Muller*, acoplado a uma sonda cilíndrica de gás, usando $\mu\text{R/h}$ como unidade de medida. As medidas foram realizadas com a sonda posicionada na altura do toráx dos operadores, exceto os pontos 36 e 39 cujo as medidas foram realizadas na altura dos olhos para avaliar o equivalente de dose no cristalino.

A radiometria ambiental foi mensurada durante a rotina habitual de exames, testes de controle de qualidade, manipulação de doses, manuseio de fontes, na presença de ou não de pacientes injetados, presença de contaminação no ambiente entre outras situações da rotina de um serviço de medicina nuclear.

Os valores obtidos foram registrados em um formulário padronizado com: data e horário da medição, operador, pontos e discriminação da dependência, valor e unidade da medida, presença ou não de fonte radioativa sendo de origem paciente ou não-paciente e campo para observações pertinentes para a análise dos dados.

Os pontos de monitoramento listados na Tabela 2 foram definidos como o centro de cada dependência em áreas classificadas como livres, já em áreas controladas e supervisionadas adotou-se pontos que apresentam maior tempo de permanência de IOEs e

demais pontos de interesse.

4.3 Pontos de monitoramento

Tabela 2: Pontos de monitoração dos níveis radiométricos das dependências do serviço

	Sala de exames 1, SophyCamara DST:
1.	em frente ao painel de operação do equipamento;
2.	em frente a central de processamentos de exames;
3.	ao lado direito da maca, ponto de permanência dos técnicos durante o posicionamento dos pacientes;
	Sala de exames 2, SophyCamara DSX:
4.	medida em frente ao painel de operação do equipamento DSX;
5.	ao lado da maca de pacientes e a frente da porta 2 da sala de injeção, corredor de trânsito de IOE e pacientes;
6.	ao lado da maca de pacientes, corredor de trânsito de IOE e pacientes;
	Sala de injeção:
7.	em frente a porta 2 da sala, bancada de injeção e ao computador;
8.	em frente a bancada de injeção e a pia;
9.	Sala da geladeira de fármacos, corredor de trânsito de IOE e pacientes, entrada para sala quente, centro do ambiente;
	Sala de exames 3, Simens Orbiter:
10.	centro do ambiente;
11.	em frente ao painel de operação e processamento;
	Corredor central:
12.	região em frente à sala de exames;
13.	região em frente à sala da geladeira de fármacos;
14.	região em frente à sala de espera de pacientes injetados;
15.	Banheiro de pacientes injetado, centro do ambiente;
	Sala da supervisão:
16.	em frente a mesa 1 de permanência de IOE;
17.	em frente a mesa 2 de permanência de IOE;
18.	Banheiro da sala de supervisão, centro do ambiente;
	Sala de espera de pacientes injetados:
19.	em frente as cadeiras de permanência de pacientes;

20.	em frente ao bebedouro de água;
21.	em frente as cadeiras de permanência de pacientes e corredor de transito de pacientes;
22.	Sala de captação, centro do ambiente;
	Sala de exames 4, G.E. Millenium:
23.	em ao canto superior esquerdo, corredor de trânsito de IOE;
24.	em frente à entrada da sala e lado esquerdo da gama-câmara;
25.	em frente ao painel de operação do equipamento e processamento de exames;
26.	Hall de entrada no setor de medicina nuclear, centro do ambiente;
27.	Secretaria, centro do ambiente;
28.	Sala de laudos médicos, centro do ambiente;
29.	Corredor da copa, centro do ambiente;
30.	Almoxarifado, centro do ambiente;
31.	Copa, centro do ambiente;
32.	Banheiro da copa, centro do ambiente;
33.	Administração, centro do ambiente;
	Sala quente:
34.	centro do ambiente;
35.	em frente ao gerador, altura do tórax;
36.	em frente ao gerador, altura dos olhos;
37.	em frente ao lixo de ¹³¹ Iodo;
38.	em frente ao lixo de ^{99m} Tc;
39.	em frente ao lixo de perfuro-cortantes, altura dos olhos;
40.	em frente ao depósito de rejeitos;
41.	Corredor externo, entrada e saída do setor, circulação de público.

O ponto 41 é localizado no corredor externo ao setor em frente a saída, alinhado com o ponto 26.

Diagrama espacial representado na Figura 2, e sala quente ampliada Figura 3.

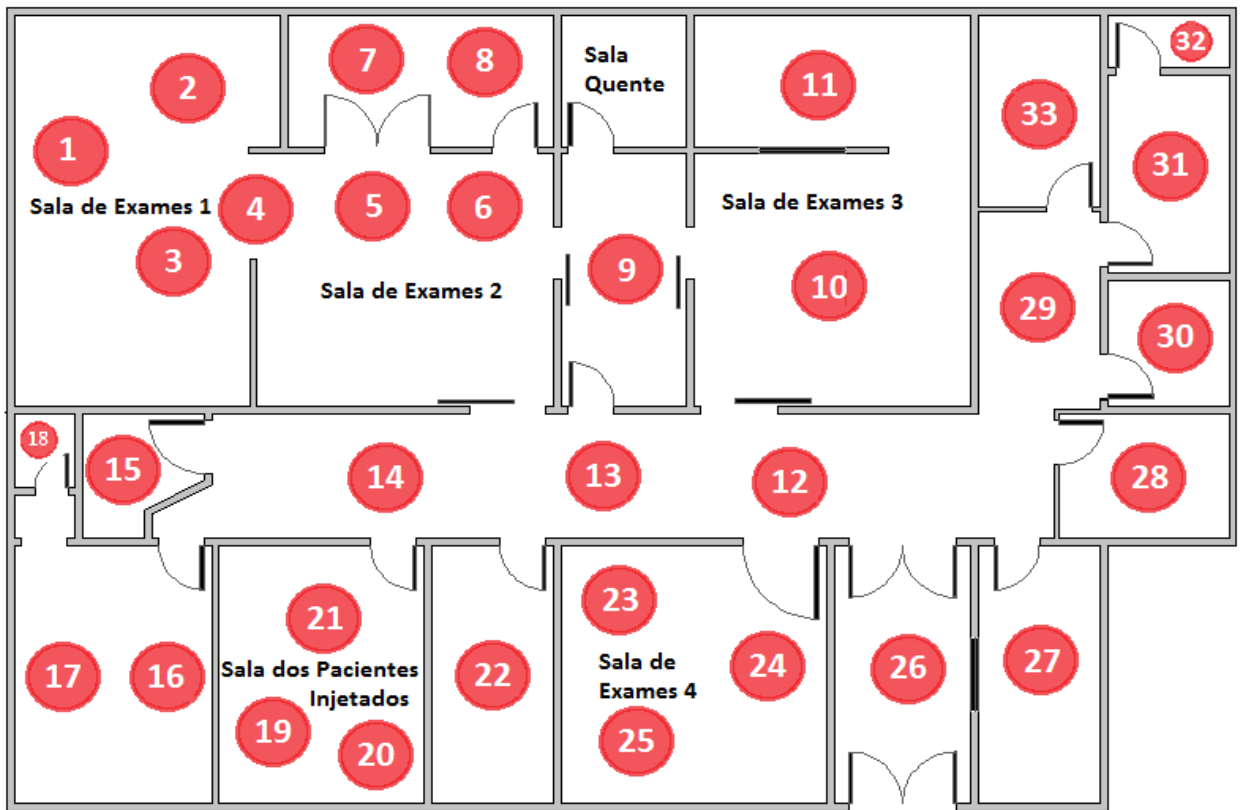


Figura 2: Croqui do setor técnico de medicina nuclear do HCFMB com pontos de medição.

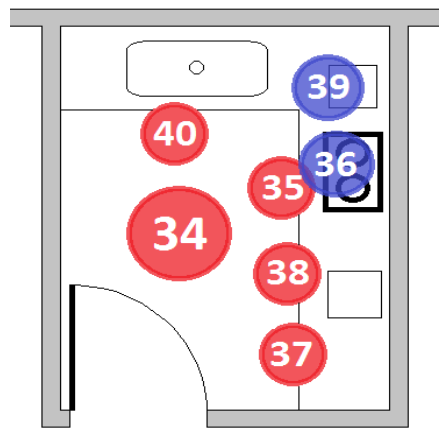


Figura 3: Croqui sala quente com pontos de medição, pontos azuis representam medidas na altura dos olhos

4.4 Eficiência do *Geiger-Muller*

Com uma fonte de ^{99m}Tc com atividade conhecida foi analisado a eficiência do conjunto Medidor Geiger e sonda cilíndrica, valores utilizados para calibração para radiação proveniente de ^{99m}Tc cujo o fator pico é de 140KeV do espectro de energia, contudo feixes secundários com outras energias são detectados devido as interações sofridas, como espalhamento compton e efeito fotoelétrico. Por meio do valor do coeficiente de radiação específica de radiação gama (Γ) do ^{99m}Tc , $\Gamma = 0,12 \text{ R/h}$ para 1 Ci a 1 metro de distância, pela fórmula:

$$X=A \cdot \Gamma/d^2 \quad (1)$$

onde “X” é a taxa de exposição em R/h, “A” a atividade da fonte e “d” a distância em metros entre fonte x detector, é possível determinar a taxa de exposição nominal (X_n) desta fonte.

O medidor *Geiger-Muller* posicionado a 1, 2, 3 e 4 metros de distância da fonte com atividade de 28,6. mCi (1058,2 MBq), foi medido e registrado o valor da taxa de exposição obtido pela leitura do medidor, este procedimento foi repetido por 10 vezes para a cada distância, podendo assim calcular o valor médio da taxa de exposição. Em seguida, na ausência da fonte, foi medido o valor de radiação de fundo (background) pelo mesmo procedimento. Subtraindo o valor médio da exposição e a média do valor de background obteve-se a taxa de exposição (X) medido pelo equipamento.

A eficiência do detector é obtida pela fórmula:

$$E(\%)=X_e/X_n \cdot 100 \quad (2)$$

5 Resultados e Discussões

5.1 Níveis radiométricos

Tabela 3: Dados Estatísticos da Taxa de Exposição por Ponto de Monitoração

Pontos	Taxa de Exposição (uR/h)				
	Média (I.C. 95%)	σ	Mediana	1º quartil	3º quartil
1	47,22 ± 20,39	74,93	14,15	8,90	34,25
2	24,72 ± 8,96	32,94	11,65	7,00	24,20
3	89,77 ± 42,47	156,04	18,50	10,17	74,75
4	74,41 ± 25,68	94,34	15,40	7,78	127,50
5	97,04 ± 42,41	155,83	18,45	8,80	123,25
6	90,43 ± 30,91	113,56	22,40	10,63	181,25
7	49,27 ± 52,91	194,42	15,00	9,78	21,30
8	95,93 ± 133,61	490,90	16,50	9,88	27,53
9	32,06 ± 24,33	89,39	15,85	7,83	25,58
10	34,75 ± 28,93	106,29	12,85	8,83	19,25
11	21,28 ± 18,88	69,36	7,40	3,80	14,08
12	93,68 ± 58,16	213,68	19,85	10,03	53,38
13	60,52 ± 36,32	133,44	16,95	9,95	32,13
14	163,65 ± 99,16	364,33	22,45	10,15	109,00
15	30,35 ± 6,85	25,15	24,40	12,83	33,88
16	15,72 ± 3,78	13,89	12,50	5,72	21,60
17	26,82 ± 8,59	31,57	16,80	9,73	29,13
18	10,26 ± 2,16	7,95	8,25	4,10	13,68
19	700,40 ± 322,06	1183,34	33,75	10,33	857,50
20	551,82 ± 249,23	915,72	31,40	7,85	665,00
21	370,16 ± 163,36	600,24	28,45	10,05	480,75
22	51,97 ± 22,09	81,17	18,05	8,65	50,08
23	71,89 ± 27,35	100,49	22,50	10,53	85,25
24	107,48 ± 39,85	146,42	21,70	10,63	182,25
25	216,94 ± 86,90	319,28	27,80	10,08	281,00
26	34,44 ± 33,65	123,65	9,65	4,40	15,00
27	20,30 ± 16,83	61,85	7,40	3,33	12,55
28	10,53 ± 5,20	19,09	7,60	3,13	11,60
29	9,15 ± 1,70	6,25	9,85	4,13	12,48
30	6,12 ± 1,60	5,89	3,82	2,08	8,98
31	8,71 ± 1,67	6,12	7,50	3,73	12,25
32	8,60 ± 1,52	5,58	8,35	3,48	12,55
33	7,89 ± 1,76	6,48	5,60	3,10	12,23
34	163,71 ± 47,87	175,87	107,00	50,20	190,75
35	265,46 ± 77,02	282,99	183,00	137,00	286,00
36	695,40 ± 207,69	763,11	383,00	188,75	842,50
37	170,92 ± 85,17	312,94	85,50	45,88	174,00
38	365,22 ± 441,24	1621,22	108,50	63,75	149,75
39	381,04 ± 198,85	730,61	196,50	129,75	353,75
40	483,99 ± 196,95	723,64	191,00	74,25	790,00
41	67,15 ± 56,38	207,14	8,95	4,53	19,90

A Figura 4 ilustra os valores da média do equivalente de dose obtidos para cada ponto de medição, os valores são expressos em mSv/ano (mili-Sievert por ano), de forma que facilitam a comparação com os padrões dos limites de anuais de dose estabelecidos pela a CNEN. Os limites anuais são expressos considerando a carga horária de 40 horas/semana, totalizando 2000 horas/ano, desta forma as médias das taxas de dose foram multiplicadas por 2000 horas.

O equivalente operacional da taxa de exposição para equivalente de dose foi considerado $1 R = 0,001 Sv$ [1].

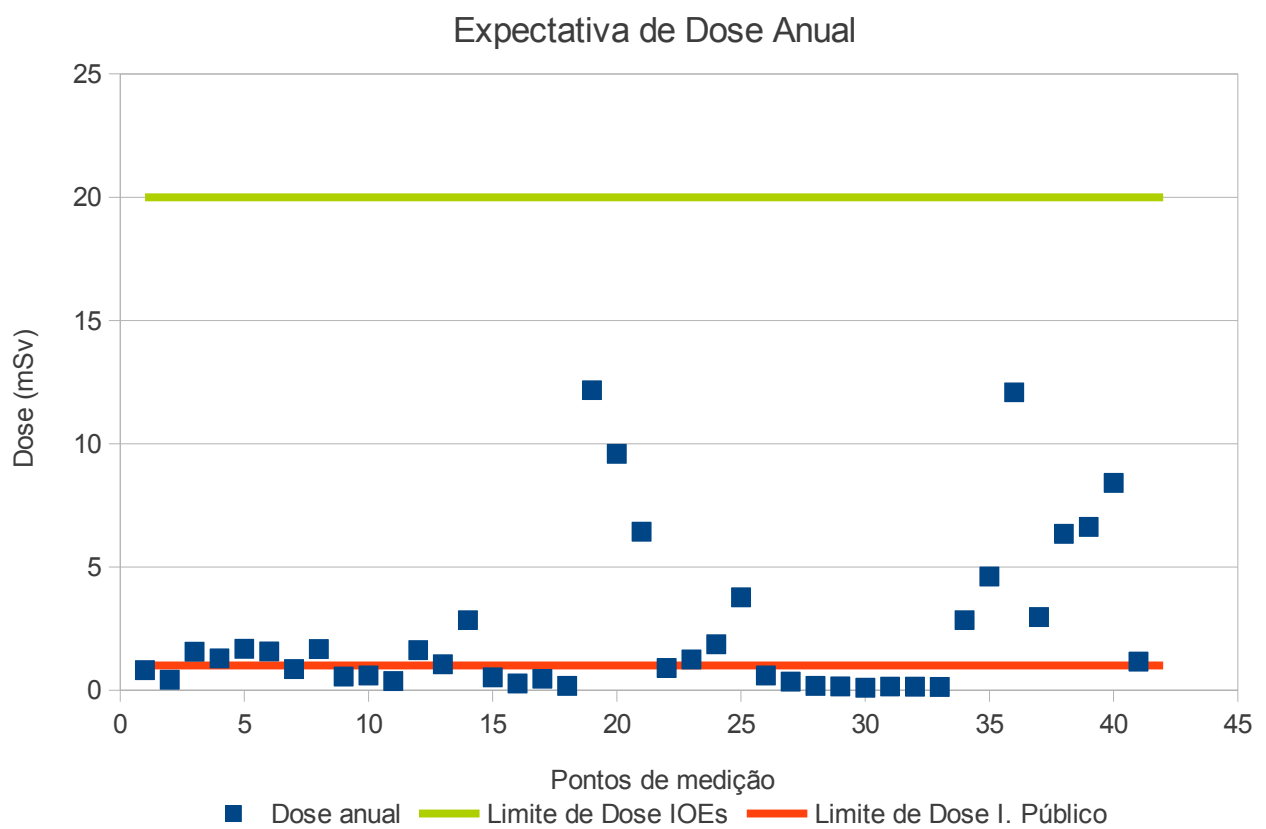


Figura 4: Expectativa de dose para os pontos de monitoração comparados com os limites estabelecidos pelas CNEN.

Todos os valores de expectativa de dose anual ficaram abaixo do limite de dose dos IOEs de 20 mSv/ano. As dependências de classificação como “área livre” (pontos 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32 e 33) tiveram dose anual inferior a limitação para indivíduos do público igual a 1 mSv/ano.

Os pontos com maior nível radiométrico foram os de número 19, 20 e 21 referente à

sala de espera, onde os pacientes injetados aguardam que os radiofármacos distribuam-se pelo organismo e acumulem-se nos tecidos de interesse para realização dos exames e, 36, 38, 39 e 40, sala de manipulação (sala quente), local onde se armazenam os geradores de Mo/^{99m}Tc, demais radionuclídeos, rejeitos, lixos radioativos, e local também de manipulação e marcação dos radiofármacos.

A permanência na sala quente deve ser a mínima possível, havendo uma rotatividade dos IOEs responsáveis pelas atividades desempenhadas neste ambiente e é indispensável o uso de avental protetor de chumbo para reduzir a exposição à radiação ionizante nos trabalhadores.

Recomenda-se que a permanência na sala de espera seja exclusiva de pacientes aguardando os procedimentos dos exames, salvo quando há a necessidade, pela gravidade do estado clínico, de acompanhante, desde que o mesmo esteja ciente dos riscos.

5.2 Nível radiométrico por período do dia

Os valores de dose avaliados por período do dia, podem ser observado pela Figura 5. As medidas foram realizadas das 8h00 às 18h00, medidas com horário de início até às 13h00 foram considerados como “manhã” e os demais “tarde”.

Os dados mostram valores maiores para o período da manhã em relação ao da tarde na maioria dos pontos, este comportamento deve-se ao maior número de exames realizados pela manhã, assim como, manipulação de fontes para marcação de radiofármacos, administração aos pacientes e testes de controle de qualidade.

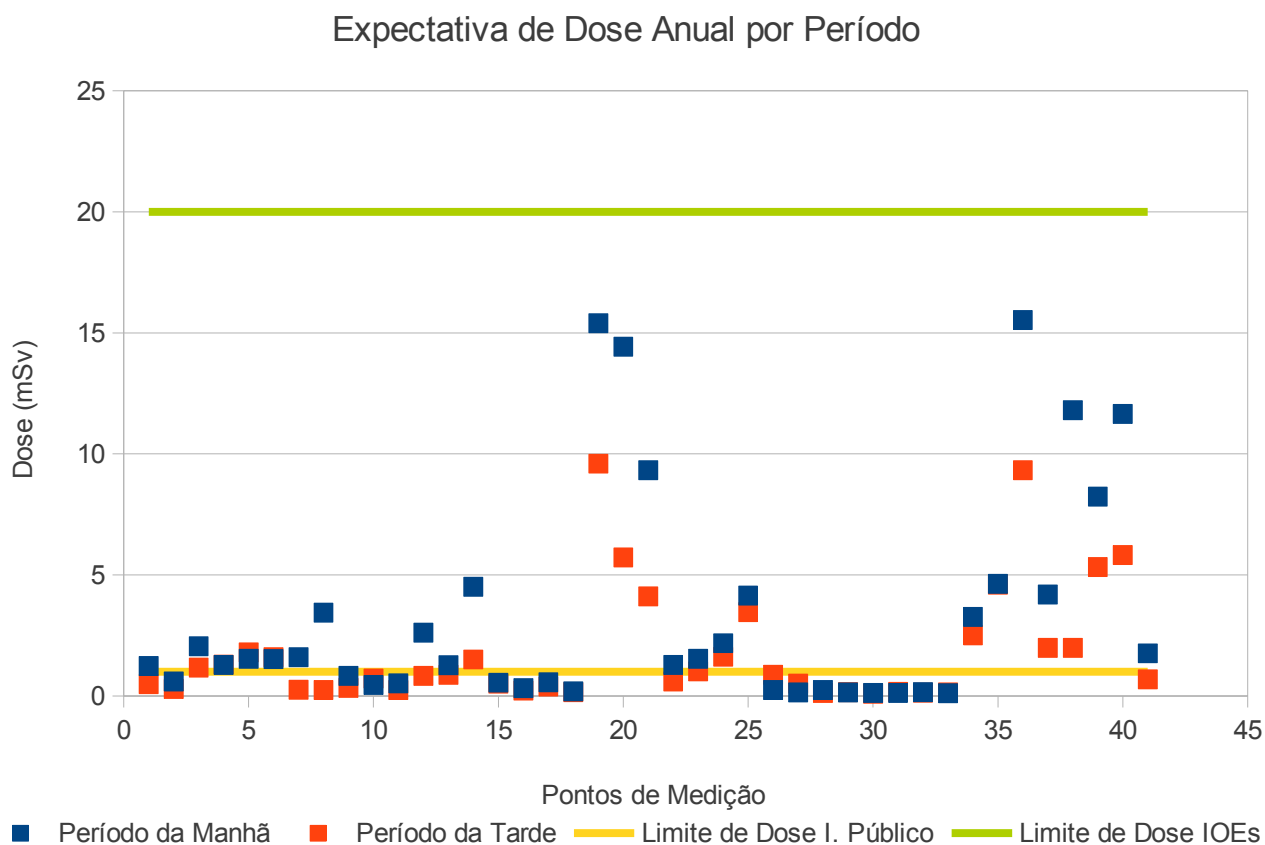


Figura 5: Expectativa de dose para os pontos de monitoração divididos por período do dia

O gerador de $Mo^{99m}Tc$ é eluído na primeira hora de funcionamento do serviço, sendo assim, o horário de maior atividade, gerando uma taxa de exposição elevada na área de sala quente durante o período da manhã. Devido a maior disponibilidade de fonte nas primeiras horas do dia, neste período ocorre a marcação dos radiofármacos, seguida da administração aos pacientes, acarretando uma maior taxa de dose nos pontos 7 e 8, localizados na “sala de injeção”, em comparação com o período da tarde.

Medidas dos pontos localizados nas salas de exames (1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 11, 23, 24 e 25), onde há a maior concentração e permanência de IOEs, apresentam expectativa de dose inferiores a 5 mSv/ano, sendo um quarto do valor da limitação de dose pela CNEN. A Sala de exame 3 onde localiza-se os pontos 10 e 11 apresentou o menor nível entre as demais por estar em manutenção no período de realização das medidas.

Os pontos 36 e 39 foram realizadas as medidas na altura dos olhos para representar a equivalente de dose para o cristalino. A resolução atual da CNEN limita a dose no cristalino a valores inferiores a 20 mSv/ano.

Para testar a distribuição da amostra foi realizado teste Kolmogorov-Smirnov. Foi verificado distribuição não normal e, então aplicados testes não paramétricos para verificação dos dados. Para comparar os níveis radiométricos entre os períodos utilizamos teste Mann-Whitney, considerando significativo $P < 0,05$, onde foram criado os grupos M para o período da manhã e T para o período da tarde. Os pontos que apresentaram significâncias estatísticas consideráveis estão representadas na Tabela 4.

Tabela 4: Análise do teste Mann-Whitney para os períodos

Ponto	resultado	P	U
36	M > T	0,008	206
38	M > T	0,016	221
40	M > T	0,013	216,5

Os pontos encontram-se todos no interior da sala quente, confirmando que os níveis pela manhã são superiores em relação aos da tarde para esta dependência.

5.3 Mapa espacial de dose

Com base na planta e nas medidas realizadas, foi atribuído uma região retangular para cada ponto e foi realizado interpolação exponencial para regiões não monitoradas, permitindo-se criar um mapa espacial das taxas de exposição associando uma tabela de cores. Cores em tons de vermelho indicam taxas de exposição mais elevadas na região e cores em tons de azul indicam doses menores ilustrado na Figura 6.

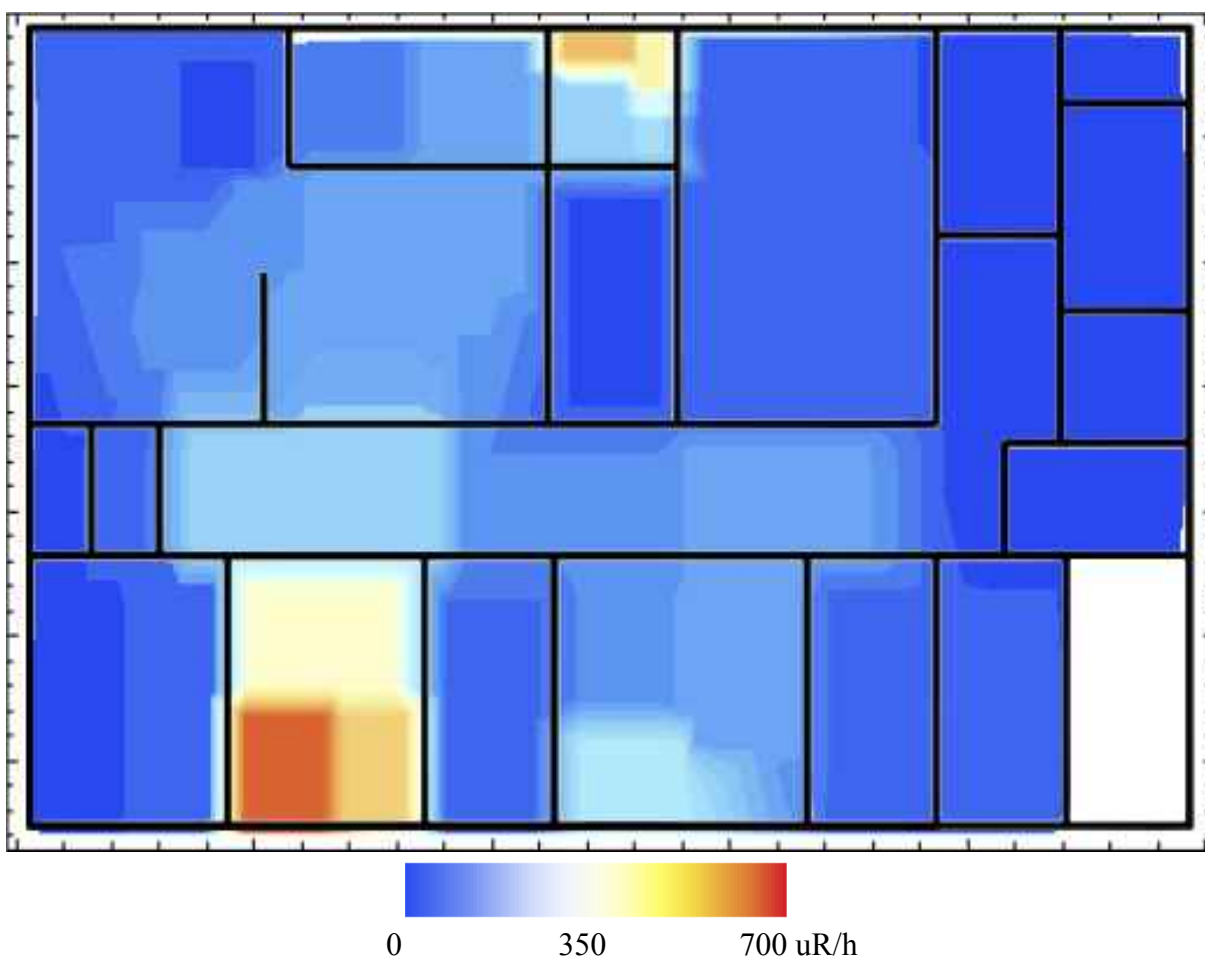


Figura 6: Mapa espacial dos níveis de exposição ambiental.

Dependências de classificação livre apresentaram coloração indicativa de baixo nível radiométrico. Pontos de maior concentração de pacientes injetados contribuíram para o aumento do nível radiométrico ambiental e podem ser observados nos pontos onde a coloração começa a migrar do azul claro até os pontos mais “quentes” de coloração vermelha, excluindo a sala quente onde o alto nível deve-se à presença, manipulação e depósito dos radionuclídeos utilizados pelo serviço.

5.4 Eficiência do detector

As medidas do valor da taxa de exposição, em uR/h, medido pelo *Geiger-Muller* estão apresentados na Tabela 5 permitindo comparação entre os valores obtidos de taxa de exposição e o valor nominal esperado. Do valor experimental fora subtraído o BG com valor igual a 10,03 uR/h.

Tabela 5: Eficiência do detector, relacionando o valor de exposição nominal (X_n) e o valor medido experimentalmente (X_e) em uR/h.

Distância (m)	X_n	X_e^*	Eficiência E(%)
1	3432,00	3345,97 \pm 107,94	97,49
2	858,00	883,96 \pm 41,74	103,03
3	381,33	433,07 \pm 14,24	113,57
4	214,50	209,97 \pm 10,86	97,89

*Valor subtraído o Background

O equipamento apresentou boa resposta e reprodutibilidade mostrando baixo grau de incerteza nas medidas, enquadrando-se nos limites estabelecidos pela CNEN. [7]

6 Conclusão

Os pontos de maior dose normalmente localizados em sala quente e sala de espera de pacientes injetados foram confirmados. A sala de espera de pacientes injetados é um ambiente no qual apenas pacientes injetados e em, algumas exceções, acompanhantes devem permanecer aguardando para a realização dos exames, como foi comprovado. A sala quente, conforme demonstrado é uma área com altas taxas de exposição, reafirmando assim, a necessidade de blindagem e uso de material de proteção para os indivíduos ocupacionalmente expostos, além da permanência mínima para realização das tarefas.

O principal resultado deste estudo é o mapa de distribuição espacial das taxas de exposição ou de projeção de doses que indica os pontos cuja ocupação deve ser minimizada e/ou requerem medidas de proteção radiológica mais eficazes tais como blindagens e procedimentos específicos além de atenção aumentada pelos IOEs. Este instrumento pode agregar-se ao Plano de Proteção a Riscos Ambientais (PPRA – NR32) sendo afixado nas dependências para orientar, através do recurso visual os indivíduos ocupacionalmente expostos e indivíduos do público, com a vantagem de identificar a posição espacial do risco na dependência.

Este procedimento permite estabelecer projeções de doses recebidas para todos os indivíduos nas dependências do serviço de Medicina Nuclear podendo ser utilizado também para mapear níveis radiométricos ambientais em serviços que estejam com doses em níveis de investigação, auxiliando na identificação das causas e na definição das soluções.

Conclui-se então, que o mapa espacial de doses é um instrumento útil para a proteção radiológica.

7 Referência Bibliográfica

- [1] CHERRY, S.R., SORENSON, J.A., PHELPS, M.E. - Physics in Nuclear Medicine – Elsevier - Fourth Edition
- [2] ICRP - International Commission on Radiological Protection, -1990 -Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Annals of ICRP 21, n. 1/3, ICRP Publication 60, Pergamon Press, Oxford, 1991.
- [3] MALETTA, P.G.M., 2003 - Caracterização de um Dosímetro em Termos do 'Equivalente de Dose Ambiente, H*(10)' Para Monitoração de Campos de Radiação X e Gama - Tese de M.Sc., Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Nuclear, Curso de Ciências e Técnicas Nucleares da Universidade Federal de Minas Gerais -UFMG, Minas Gerais, Brasil.
- [4] SAHA, G.B. - Physics and Radiobiology of Nuclear Medicine -Springer, 2006 – Third Edition
- [5] TAUHATA, L., SALATI, I.P.A., PRINZIO, R.Di., PRINZIO, M.A.R.R.Di. - Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos – 5a revisão agosto/2003 - Instituto de Radioproteção e Dosimetria, CNEN – Rio de Janeiro.
- [6] CNEN-NN-3.01 – Comissão Nacional de Energia Nuclear - “Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica”, Setembro de 2011, Rio de Janeiro.
- [7] CNEN-NN-3.05 – Comissão Nacional de Energia Nuclear - “Requisitos de Radioproteção e Segurança para Serviços de Medicina Nuclear”, Abril de 1996, Rio de Janeiro.
- [8] MONTEIRO, I.H.T.S., 2005 - Determinação das taxas de dose ambientais e ocupacionais de radiação gama, em consequência da presença do RDS-111 e do depósito de rejeitos no IEN/CNEN – Tese de M.Sc., COOPE/UF RJ, Rio de Janeiro, Brasil
- [9] MALETTA, P.G.M., FILIPETTO, J., WAKABAYASHI, T., da SILVA, T.A. – Níveis de

Radiação Externa em Instalações de um Centro de Tecnologia Nuclear. - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, CDTN, Belo Horizonte – MG, Brasil

[10] NR 32/2005 – MTE – Segurança e saúde no trabalho em estabelecimento de saúde – Ministério do Trabalho e Emprego, Brasília, Brasil.

[11] Workplace Monitoring for Radiation and Contamination , International Atomic Energy Agency - IAEA, Vienna, 2004