

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS DE BOTUCATU

VICTÓRIA D’AMARIO GAVIOLI

**EXISTE CORRELAÇÃO ENTRE O LEVANTAMENTO
RADIOMÉTRICO DIÁRIO COM O AGENDAMENTO DE EXAMES?**

Botucatu
2024

VICTÓRIA D'AMARIO GAVIOLI

**EXISTE CORRELAÇÃO ENTRE O LEVANTAMENTO
RADIOMÉTRICO DIÁRIO COM O AGENDAMENTO DE EXAMES?**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Biociências, Campus de Botucatu,
UNESP, para obtenção de Bacharel em Física
Médica.

Orientadora: Profa. Ass. Dra. Katia Hiromoto Koga

Coorientador: Daniel Molena Seraphim

**BOTUCATU
2024**

G283e

Gavioli, Victória D'Amario

Existe correlação entre o levantamento radiométrico diário com o
agendamento de exames? / Victória D'Amario Gavioli. -- Botucatu, 2024

42 p. : il., tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Física Médica) -
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Botucatu

Orientadora: Katia Hiromoto Koga

Coorientador: Daniel Molena Seraphim

1. Proteção radiológica. 2. Monitoração de área. 3. Atividade radioativa. 4.
Tipos de exame. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual
Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Victória D'Amario Gavioli

**Existe correlação entre o levantamento radiométrico diário com o
agendamento de exames?**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto
de Biociências – Campus de Botucatu, da Universidade
Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, para
obtenção do grau de Bacharel em Física Médica.

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Ass. Dra. Katia Hiromoto Koga
Me. Daniel Molena Seraphim
Prof. Assoc. Dr. Marco Antônio Rodrigues Fernandes
Prof. Assoc. Dr. Joel Mesa Hormaza
Prof. Ass. Dr. Roberto Morato Fernandez

Aprovado em: 05 de julho de 2024

Documento assinado digitalmente
 **VICTORIA D AMARIO GAVIOLI**
Data: 12/07/2024 09:37:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do discente

Documento assinado digitalmente
 **KATIA HIROMOTO KOGA**
Data: 11/07/2024 19:24:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do(a) orientador(a)

Documento assinado digitalmente
 **DANIEL MOLENA SERAPHIM**
Data: 11/07/2024 18:58:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do(a) coorientador(a)

Assinatura do(a) supervisor(a)

AGRADECIMENTOS

À todos os profissionais do Serviço de Medicina Nuclear do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Botucatu, principalmente à minha orientadora Prof^a Dra Katia Hiromoto Koga e ao meu coorientador Daniel Molena Seraphim que me acompanharam e ensinaram pacientemente em todos os momentos desse projeto. Sua orientação foi fundamental para o sucesso deste trabalho.

À meus pais, Patricia e Fabio, que me mostraram o verdadeiro significado de resiliência e reinício. Mesmo nos caminhos mais sinuosos nunca deixaram de me apoiar e mostrar que sou capaz de tudo desde que estejamos juntos. Obrigada por nunca deixarem de acreditar em mim e por sempre estarem do meu lado, mostrando que juntos somos capazes de transformar sonhos em realidade. O nome de vocês está por trás de cada palavra escrita, conta realizada e fala proferida nestes anos de graduação.

À minha irmã Bárbara que esteve do meu lado desde meu nascimento, me acompanhou em cada passo dado, acreditou em mim mais do que eu mesma, obrigada pelos conselhos, pelas palavras de incentivo e por nunca soltar minha mão.

À República Mash que me proporcionou uma família mesmo longe de casa, que mostrou o poder de reunir mulheres das mais diversas personalidades e sonhos que saíram da casa dos pais com o objetivo de construir um futuro e acabaram construindo um amor inexplicável, um lar. Saibam que eu me vejo em cada uma de vocês, cada olhar determinado, cada sorriso gentil e em cada lágrima de saudade, vocês serão a minha eterna inspiração, obrigada por terem sido parte da minha história.

À minhas amigas, Ana Julia, Luisa, Maria Eduarda e Isabela, que compartilharam os anos escolares comigo e nunca mais me abandonaram. Mesmo distantes, a presença de vocês foi sentida, mostrando que a amizade transcende qualquer barreira física. Estou muito orgulhosa das mulheres maravilhosas que vocês se tornaram, obrigada por serem exemplos de força e determinação.

Aos meus colegas de faculdade, Camila e Rhyann, que compartilharam comigo os desafios e conquistas desses quatro anos, lutamos muito para estarmos aqui e estou muito feliz aonde chegamos, não teria conseguido sem vocês. À Julia que me mostrou que almas gêmeas podem ser amigas, minha eterna gratidão por estar do meu lado todos os dias, por todas as risadas, restaurantes visitados, revisões em cima da hora e palavras de apoio.

RESUMO

Medicina Nuclear é uma especialidade médica que utiliza fontes radioativas não seladas para o diagnóstico e terapia, que precisam ser administrados aos pacientes, para que sejam detectados pela câmara de cintilação, transformando-os em fontes radioativas enquanto circulam nos ambientes do serviço de medicina nuclear. O levantamento radiométrico avalia os níveis de radiação nas áreas de um serviço de medicina nuclear. Este estudo visa compreender como a rotina do serviço afeta os níveis de radiação de área. Para a coleta de dados foram estabelecidos 24 pontos para o levantamento radiométrico, realizado de segunda à sexta-feira, no período da manhã e à tarde. Foi coletado também a quantidade e tipos de exames, a atividade radioativa administrada e o radionuclídeo utilizado e a análise estatística foi realizada pelo programa *The SAS System*. Foram avaliados 160 levantamentos radiométricos identificando a sala e sanitários dos pacientes, sala de exames, quente e de rejeitos como os locais de maiores taxa de exposição. O número de exames e atividade radioativa foram maiores na segunda, terça e quinta, respectivamente e, em relação ao período houve um predomínio pela manhã. Os locais do levantamento radiométrico por período e dias da semana também mostraram maiores expressões nos descritos acima. Em relação aos tipos de exames, tivemos um predomínio de cintilografias renais de quarta a sexta-feira e cintilografia de perfusão do miocárdio na segunda e terça. A correlação entre atividade radioativa mostrou correlações moderada em cintilografia ósseas e de perfusão do miocárdio estresse e forte para as de repouso. A correlação entre atividade radioativa e número de exames por período mostrou correlação forte para ambos os períodos, demonstrando que quanto maior o número de exames, maior a atividade radioativa circulante. Apesar disso, quando correlacionamos o levantamento radiométrico e o número, tipo de exames ou atividade radioativa, apesar do nível de significância, não houve nenhuma correlação forte, isto provavelmente ocorreu, pois, as “fontes radioativas” não ficavam confinados em um ambiente e sim, circulantes ou distribuídas em outros ambientes do serviço.

Palavras-chave: levantamento radiométrico, monitoração de área, tipos de exames, atividade radioativa

ABSTRACT

Nuclear Medicine is a medical specialty that uses unsealed radioactive sources for diagnosis and therapy, which need to be administered to patients so that they can be detected by the scintillation chamber, turning them into mobile radioactive sources as they move around the nuclear medicine facility. The radiometric survey assesses radiation levels in the areas of a nuclear medicine facility. This study aims to understand how the facility routine affects area radiation levels. To collect the data, 24 points were established for the radiometric survey, carried out from Monday to Friday, in the morning and in the afternoon. The number and types of exams, the radioactive activity administered, and the radionuclide used were also collected, and the statistical analysis was carried out using *The SAS System* software. 160 radiometric surveys were evaluated, identifying the patient room and toilets, exam room, hot room and waste room as the places with the highest exposure rates. The number of exams and radioactive activity were higher on Monday, Tuesday and Thursday, respectively, and there was a predominance of exams in the morning. The radiometric survey sites by period and days of the week also showed the highest expressions as described above. With regard to the types of exams, there was a predominance of renal scintigraphy from Wednesday to Friday and myocardial perfusion scintigraphy on Monday and Tuesday. The correlation between radioactive activity showed moderate correlations for bone scintigraphy and stress myocardial perfusion scintigraphy and strong correlations for rest scintigraphy. The correlation between radioactive activity and the number of scans per period showed a strong correlation for both periods, demonstrating that the greater the number of scans, the greater the circulating radioactive activity. Despite this, when we correlated the radiometric survey and the number, type of exams or radioactive activity, despite the significance level, there was no strong correlation. This probably occurred because the "radioactive sources" were not confined to one environment but circulated or distributed in other environments in the service.

Keywords: radiometric survey, area monitoring, types of exams, activity radioactive

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Limites de Dose Anuais dos IOEs

Tabela 2: Levantamento radiométrico nos pontos do SMN-HCFMB

Tabela 3: Número de exames nos dias da semana

Tabela 4: Atividade radioativa dos radionuclídeos na semana

Tabela 5: Número de exames e atividade de radionuclídeos por períodos

Tabela 6: Comparação de médias do levantamento radiométrico por período

Tabela 7: Comparação de médias entre os tipos de exames realizados no SMN-HCFMB por período

Tabela 8: Comparação de médias entre os exames realizados no SMN-HCFMB por dias da semana

Tabela 9: Correlação entre levantamento radiométrico e os tipos de exames

Tabela 10: Correlação entre levantamento radiométrico com Atividade de ^{99m}Tc e número de exames

Tabela 11: Correlação entre a atividade de ^{99m}Tc com os tipos de exames realizados no SMN-HCFMB

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Princípio de funcionamento do detector Geiger-Müller

Figura 2 - Medidor de radiação tipo Geiger-Müller, modelo RadEye B20

Figura 3- Fluxograma do paciente dentro do SMN-HCFMB

Figura 4 - Planta baixa do SMN-HCFMB com os pontos estabelecidos

Figura 5 - Levantamento Radiométrico por dia da semana no período da manhã

Figura 6 - Levantamento Radiométrico por dia da semana no período da tarde

Figura 7: Comportamento da taxa de exposição da sala de espera-P6 ao longo da semana

Figura 8: Comportamento da taxa de exposição da sala de espera-P7 ao longo da semana

Figura 9: Comportamento da taxa de exposição do sanitário de pacientes 1 ao longo da semana

Figura 10: Comportamento da taxa de exposição da ergometria ao longo da semana

Figura 11: Comportamento da taxa de exposição da sala do SPECT 630 ao longo da semana

Figura 12: Comportamento da taxa de exposição da sala do SPECT 670 ao longo da semana

Figura 13: Comportamento da taxa de exposição da sala quente- P16 ao longo da semana

Figura 14: Comportamento da taxa de exposição da sala quente- P17 ao longo da semana

Figura 15: Comportamento da taxa de exposição da sala quente- P18 ao longo da semana

Figura 16: Comportamento da taxa de exposição da sala de rejeitos ao longo da semana

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. MEDICINA NUCLEAR	11
1.2. PROTEÇÃO RADIOLÓGICA	12
1.3. LEVANTAMENTO RADIOMÉTRICO	14
2. OBJETIVOS	15
3. METODOLOGIA	16
3.1. MATERIAIS	16
3.2. COLETA DE DADOS	16
3.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1 Análise descritiva	20
4.2 Comparação do Levantamento Radiométrico por Períodos e Dias das Semanas	25
4.3 Correlação das Medidas de Monitoração de Área	32
4.3.1 Correlação da Atividade do ^{99m}Tc com o Número e Tipos de Exames	35
5. CONCLUSÃO	36
REFERÊNCIAS	37
ANEXO A: TABELAS COMPLETAS	39

1. INTRODUÇÃO

1.1. MEDICINA NUCLEAR

A medicina nuclear utiliza radiação ionizante na forma de radionuclídeos não selados para uso clínico, em diagnóstico e/ou terapia. Essa modalidade permite estudar a função e o metabolismo de um órgão alvo, a partir da administração de um radiofármaco ou radionuclídeo específico, com enfoque mais fisiológico que anatômico [1].

A primeira aplicação em humanos aconteceu em 1927, quando *Blumgart* e *Weiss* injetaram uma solução salina exposta ao radônio e mediram o tempo de transmissão do sangue de um braço a outro usando uma câmara de *Wilson*. A partir de 1930, graças à invenção e a construção do ciclotron por *Lawrence*, foi possível produzir radionuclídeos artificiais, porém, só após a Segunda Guerra Mundial que a produção de radionuclídeos foi suficiente para uso médico. Na década de 1950, com a construção do mapeador linear de *Cassen* e o desenvolvimento da câmara de cintilação de *Anger* iniciou-se a base para o desenvolvimento dos equipamentos usados atualmente [2].

Nos primórdios da medicina nuclear, o radionuclídeo mais utilizado era o iodo-131 (^{131}I) para o diagnóstico de doenças de tireoide e, em 1964, Harper revolucionou ao empregar o tecnécio-99-metaestável ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) com seus raios gamas de baixa energia (140 keV), alta disponibilidade, tempo de meia-vida curto (6h02), que garantia uma boa imagem sem grande exposição do paciente à radiação [2].

Quando ocorre a união de um radionuclídeo com um carreador, temos a formação dos chamados radiofármacos. Essa ligação permite a detecção externa, pela emissão da radiação, de um órgão ou sistema alvo que tem afinidade com a molécula carreadora, permitindo a biodistribuição desejada para fins diagnósticos ou terapêuticos. Após a administração, o radiofármaco passa por processos de eliminação do organismo e, o tempo para que ocorra este processo é conhecido como meia-vida biológica. Essa meia-vida, acrescida da meia-vida física do radionuclídeo, resulta na sua meia-vida efetiva. Sendo assim, os radionuclídeos selecionados para aquisição de imagem, além de fornecer uma boa resolução devem ser depurados rapidamente para diminuir a exposição do paciente [3].

Logo, os exames da medicina nuclear se baseiam na administração de radiofármacos e/ou radionuclídeos específicos para determinado tipo de exame, com atividade radioativa específica para tal. Essa atividade radioativa é definida por uma quantidade de transições nucleares espontâneas de um estado de energia particular para outro em um dado intervalo de

tempo. A unidade da atividade no Sistema Internacional é o *becquerel* (*Bq*), que expressa a quantidade de transformações nucleares por segundo. A unidade *Curie* (*Ci*), mais antiga e mais popularmente empregada, expressa o número de transformações nucleares por segundo de uma grama de rádio-226 (^{226}Ra). A relação entre elas, se dá através da expressão: $1\text{ Ci} = 3,7 * 10^{10}\text{ Bq}$ [4].

Na medicina nuclear diagnóstica, o decaimento dos radionuclídeos leva à emissão de fótons de alta energia, que irradiam a partir do corpo dos pacientes e são detectados por câmaras cintilográficas. Assim, a partir do momento em que o radiofármaco é administrado ao paciente, ele se torna a fonte radioativa circulante dentro do serviço de medicina nuclear [5]. Assim, a circulação do paciente no interior do serviço gera uma exposição nos ambientes onde ele circula.

1.2. PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

No Brasil, todas as práticas da Medicina Nuclear são regulamentadas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e devem ser conduzidas de acordo com as suas normas. A CNEN é uma autarquia federal vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) que tem como missão garantir o uso seguro e pacífico da energia nuclear, desenvolver e disponibilizar tecnologias nucleares e correlatas, visando o bem-estar da população, por meio de normas [6].

A norma CNEN-NN-3.01 intitulada “Requisitos Básicos de Radioproteção e Segurança Radiológica de Fontes de Radiação” estabelece diretrizes básicas de proteção radiológica e traz os requisitos básicos para práticas envolvendo radiação ionizante, sendo elas:

- Justificação, na qual nenhuma prática ou fonte associada à essa prática será aceita pela CNEN a não ser que ela produza benefícios para o indivíduo exposto suficientes para compensar o detrimento correspondente;
- Limitação de dose individual, na qual a exposição normal dos indivíduos deve ser limitada de tal modo que não exceda o limite de dose regulamentado e
- Otimização, na qual a proteção radiológica deve ser otimizada de forma que a magnitude das doses individuais, número de pessoas expostas e a probabilidade de ocorrência de exposição mantenham-se tão baixas quanto razoavelmente exequíveis [7].

Esta norma também estabelece a classificação de áreas onde se abrigam fontes de radiação ou circulam materiais radioativos, essa categorização se dá em [8]:

- Área controlada, que contém regras especiais de proteção radiológica e segurança, a fim de controlar níveis de exposição, prevenir a disseminação de contaminação radioativa e prevenir ou limitar a amplitude das exposições potenciais;
- Área supervisionada, em que ocorre o acompanhamento das condições de exposição ocupacional, mas não possui medidas de proteção e segurança específicas e
- Área livre, que são todas as áreas que não se enquadram na classificação de supervisionada ou controlada.

Portanto, as dependências de um serviço de medicina nuclear devem ser classificadas como as áreas citadas. Além dos preceitos da norma CNEN-NN-3.01, a CNEN também preconiza regulamentações específicas para as práticas de medicina nuclear por meio da norma CNEN-NN-3.05, intitulada "Requisitos de segurança e proteção radiológica para serviços de medicina nuclear". A CNEN-NN-3.05 exige que os serviços de medicina nuclear tenham um plano de proteção radiológica, no qual deverá constar o fluxo de atendimento e as blindagens empregadas na instalação, a fim de garantir que as doses dos indivíduos ocupacionalmente expostos (IOE) estejam dentro do estabelecido. A norma CNEN-NN-3.01 estabelece os limites de doses anuais para controlar a exposição à radiação ionizante conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1: Limites de Dose Anuais dos IOE

Grandeza	Órgão	Indivíduo Ocupacionalmente Exposto	Indivíduo do Público
Dose Efetiva	Corpo Inteiro	20 mSv	1 mSv
	Cristalino	20 mSv	15 mSv
Dose Equivalente	Pele	500 mSv	50 mSv
	Mãos e pés	500 mSv	—

Fonte: CNEN, 2024 [7]

Para verificação dos requisitos de radioproteção é necessário fazer a monitoração dos trabalhadores, através do controle das doses expressas nos dosímetros individuais e, das áreas de trabalho, através do levantamento radiométrico, para avaliar a conformidade das práticas com os limites apresentados acima.

1.3. LEVANTAMENTO RADIOMÉTRICO

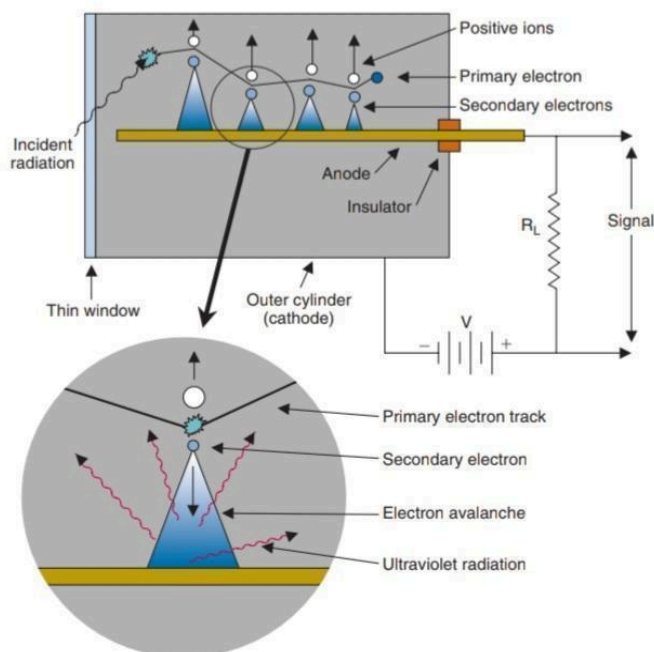
De acordo com a norma CNEN-NN-3.05, é necessário realizar e registrar um levantamento radiométrico, com periodicidade máxima quinzenal, considerando todos os pontos de abrigo de fontes radioativas e o valor da radiação de fundo [8]. Sendo assim, as áreas controladas que compõem um serviço de medicina nuclear necessitam desta monitoração.

A Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 611/2022 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) define levantamento radiométrico como uma avaliação dos níveis de radiação nas áreas de uma instalação radioativa, que também pode ser chamado de monitoração de área [9]. A CNEN-NE-3.02: “Serviços de Radioproteção” diz que essa monitoração de área é uma medição contínua, periódica ou especial de grandezas radiológicas para fins de radioproteção, que avalia e controla as condições radiológicas, incluindo medição de grandezas relativas a: campos externos de radiação, contaminação de superfícies e contaminação atmosféricas. Ainda de acordo com essa norma, o Programa de Monitoração de Área deve abranger uma seleção de locais mais críticos, seleção de marcação de pontos de medição e seleção de equipamentos e de procedimentos [10].

Apesar da exigência dessa atividade pela CNEN-NN-3.05, e sua definição em outras normativas, não existe nenhuma instrução sobre como realizar a monitoração de área. Assim, cabe à equipe de proteção radiológica de cada instalação definir o seu protocolo.

Um detector de radiação ionizante do tipo *Geiger-Müller* (GM) pode ser usado para adquirir as medidas do levantamento radiométrico. O GM possui uma câmara de ionização com dois gases no seu interior, um inerte e o outro para melhorar sua eficiência. Na Figura 1, pode-se observar a estrutura deste detector, formado por um fio carregado positivamente no interior da câmara, com a parede carregada negativamente. Quando a radiação ionizante interage com o gás provoca uma ionização que produz pares iônicos, que vão ser acelerados pelo campo elétrico gerado pelo anodo e catodo. A multiplicação de cargas que determina a característica do tubo é capaz de produzir um pulso de saída significativo, na qual em um único efeito ionizante todas as moléculas de gás são ionizadas e ocorre a detecção de um evento [11].

Figura 1 - Princípio de funcionamento do detector *Geiger-Müller*



Fonte: Cherry et. al, 2012 [2]

Uma dificuldade encontrada na contagem de partículas carregadas, como as partículas α e elétrons, é a absorção nas paredes do detector para penetração no volume sensível. Já para radiação γ , a resposta do detector ocorre através da geração de uma radiação secundária que irá interagir com o volume sensível. Os *Geiger-Müller* não são utilizados para detecção de nêutrons [4].

Os detectores GM são utilizados apenas como contadores, uma vez que não possuem a capacidade de diferenciar o tipo de radiação que está sendo detectada, porém eles podem ser utilizados para estimar grandezas radiológicas como dose, exposição e suas consecutivas taxas. A exposição é uma grandeza radiológica que consiste no valor da carga total de íons de um dado sinal, quando todos os elétrons liberados pelos fótons no ar são completamente freados e, sua unidade é o *roentgen* (R). Já a taxa de exposição é a razão entre exposição e unidade de tempo, sendo muito utilizada para medir campos de radiação de uma instalação radioativa, sua unidade é dada por R/h [4].

2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é realizar o levantamento radiométrico do Serviço de Medicina Nuclear do Hospital das Clínicas Botucatu (SMN-HCFMB) correlacionando seus resultados com o tipo de exames realizados na rotina do serviço, a fim de entender como o

agendamento de exames e a atividade administrada para sua realização influenciam nos ambientes do serviço.

Os objetivos específicos são:

- a) Monitoração de área do SMN-HCFMB;
- b) Identificação do número, tipos de exames e atividade radioativa durante a semana e
- c) Distribuição do tipo de exames durante a semana.

3. METODOLOGIA

3.1. MATERIAIS

Um detector de radiação do tipo *Geiger-Müller* da marca *Thermo Scientific*, modelo *RadEye B20*, foi utilizado para o levantamento radiométrico, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Medidor de radiação tipo *Geiger-Müller*, modelo *RadEye B20*



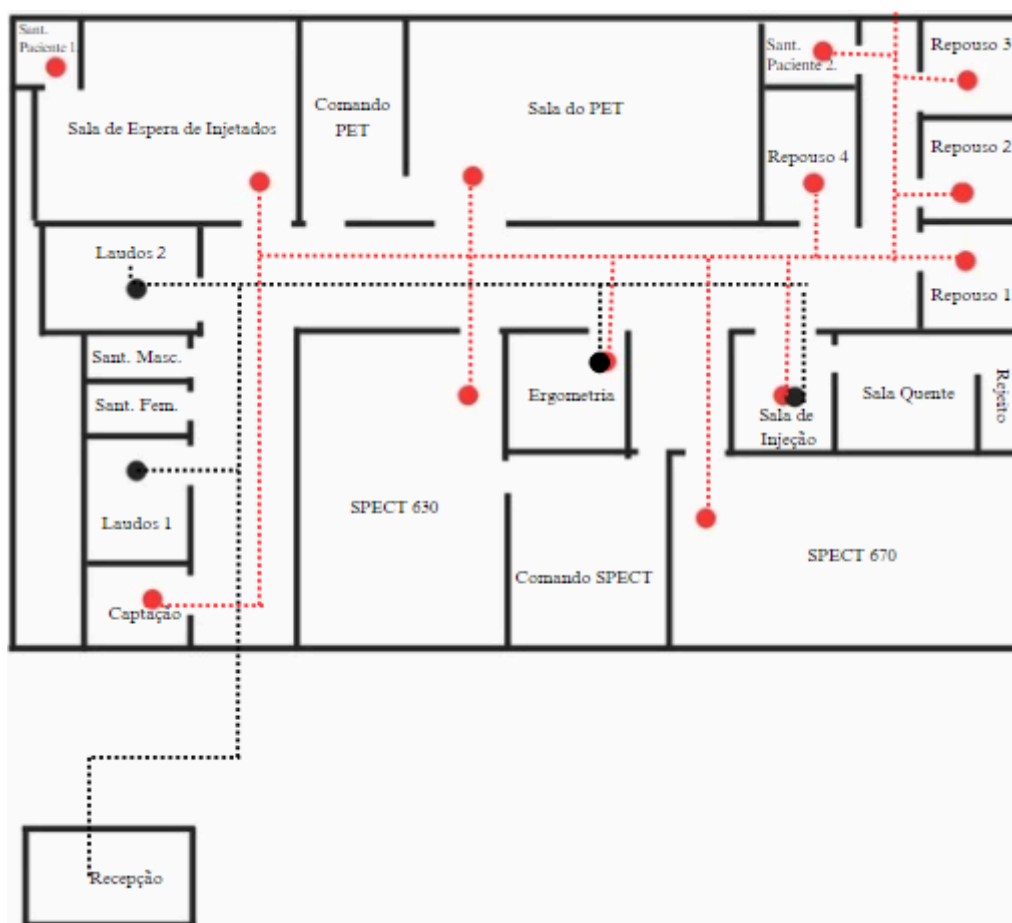
Fonte: Thermo fisher [12]

3.2. COLETA DE DADOS

O período para a coleta de dados foi de novembro de 2023 a abril de 2024. Para determinar os pontos a serem aferidos foi considerado o fluxo do paciente no interior do serviço e os locais de maior permanência. A Figura 3 representa um fluxograma do paciente dentro do SMN-HCFMB. O traçado em preto indica o seu percurso antes de receber o radiofármaco, da recepção até as salas onde são realizadas a anamnese (laudos 1 ou 2) e a sala de administração de radiofármaco (sala de injeção ou ergometria, quando será realizado a cintilografia de perfusão de miocárdio na fase de estresse). Já o traçado na cor vermelha indica os vários locais que o paciente pode percorrer após receber o radiofármaco e se tornar a fonte radioativa. Após a administração, ele é direcionado para a sala de espera de pacientes

injetados ou para alguma das salas de repouso, dependendo do exame e das condições clínicas do paciente, aguardando até que seja chamado para aquisição das imagens. Quando isto ocorre, o paciente é encaminhado para alguma das salas de exame (sala do PET, SPECT 630, SPECT 670), onde permanece durante a aquisição do exame e após, pode ser dispensado ou retorna para salas de espera e/ou repouso e aguarda para uma nova aquisição.

Figura 3- Fluxograma do paciente dentro do SMN-HCFMB



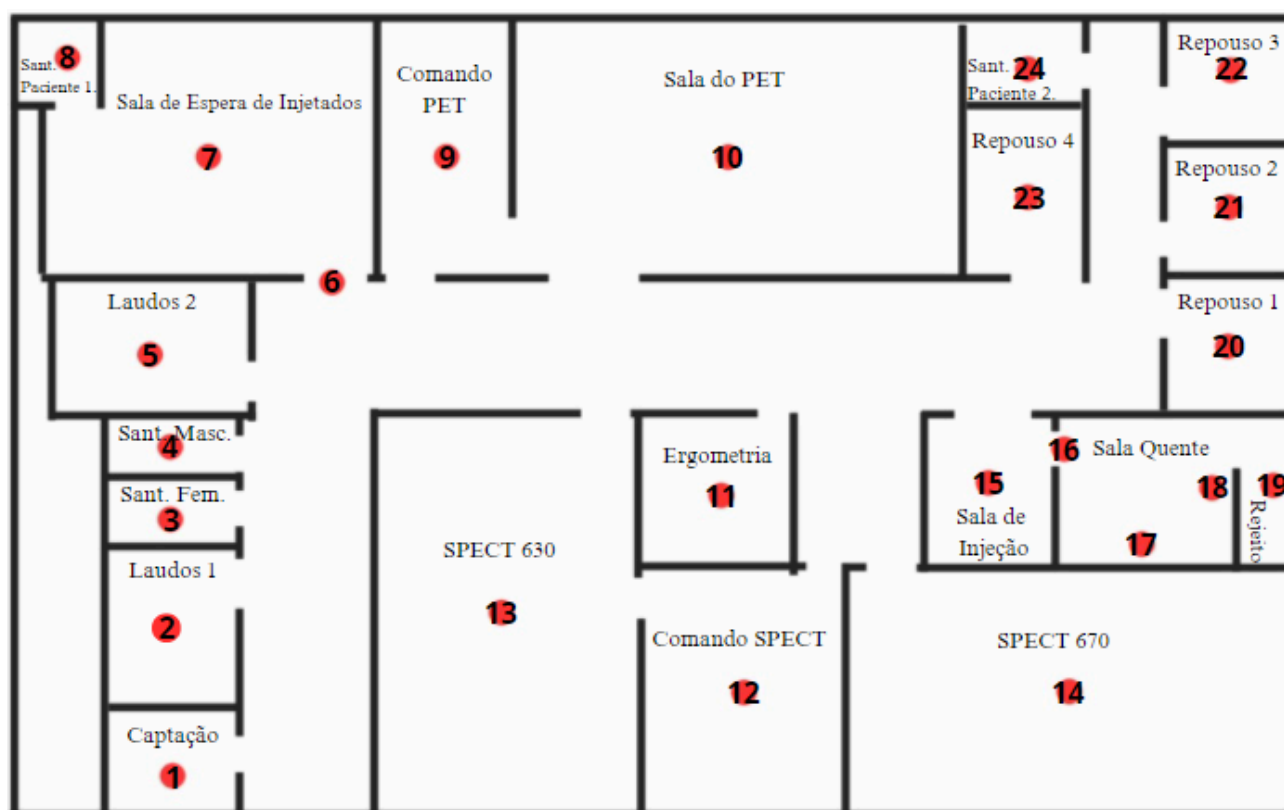
Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Para a coleta de dados foram estabelecidos 24 pontos no SMN-HCFMB, identificados na Figura 4. Os pontos de aferição foram determinados de acordo com a localização:

- Sala de manipulação de radionuclídeos, onde são armazenadas todas as fontes radioativas do setor, foram definidos três pontos de aferição, sendo o primeiro na entrada da sala (16), o segundo na capela (17) onde ocorre a manipulação dos radiofármacos e o terceiro onde se encontra o gerador de ^{99m}Tc (18);

- Sala de pacientes injetados, onde se encontram todos os pacientes injetados que aguardam para realização das imagens, foram definidos dois pontos de aferição, o primeiro na entrada da sala (6) e segundo no meio da sala (7);
- Demais salas do serviço: foi definido apenas um ponto de aferição em cada ambiente, localizado em seu centro e na direção de maior valor de taxa de exposição encontrado.

Figura 4 - Planta baixa do SMN-HCFMB com os pontos estabelecidos



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

As medidas foram realizadas de segunda à sexta-feira, duas vezes ao dia, uma no período da manhã, entre 8 e 10 horas e, outra no período da tarde, entre 12 e 13 horas, nos momentos em que se encontrava o maior número de pacientes injetados dentro do SMN-HCFMB. O processo de levantamento radiométrico de todas as áreas, tinha duração média de cerca de 15 minutos e foi conduzido mesmo em dias e horários em que não havia pacientes no serviço. O pesquisador se posicionava no centro da sala ou nos pontos nos quais havia mais de marcação na sala e com o GM na mão, as aferições foram realizadas na altura correspondente ao tórax, exceto no ponto 18, onde se encontra o gerador de ^{99m}Tc , em que a

aferição foi realizada na altura do cristalino. Todos os dados foram anotados em planilhas que se dividiam da seguinte maneira:

- Planilha 1: Registros das aferições do levantamento radiométrico nos pontos determinados na Figura 4, com data, horário e período;
- Planilha 2: Número e tipos de exames da agenda, com data e período e
- Planilha 3: Registro das atividades manipuladas de cada tipo de radionuclídeo, com data e período.

Os tipos de exame realizados no SMN-HCFMB foram coletados conforme especificações: cintilografia óssea, cintilografia de perfusão do miocárdio repouso e estresse e cintilografia renal, sendo considerados cintilografia renal dinâmica e estática. Os demais tipos, devido a baixa demanda foram englobados, de acordo com a atividade radioativa administrada ao paciente de ^{99m}Tc ou radiofármacos marcados com ^{99m}Tc e radionuclídeo:

- Miscelânea 1 (atividade até 5 mCi): pesquisa de linfonodo sentinela, cintilografia de perfusão pulmonar, pesquisa de esvaziamento líquido e sólido e pesquisa divertículo de Meckel;
- Miscelânea 2 (atividade entre 5 mCi até 20 mCi): cintilografia de glândulas salivares, cintilografia de paratireóides, cintilografia de tireóide, pesquisa de amiloidose cardíaca, cintilografia de perfusão cerebral e cintilografia de sincronização de câmaras cardíacas;
- Miscelânea 3 (radionuclídeos diferentes do ^{99m}Tc): pesquisa de corpo inteiro (PCI) com I-131, PCI com Ga-67, exames cardiológicos com Ga-67 ou Tl-201.

3.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística foi realizada no programa *The SAS System*, versão 9.4. Foi realizada a análise descritiva dos dados com frequência e porcentagem para as variáveis qualitativas, médias, medianas e o desvio padrão para as variáveis quantitativas. Foi analisada as medidas de monitoração de área durante a semana e seu período de aquisição com a quantidade e tipo de exames. Nessa etapa foi necessário o uso do Teste *T de Student* para as variáveis que apresentaram uma distribuição simétrica, e para aqueles que apresentaram uma distribuição assimétrica foi ajustado o Modelo Linear generalizado, com a distribuição gama, seguido de comparações múltiplas, isso para comparar os períodos manhã e tarde. Já para a comparação com os dias da semana foi utilizada ANOVA para as variáveis que apresentaram uma distribuição simétrica e para aqueles que apresentaram uma distribuição assimétrica foi

ajustado o Modelo Linear generalizado com distribuição gama, seguido de comparações múltiplas. Correlacionamos as medidas de monitoração de área com a quantidade dos tipos de exames e atividade radioativa administrada, para isso foi realizada a correlação de Person. Para a interpretação da correlação, foram considerados $r \leq 0,39$, correlação fraca, $0,40 \leq r \leq 0,69$, correlação moderada e $r \geq 0,70$ correlação forte. Para todos os casos foi considerado $p < 0,05$ como nível de significância.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise descritiva

Foram coletados dados de novembro de 2023 até abril de 2024 totalizando 80 dias, divididos nos períodos da manhã e tarde, onde foram compostos de 17 segundas, terças e quartas-feiras, 16 quintas-feiras e 13 sextas-feiras.

Tabela 2: Levantamento radiométrico nos pontos do SMN-HCFMB

Local do Setor	Média ($\mu\text{R/h}$)	Desvio Padrão ($\mu\text{R/h}$)	Mediana ($\mu\text{R/h}$)	Mínima ($\mu\text{R/h}$)	Máxima ($\mu\text{R/h}$)
BG	15,59	3,07	15,00	10,00	28,00
Captação	16,41	4,05	17,00	10,00	29,00
Laudos 1	17,33	3,82	17,00	10,00	29,00
Laudos 2	18,71	3,97	19,00	13,00	29,00
Comando PET*	15,99	9,18	15,00	10,00	118,00
Comando SPECT	18,58	4,93	18,50	10,00	41,00
Repouso 1	16,19	5,36	16,00	10,00	37,00
Repouso 4	17,65	4,76	17,00	10,00	33,00
Sanitário Feminino	20,47	5,12	20,00	12,00	38,00
Sanitário Masculino	21,65	5,18	21,00	12,00	39,00
Sala Quente- P16	39,77	26,75	33,50	18,00	214,00
Sala Quente- P17	68,48	52,35	53,00	12,00	316,00
Sala Quente- P18	867,09	516,20	760,00	83,00	4050,00
Rejeitos	421,41	448,56	203,00	12,00	3000,00
Sala de Espera- P6	336,89	442,37	83,50	9,00	1968,00

Sala de Espera- P7	436,91	622,26	191,50	10,00	3800,00
Ergometria	60,22	168,75	18,00	10,00	1240,00
SPECT 630	116,26	101,21	111,50	10,00	577,00
SPECT 670	94,75	90,14	76,50	11,00	501,00
Repouso 2	43,64	77,09	17,00	7,00	370,00
Repouso 3	25,91	40,30	16,00	10,00	284,00
Sanitário Pacientes 1	29,92	23,64	21,00	6,00	180,00
Sanitário Pacientes 2	18,34	15,94	16,00	6,00	211,00
Sala de Injeção	26,05	39,59	20,50	10,00	480,00
Sala do PET	22,38	7,82	21,00	9,00	52,00

Os valores da taxa de exposição na sala de comando do PET não apresentaram diferença estatística quando comparados aos valores da radiação de fundo (BG) de uma área livre, com $p = 0.31$ no teste *T de Student* para comparação de médias.

É possível observar que os locais em que os pacientes injetados não têm acesso e não há circulação de outras fontes, como as salas de laudos, as salas de comando, repouso 1 e 4, sanitários exclusivos para funcionários (feminino e masculino) não apresentam uma média da taxa de exposição alta.

O ponto 18, na sala quente, tem a maior mediana de taxa de exposição do serviço com 760 $\mu\text{R/h}$. Embora essa sala não tenha fluxo de pacientes, é o local onde são armazenadas todas as fontes radioativas do serviço e onde é realizada a manipulação dos radiofármacos. Nos momentos da aferição, vários cenários foram contemplados, como: manipulações, eluições, além de possíveis contaminações. Na sala de rejeito o cenário é parecido, uma vez que todos os rejeitos radioativos são armazenados para posterior descarte.

As salas de espera, ergometria, SPECT, repouso 2 e 3 e o sanitário de pacientes 1 apresentam maior taxa de exposição representando os locais de circulação e/ou permanência dos pacientes. A sala do PET, incluída neste estudo, não estava em funcionamento durante todo o período de coleta.

As Figuras 5 e 6 apresentam o levantamento radiométrico por dia da semana no período da manhã e tarde, respectivamente. É possível notar que os pontos de maior

circulação de pacientes apresentam maior variação nos períodos, assim como os pontos da sala quente. A linha vermelha nos gráficos representa o valor médio de BG.

Figura 5 - Levantamento Radiométrico por dia da semana no período da manhã

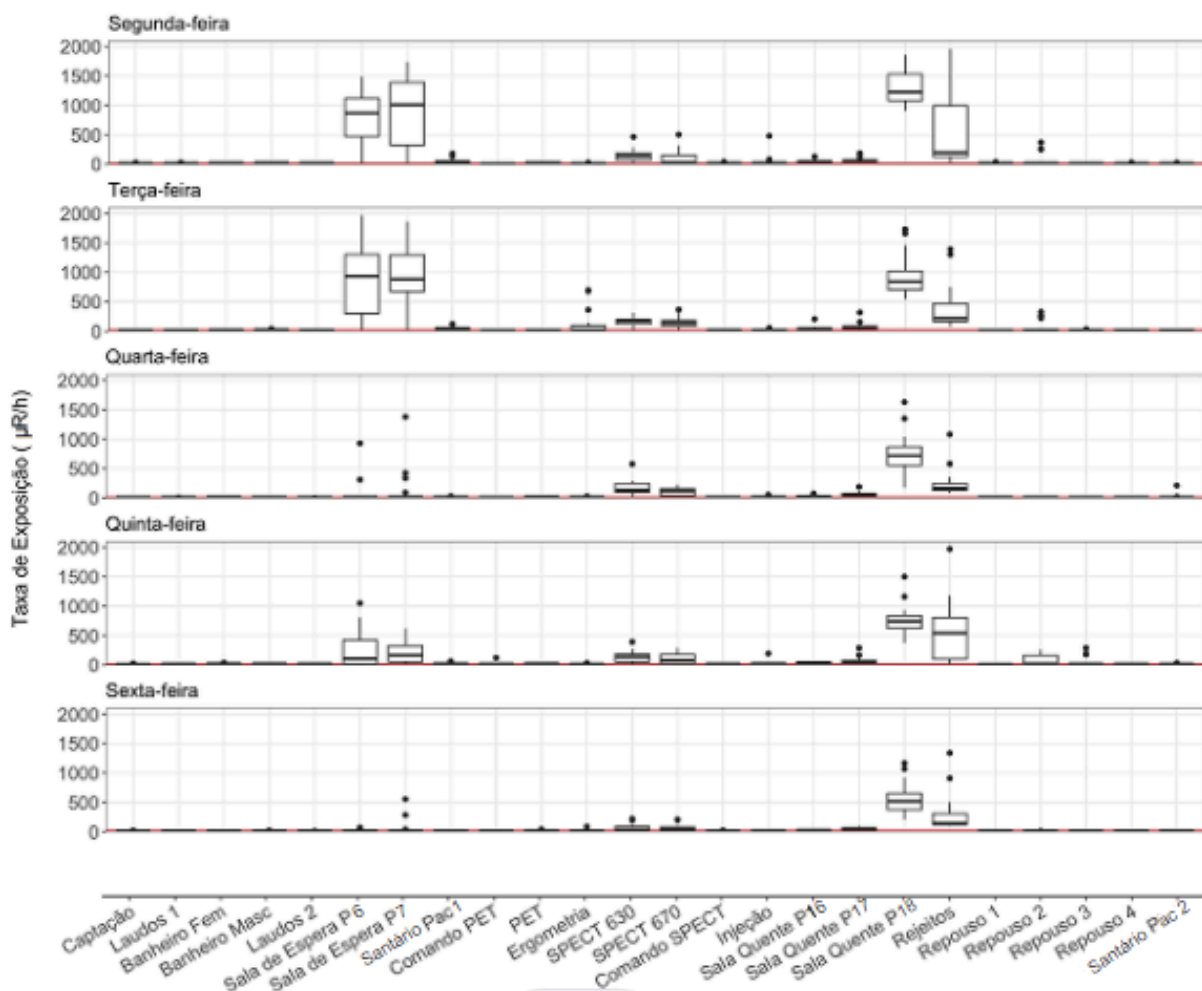
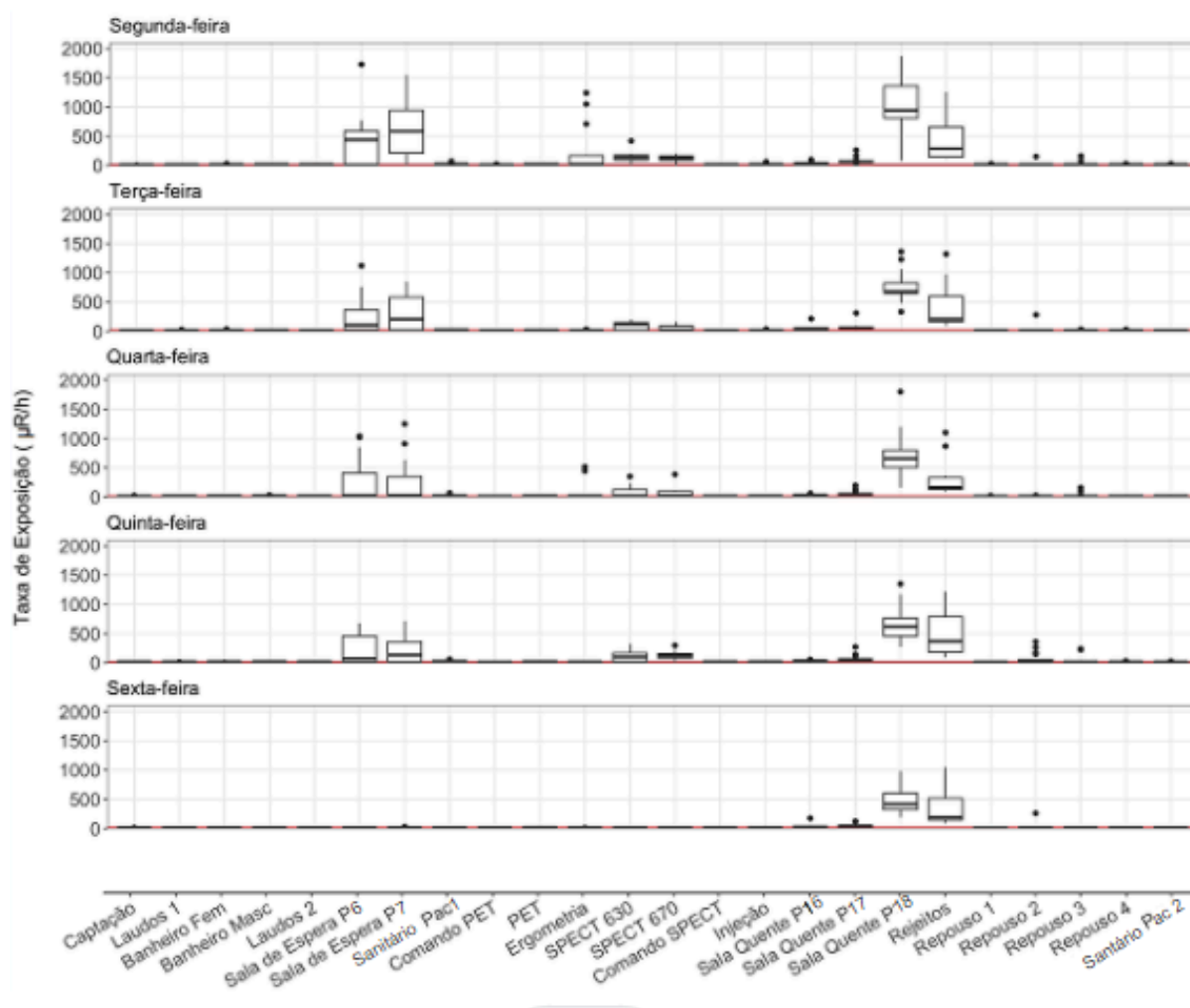


Figura 6 - Levantamento Radiométrico por dia da semana no período da tarde



Na literatura, estudos semelhantes [13-17] avaliaram o levantamento radiométrico em serviços de medicina nuclear, nos quais foram construídos mapas espaciais com o intuito de analisar a distribuição da taxa de exposição e da taxa de dose dentro dos locais. Assim como no nosso trabalho, os estudos encontraram como pontos de maiores taxas de exposição às salas de espera de pacientes injetados e a sala quente, seguidos pelas salas de exames e sanitários de pacientes.

Os tipos de exames realizados no serviço durante o período da coleta foram distribuídos em cintilografia óssea 288(27,40%), de perfusão do miocárdio estresse 242(23,10%) e repouso 215(20,5%), renal 92(8,7%), miscelânea 1 com 87(8,4%), 2 com 78(7,4%) e 3 com 48(4,5%), totalizando 1050 exames.

Em relação a atividade do radionuclídeo ^{99m}Tc em todo o período de coleta de dados, observamos média e desvio padrão de $293,53 \pm 174,82$ mCi, mediana de 241,40 mCi, variando

de 5 a 731,77 mCi. Já para a atividade de outros radionuclídeos, como I-131, Ga-67 e Tl-201, a média e desvio padrão foi de $8,15 \pm 30,55$ mCi, mediana de 6,86 mCi, variando de 0,0049 mCi a 115,52 mCi, respectivamente.

Na Tabela 3, observamos nas segundas, terças e quintas-feiras a maior quantidade de exames.

Tabela 3: Número de exames nos dias da semana

Dia da Semana	Média	Desvio Padrão	Mínima	Máxima	n (%)
Segunda- feira	11,15	12,50	12,00	30,00	378 (36,08)
Terça- feira	7,76	8,88	1,00	24,00	264 (25,12)
Quarta- feira	4,35	5,23	3,00	15,00	148 (14,08)
Quinta- feira	6,34	7,55	3,00	25,00	203 (19,31)
Sexta- feira	2,19	2,19	0,00	7,00	57 (5,41)

Na Tabela 4 observamos as maiores médias de atividades de ^{99m}Tc nas segundas, terças e quintas, respectivamente e, a atividade de outros radionuclídeos têm como maior média nas terças-feiras.

Tabela 4: Atividade radioativa dos radionuclídeos na semana

Dia da Semana	Atividade de ^{99m}Tc			Atividade outro radionuclídeo		
	Média (DP) (mCi)	Mínima (mCi)	Máxima (mCi)	Média (DP) (mCi)	Mínima (mCi)	Máxima (mCi)
Segunda- feira	268,81 (225,14)	268,77	731,77	2,24 (4,83)	0	19,47
Terça- feira	192,78 (202,55)	0	665,23	9,80 (28,02)	0	115,52
Quarta- feira	89,77 (113,63)	9,47	316,72	1,73 (6,13)	0	33,16
Quinta- feira	132,28 (147,11)	14,42	371,49	1,84 (6,84)	0	37,50
Sexta- feira	19,36 (28,97)	0	85,41	4,81 (19,13)	0	95,82

Já na **Tabela 5** podemos observar que a quantidade de exames e a atividade radioativa dos radionuclídeos tem um predomínio no período da manhã. No período da manhã foram realizados 974(92,76%) e a tarde 76(7,24%).

Tabela 5: Número de exames e atividade de radionuclídeos por períodos

	Manhã			Tarde		
	Média (DP)	Mínima	Máxima	Média (DP)	Mínima	Máxima
N de exames	12,18 (7,25)	0	28	0,95 (2,30)	0	14
Atividade de ^{99m}Tc	266,37 (185,41)	0	731,77	27,16 (57,07)	0	201,35
Atividade de Outros Radiofármacos	8,15 (21,77)	0	115,52	0 (0)	0	0

4.2 Comparação do Levantamento Radiométrico por Períodos e Dias das Semanas

Tabela 6: Comparação de médias do levantamento radiométrico por período

Local do Setor	Manhã			Tarde			p
	Média (DP) ($\mu\text{R/h}$)	Mínima ($\mu\text{R/h}$)	Máxima ($\mu\text{R/h}$)	Média (DP) ($\mu\text{R/h}$)	Mínima ($\mu\text{R/h}$)	Máxima ($\mu\text{R/h}$)	
Sanitário Masculino	22,05 (5,85)	14,00	39,00	21,25 (4,41)	10,00	34,00	0,0124
Laudos 2	18,49 (4,41)	13,00	28,00	18,94 (3,50)	9,00	29,00	0,0417
Sala de Espera- P6	416,06 (515,27)	12,00	1968,00	257,71 (340,09)	10,00	1729,00	0,0367
Sala de Espera- P7	573,30 (782,03)	11,00	3800,00	300,51 (360,63)	6,00	1550,00	0,0064
Sanitário Pacientes 1	34,05 (29,92)	10,00	180,00	25,79 (13,95)	10,00	72,00	0,0024
Ergometria	42,82 (112,29)	10,00	696,00	77,60 (209,98)	11,00	1240,00	0,0043
SPECT 630	138,23 (106,46)	10,00	577,00	94,29 (91,14)	11,00	419,00	0,0099
SPECT 670	11,65 (101,33)	11,00	501,00	77,85 (74,22)	12,00	386,00	0,0157
Repouso 2	51,74 (87,01)	7,00	370,00	35,55 (65,26)	10,00	358,00	0,0302

A Tabela 6, mostram diferenças de médias do levantamento radiométrico entre os períodos manhã e tarde, nos dois pontos da sala de espera, sanitário de pacientes 1, ergometria, SPECT 630 e 670 e repouso 2 representando a concentração de exames e agendamento que ocorre no período da manhã, já confirmados pela Tabela 5. Isto se deve,

pelo fato, de que o serviço preconiza a eluição do gerador no período da manhã e em raras exceções à tarde.

Tabela 7: Comparação de médias entre os tipos de exames realizados no SMN-HCFMB por período

Exames	Manhã			Tarde			p
	Média (DP)	Mínima	Máxima	Média (DP)	Mínima	Máxima	
Miscelânea 2	0,98 (1,45)	0	6	0 (0)	0	0	<0,0001
Cintilografia de Perusão Miocárdica Estresse	1,99 (3,10)	0	10	0,70 (1,70)	0	6	0,0186
Cintilografia de Perusão Miocárdica Repouso	2,96 (3,84)	0	13	0,06 (0,37)	0	3	0,0097

Na Tabela 7, verificamos diferença entre a comparação de médias dos tipos de exames realizados nos períodos, a miscelânea 2, que englobam exames realizados somente no período da manhã. Já as cintilografias de perfusão do miocárdio estresse e repouso, há um predomínio destes exames no período da manhã.

Observamos uma diferença na comparação de médias para atividade de ^{99m}Tc nos períodos manhã e tarde com $p=0,0009$. Em relação aos outros radionuclídeos, houve diferença na comparação de médias nos períodos, com $p=0,0004$, uma vez que não houve manipulação destas atividades no período da tarde. Essa diferença também se conserva na comparação de médias do número de exames realizados na manhã e à tarde, com $p<0,0001$, indicando que a quantidade de exames realizados de manhã é expressivamente maior, uma vez que o período de maior atividade de radionuclídeos também é o mesmo. Esta é uma particularidade deste serviço, que preconiza a eluição do gerador somente uma vez ao dia, no período da manhã, somente com algumas raras exceções quando houver necessidade de nova eluição no período da tarde, levando então, a maiores atividades radioativas e exames agendados neste período.

Comparando os dias da semana com os locais do levantamento radiométrico, 10 locais apresentaram significância estatística, para melhor visualização de sua variação durante esses dias foram plotados gráficos *boxplot* que estão representados nas Figuras 7-16.

Figura 7: Comportamento da taxa de exposição da sala de espera-P6 ao longo da semana

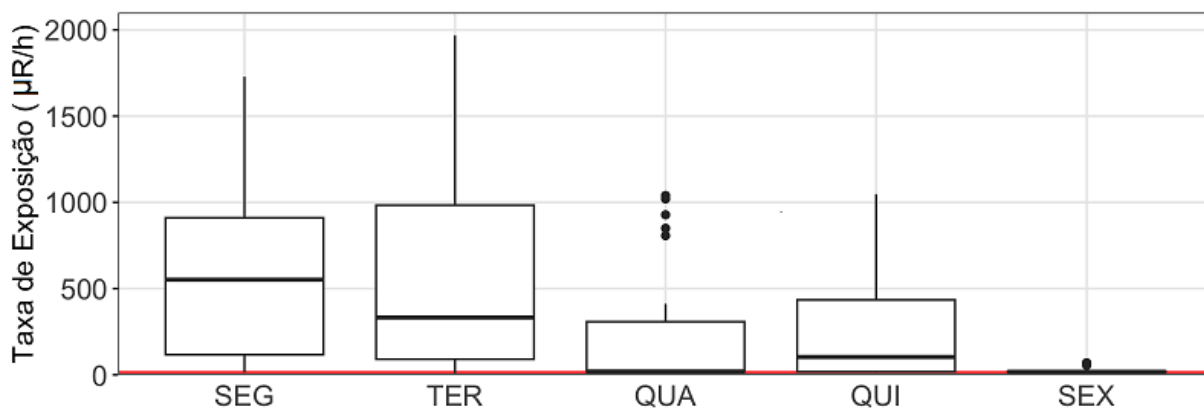


Figura 8: Comportamento da taxa de exposição da sala de espera-P7 ao longo da semana

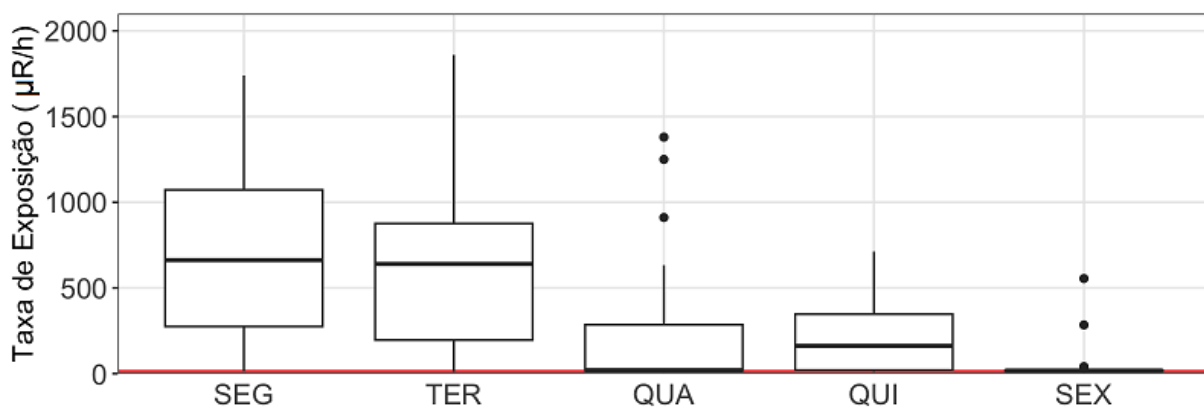


Figura 9: Comportamento da taxa de exposição do sanitário de pacientes 1 ao longo da semana

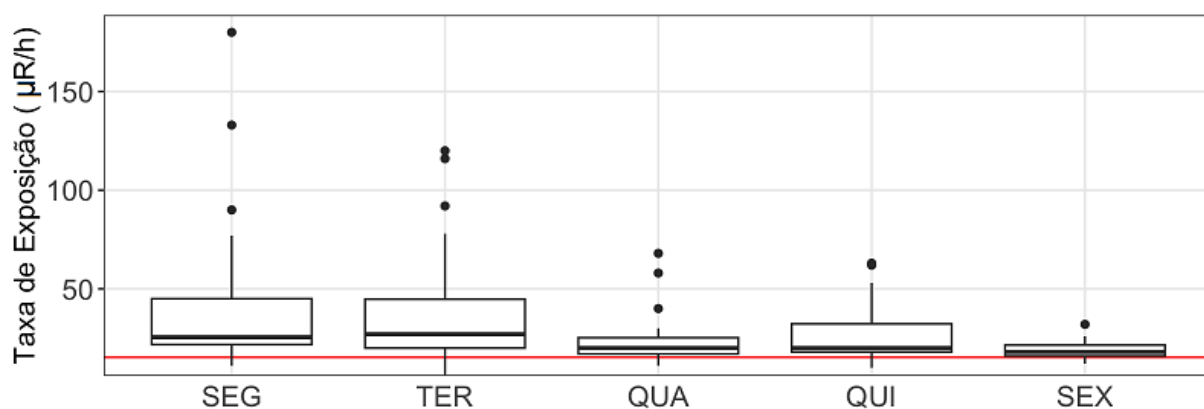


Figura 10: Comportamento da taxa de exposição da ergometria ao longo da semana

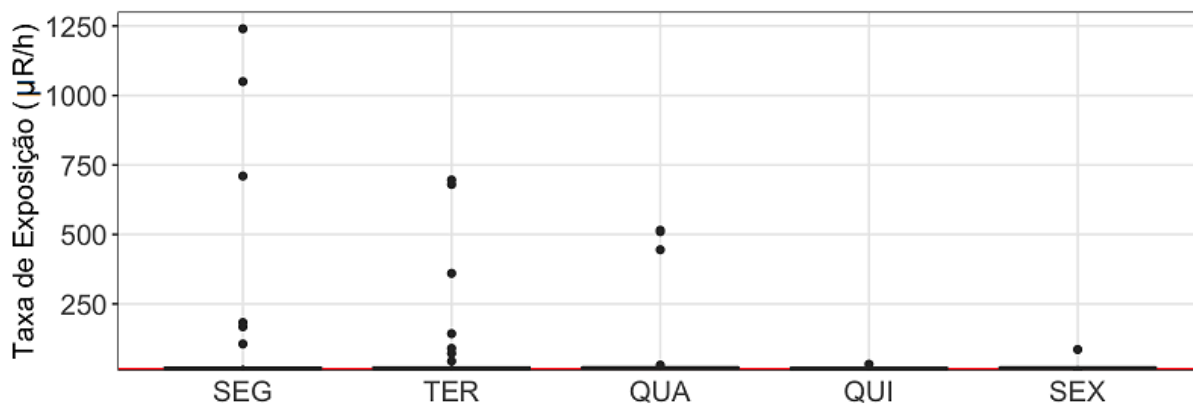


Figura 11: Comportamento da taxa de exposição da sala do SPECT 630 ao longo da semana

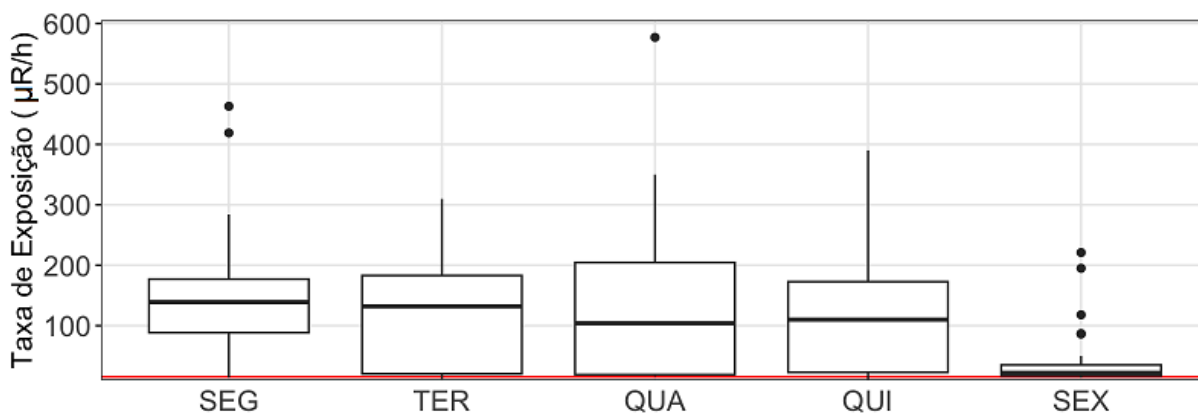


Figura 12: Comportamento da taxa de exposição da sala do SPECT 670 ao longo da semana

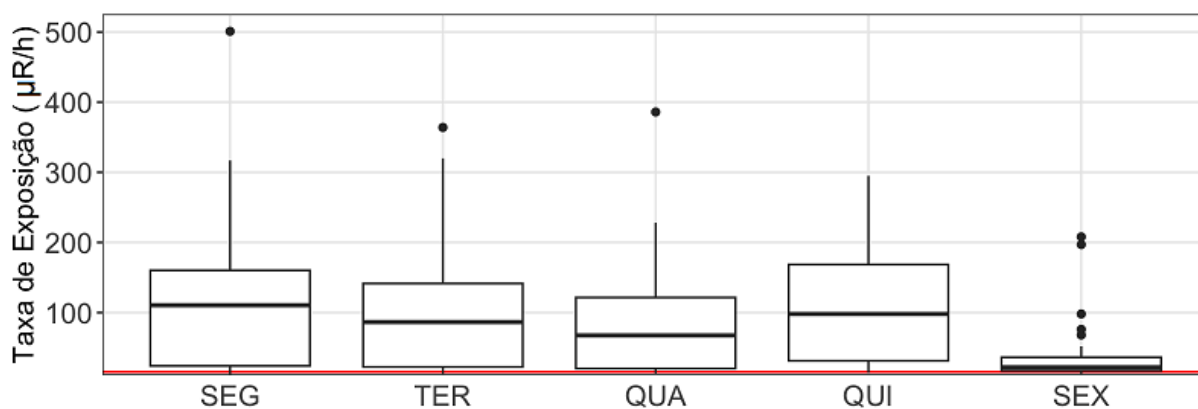


Figura 13: Comportamento da taxa de exposição da sala quente- P16 ao longo da semana

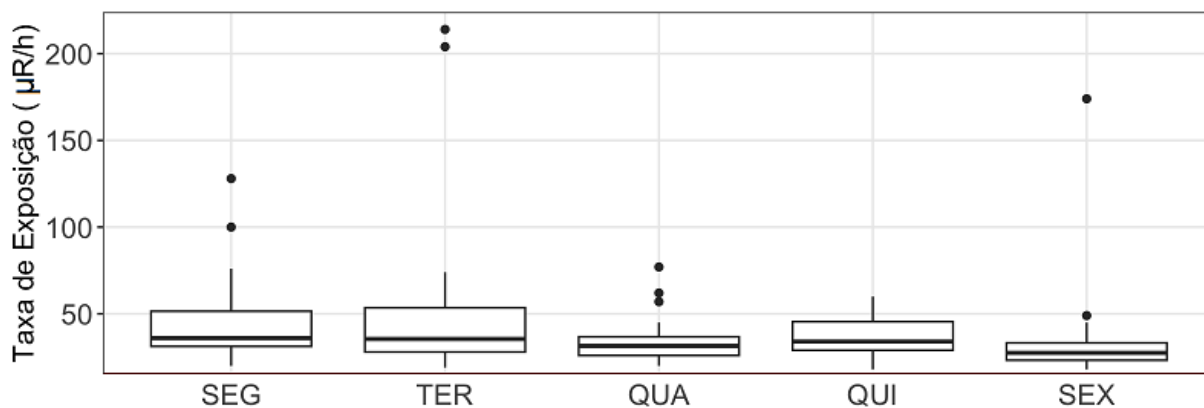


Figura 14: Comportamento da taxa de exposição da sala quente- P17 ao longo da semana

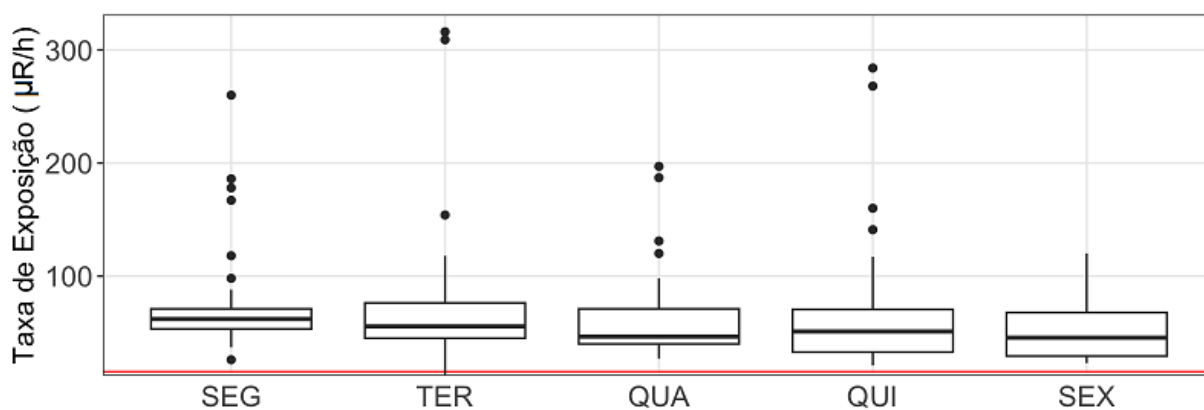


Figura 15: Comportamento da taxa de exposição da sala quente- P18 ao longo da semana

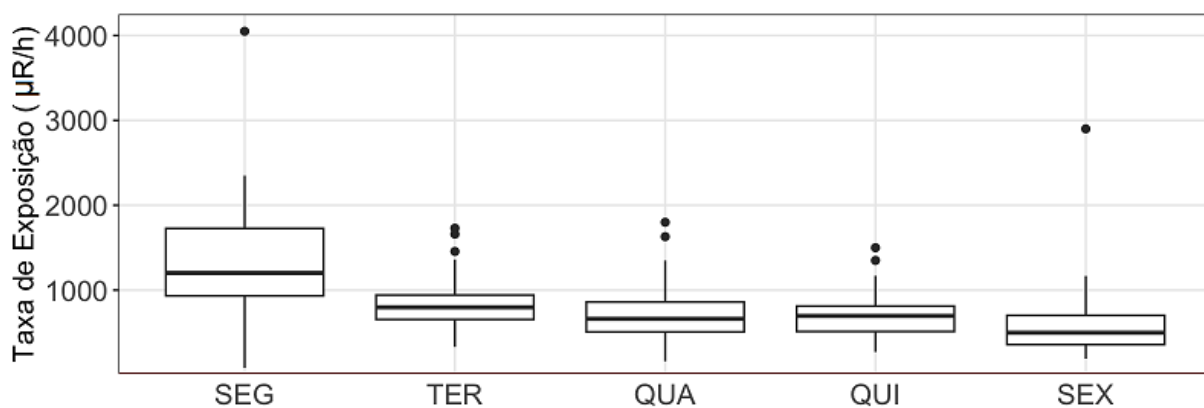
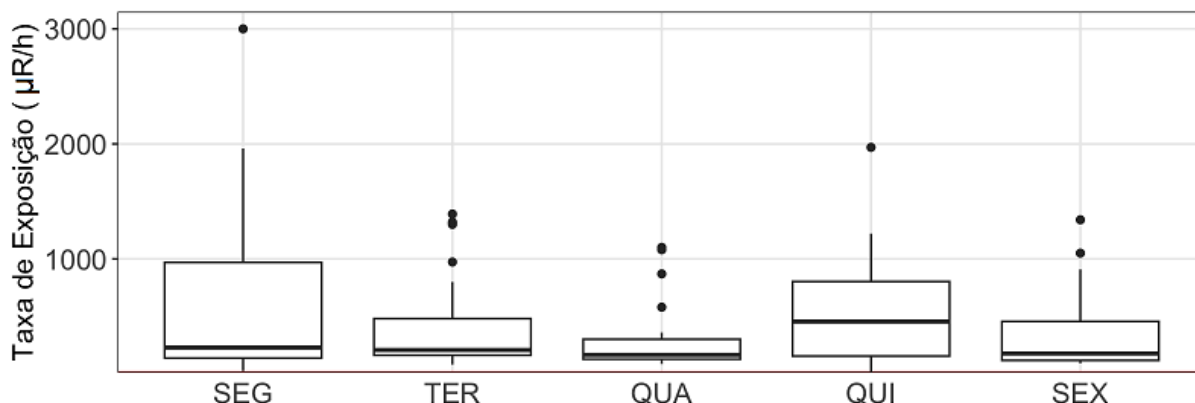


Figura 16: Comportamento da taxa de exposição da sala de rejeitos ao longo da semana



Os locais de maior permanência e circulação de pacientes representados pela sala dos pacientes e sanitário de pacientes 1, apresentam diferenças na comparação de médias do levantamento radiométrico com os dias da semana, sendo verificado de segunda à quarta-feira uma redução gradativa das médias das taxas de exposição, provavelmente decorrente do decaimento do gerador de ^{99m}Tc , que apresenta sua maior eluição na segunda-feira e com redução gradativa no decorrer da semana. Na quinta-feira, observamos um leve aumento na taxa de exposição, mesmo com redução da atividade do eluato, no entanto, neste dia concentram-se os exames de maior permanência do paciente no serviço.

A sala de ergometria apresenta funcionamento apenas de segunda à quarta-feira, representados pelas médias das taxas de exposição nestes dias. Já as salas SPECT 630 e 670 mostram o declínio gradativo das médias das taxas de exposição no decorrer da semana, com exceção de quinta-feira na SPECT 670, devido a maior utilização desta sala.

A sala quente nos pontos P6 e P7 apresentam declínio gradativo da taxa de exposição conforme decaimento do gerador de ^{99m}Tc . A sala de rejeitos apresenta também declínio gradativo da taxa de exposição nos ambientes de segunda à quarta-feira, conforme decaimento do gerador de ^{99m}Tc . No entanto, quinta e sexta-feira, apresentam novo aumento da taxa de exposição neste local devido ao fechamento e armazenamento dos rejeitos utilizados no setor durante os três primeiros dias da semana, como caixas de perfurocortantes.

As salas de repouso e sanitário de pacientes 2 apresentam utilização de acordo com a demanda, assim, não possuem rotina fixa no serviço.

Novamente, é apresentada uma diferença de médias do levantamento radiométrico ao longo da semana no sanitário masculino e no comando do PET que, provavelmente, apresentam interferência de radiação adjacente e/ou flutuações estatísticas.

Tabela 8: Comparação de médias entre os exames realizados no SMN-HCFMB por dias da semana

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	
Exames	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	p
Miscelânea 1	0,50 (4,36)	0,06 (0,24)	0,35 (0,81)	1,31 (1,53)	0,54 (1,14)	0,0360
Miscelânea 2	0,53 (0,93)	0,44 (1,11)	1,06 (1,79)	0 (0)	0,35 (0,85)	0,0441
Cintilografia Renal	0,06 (1,67)	0,03 (0,17)	0,79 (1,25)	0,97 (2,60)	1,19 (1,86)	0,0053
Cintilografia de Perfusão Miocárdica Repouso	3,12 (2,68)	3,59 (4,22)	0,41 (1,44)	0 (0)	0 (0)	0,0091
Cintilografia de Perfusão Miocárdica Estresse	2,03 (0,24)	3,18 (3,56)	1,12 (2,23)	0 (0)	0 (0)	0,0421

Na Tabela 8 observa-se que os exames de cintilografia renal são realizados de quarta a sexta-feira. As cintilografias de perfusão de miocárdio repouso são realizados predominantemente às segunda e terças-feiras e, casualmente, às quartas. Já a cintilografia de estresse é realizada de segunda à quarta-feira, com predomínio de maior número às terças. A miscelânea 1 tem predomínio na quinta e a 2 na quarta-feira.

Ao comparar as médias das atividades dos radionuclídeos nos dias da semana, o ^{99m}Tc teve um $p < 0,0001$, com média e desvio padrão já demonstrados na Tabela 4, apresentando um padrão de maior atividade na segunda, terça e quinta, respectivamente, decorrentes do número de exames nestes dias. Em relação a comparação de médias do número total de exames durante a semana, obteve-se $p = 0,0084$, com média e desvio padrão já demonstrados na Tabela 3, também com o mesmo padrão de distribuição que a atividade. Este padrão de distribuição de exames é peculiar de cada serviço de medicina nuclear, atendendo a demanda e a disponibilidade do serviço. Particularmente neste serviço, às quartas e sextas à tarde não há agendamentos de exames cintilográficos, pois a sala de SPECT 670 que conta com um aparelho híbrido (gama câmara e tomografia computadorizada) é utilizada apenas a tomografia computadorizada.

4.3 Correlação das Medidas de Monitoração de Área

Inicialmente foi realizada a correlação entre o levantamento radiométrico e o número de tipos de exames cintilográficos e atividade de ^{99m}Tc .

Tabela 9: Correlação entre levantamento radiométrico e os tipos de exames

Local do Setor	Cintilografia Óssea	Cintilografia Renal	Cintilografia Perfusão Miocárdio Estresse	Cintilografia Perfusão Miocárdio Repouso
	(r) (p)	(r) (p)	(r) (p)	(r) (p)
Sala de Espera- P6	0,17602 0,02600	-0,22385 0,00440	0,38252 <0,0001	0,66838 <0,0001
Sala de Espera- P7	0,14814 0,06160	-0,20023 0,01100	0,38252 0,00010	0,69237 <0,0001
Sanitário Pacientes 1	0,19029 0,01590	-0,16680 0,03500	0,30402 <0,0001	0,49624 <0,0001
Sanitário Masculino	0,14823 0,06140	-0,21522 0,00630	0,26023 0,00090	0,37401 <0,0001
Sala Quente- P16	0,16533 0,03670	-0,07897 0,32090	0,13143 0,09760	0,16262 0,03990
Sala Quente- P18	0,30158 0,00010	-0,09974 0,20950	0,15444 0,05120	0,29588 0,00010
SPECT 630	0,11702 0,14060	0,01092 0,89100	0,19255 0,01470	0,24014 0,00220
SPECT 670	0,15522 0,05000	0,12450 0,11680	0,19507 0,01320	0,25511 0,00110
Repouso 2	0,18525 0,01900	0,04440 0,57690	-0,05392 0,49830	0,16622 0,03570
Sanitário Feminino	0,16909 0,03260	-0,00247 0,97530	0,04206 0,59750	0,13849 0,08070
Comando PET	0,15539 0,04980	0,07538 0,34350	-0,09423 0,23590	-0,09357 0,23930
Ergometria	-0,08179 0,30390	-0,78290 0,32510	0,20769 0,00840	0,04412 0,57960
Sala de Injeção	0,27259 0,00050	0,02679 0,73670	-0,05312 0,50470	0,13472 0,08940
Sanitário Pacientes 2	-0,02589 0,74520	0,18280 0,02070	0,13940 0,07870	-0,06970 0,38120

*r coeficiente de correlação de Pearson

Na cintilografia óssea, os locais de maior circulação dos pacientes como a sala de espera, sanitário de pacientes 1, sala de injeção e repouso 2 apresentaram significância com os valores de levantamento radiométrico, porém com coeficiente de correlação fraco. Já na sala de injeção, por ter um fluxo grande de pacientes sendo administrados, conta com uma maior variabilidade de medidas, tornando a interpretação das correlações menos precisa. Nas salas de espera, sanitário dos pacientes 1 e repouso 2, a correlação com as taxas de exposição se justifica pelo período que o paciente permanece nelas entre a injeção do radiofármaco até a aquisição de imagens, que pode variar de 2 a 4 horas.

No exame de cintilografia renal, os locais de maior circulação dos pacientes são: a sala de espera e os sanitários de pacientes 1 e 2. Os pontos da sala de espera e o sanitário 1 apresentam correlação fraca e negativa. Isto pode ser atribuído ao fato deste tipo de exame ser composto principalmente pela faixa etária pediátrica, que recebem menores atividades radioativas, levando a menores taxas de exposição. Além disso, quando há presença de pacientes adultos injetados na sala de espera, os pacientes pediátricos podem ser remanejados para outras salas, como as salas de repouso, para que sejam menos expostos à radiação. Essa hipótese também explica o coeficiente de correlação positivo encontrado para o sanitário de pacientes 2, uma vez que esses pacientes, enquanto permanecem nas salas de repouso, utilizam este sanitário. Ademais, neste tipo de estudo, o paciente geralmente aguarda após a injeção para aquisição das imagens um período de 2 a 3 horas, sendo orientado a realizar a micção antes da aquisição das imagens, sendo, portanto, utilizados os sanitários 1 e 2.

Coefficientes de correlação negativos encontrados entre alguns exames e salas do setor podem ser entendidos como um reflexo das particularidades desses exames. Embora determinado exame, como a cintilografia renal, seja frequente, o seu fluxo leva os pacientes a ocupar salas específicas, deixando outras desocupadas. Assim, pode surgir uma relação negativa entre o número de exames executados e as taxas de exposição nos ambientes não ocupados.

A ergometria é utilizada para realizar a fase de estresse pelo cardiologista, portanto justifica a correlação somente com o exame de perfusão miocárdica na fase de estresse. As salas de exames SPECT 630 e 670 representaram significância com correlação fraca, provavelmente porque este tipo de exame apresenta maior número de repetição de aquisição de imagens, levando ao maior tempo de permanência nestas salas.

A correlação entre o número de cintilografia de perfusão do miocárdio de repouso, apresentou significância e força moderada nos pontos sala de espera e sanitário dos pacientes

1, provavelmente devido ao tempo de permanência do paciente no serviço. Este tipo de exame apresenta várias repetições de aquisição de imagens, uma vez que depende da excreção fisiológica de cada paciente. A sala de repouso 2 abriga pacientes acamados, muito frequentes neste tipo de cintilografia.

O número de exames categorizados como miscelânea 1 apresentou correlação com significância, embora fraca, apenas com a sala de captação e a sala de comando do PET. Isso se deve, provavelmente, a flutuações estatísticas, já que nenhum paciente tem acesso ao comando do PET e a sala de captação recebe apenas pacientes que realizam procedimentos com I-131, categorizado no grupo de exames miscelânea 3.

A correlação entre o número de exames que englobam a miscelânea 2 e o levantamento radiométrico apresentou significância estatística, embora fraca, apenas para as salas de exames SPECT 630 e 670. Os exames deste grupo possuem maior tempo de permanência do paciente nessas salas, como a cintilografia de paratireoide, uma vez que necessita de maior tempo de duração da aquisição das imagens.

A correlação entre o número de exames que englobam a miscelânea 3 e o levantamento radiométrico apresentou significância com correlação fraca apenas para sala de espera e sanitário dos pacientes 1, locais onde os pacientes aguardam para aquisição das imagens. Neste grupo, encontram-se os exames cardíacos com tálio-201, nos quais os pacientes realizam imagens após 10 minutos da injeção e aguardam na sala de espera para aquisição por até 4 horas após a injeção. Muitas das indicações dos exames de gálio-67 necessitam também de imagens de 6 horas após a injeção, gerando também mais tempo de espera na sala.

Tabela 10: Correlação entre levantamento radiométrico com Atividade de ^{99m}Tc e número de exames

Local do Setor	Atividade de ^{99m}Tc	Número de Exames
	(r) (p)	(r) (p)
Sanitário Feminino	0,18146	0,16384
	0,02170	0,03840
Sanitário Masculino	0,30333	0,24997
	<0,00010	0,00140
Sala de Espera- P6	0,51166	0,44342
	<0,00010	<0,00010
Sala de Espera- P7	0,48398	0,45552
	<0,00010	<0,00010

Sanitário Pacientes 1	0,40998 <0,00010	0,38696 <0,00010
Comando SPECT	0,18968 0,01630	0,17098 0,03060
SPECT 630	0,28581 0,00020	0,27141 0,00050
SPECT 670	0,31024 <0,00010	0,32791 <0,00010
Sala de Injeção	0,20339 0,00990	0,22464 0,00430
Sala Quente- P16	0,20775 0,00840	0,17053 0,03110
Sala Quente- P18	0,33886 <0,00010	0,32666 <0,00010

*r coeficiente de correlação de Pearson

Na Tabela 10, podemos observar nível de significância e correlação moderada para sala de espera nos dois pontos medidos e no sanitário dos pacientes 1, representando os locais de maior tempo de permanência de pacientes no setor e, portanto, de maior número de concentração de fontes radioativas. Além disso, o número de exames nestes mesmos locais mostra nível de significância e correlação seguindo praticamente o mesmo padrão da atividade radioativa. No entanto, estes pontos de maior correlação não se repetem com mesmo poder no levantamento radiométrico, uma vez que “nossas fontes radioativas” não estão confinadas a apenas um ambiente do serviço, podendo estar em outras dependências.

Os pontos que representam os sanitários feminino e masculino de funcionários e salas de comando do PET e SPECT são de circulação exclusiva de funcionários. A sala de comando do PET, inclusive, exibe padrão de taxa de exposição compatível com uma área livre. Assim, a eventual presença de significância estatística nos valores de taxa de exposição encontrados nessas salas pode ser atribuída a flutuações estáticas ou interferência de pacientes circulando próximos ao local no momento da medição.

4.3.1 Correlação da Atividade do ^{99m}Tc com o Número e Tipos de Exames

Tabela 11: Correlação entre a atividade de ^{99m}Tc com os tipos de exames realizados no SMN-HCFMB

Exame	Atividade de ^{99m}Tc	
	r	p
Cintilografia Óssea	0,65881	<0,0001
Cintilografia de Perfusão Miocárdica Estresse	0,54803	<0,0001
Cintilografia de Perfusão Miocárdica Repouso	0,77026	<0,0001
Miscelânea 1	0,30835	<0,0001
Miscelânea 2	0,29369	0,0002
Miscelânea 3	0,30202	0,0001

*r coeficiente de correlação de Pearson

Observamos nível de significância e correlação forte entre atividade de ^{99m}Tc e cintilografia de perfusão do miocárdio repouso e moderada com cintilografia óssea, cintilografia de perfusão do miocárdio estresse, pois estes tipos de cintilografias representam o maior número de tipos de cintilografias realizadas, fornecendo assim, dados estatísticos para melhor representatividade. Já as miscelâneas apresentaram correlação fraca, devido ao pequeno número analisado, mesmo após o agrupamento.

A correlação da atividade radioativa em função do número de procedimentos conduzidos durante toda a coleta, mostrou uma forte correlação, tanto no período da manhã ($p < 0,001$, $r = 0,91$), quanto no período da tarde ($p < 0,001$ e $r = 0,78$), sendo assim, quanto maior o número de exames, maior a atividade radioativa.

5. CONCLUSÃO

O levantamento radiométrico do SMN-HCFMB mostrou que a sala de espera, o sanitário do paciente 1 e as salas de exames são os locais do serviço que recebem uma maior taxa de exposição, devido a maior permanência e circulação dos pacientes nestes ambientes. Já a sala quente e de rejeitos apresentam maiores taxas comparadas aos outros ambientes por abrigarem fontes ou rejeitos radioativos.

Em relação ao número de exames e atividade radioativa tivemos um maior predomínio nas segundas, terças e quintas, respectivamente. O levantamento radiométrico durante a semana, na sala de espera dos pacientes, sanitário de pacientes 1, salas de exames, sala quente e rejeitos apresentou praticamente o mesmo padrão.

Quanto a distribuição dos tipos de exames durante a semana, revelou predominância da cintilografia de perfusão do miocárdio repouso e estresse na segunda e terça e cintilografia renal de quarta à sexta-feira.

Além disso, podemos concluir que o período da manhã é o que movimenta o serviço, onde acontece o maior fluxo de atividade dos radionuclídeos e número de exames, consequentemente gerando uma taxa de exposição mais alta nesse período.

A correlação entre atividade radioativa e o tipo de exame mostrou correlações moderada em cintilografia ósseas e de perfusão do miocárdio estresse e forte para as de repouso. A correlação entre atividade radioativa e número de exames por período mostrou correlação forte para ambos os períodos, demonstrando que quanto maior o número de exames, maior a atividade radioativa circulante. Apesar disso, quando correlacionamos o levantamento radiométrico e o número, tipo de exames ou atividade radioativa, apesar do nível de significância, não houve nenhuma correlação forte, isto provavelmente ocorreu, pois, as “fontes radioativas” não ficavam confinados em um ambiente e sim, circulantes ou distribuídas em outros ambientes do serviço.

A continuidade deste estudo permitirá chegar a maiores conclusões.

REFERÊNCIAS

- [1] ALMEIDA, R. dos S. **Medicina Nuclear: do surgimento à atualidade pela ótica dos radionuclídeos**. 2009. 72 p. Dissertação (Licenciatura em Química) — Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/6533/2/Rodrigo%20dos%20Santos%20Almeida.pdf>.
- [2] CHERRY, S. R.; SORENSON, J. A.; PHELPS, M. E. **Physics in Nuclear Medicine**. Fourth Edition. ed. [S. l.]: Elsevier Saunders, 2012. 546 p.
- [3] VITAL, K. D.; LIMA, W. G.; PESSOA, R. M.; FERNANDES, S. O.; CARDOSO, V. N. **Radiofármacos e suas aplicações**. Brazilian Journal of Health and Pharmacy, [S. l.], v. 1, n. 2, p. 69–79, 2019. Disponível em: <https://bjhp.crfmg.org.br/crfmg/article/view/80>. Acesso em: 16 abr. 2024.
- [4] TAUHATA, L.; SALATI, I.; DI PRINZIO, R.; DI PRINZIO, A. R. **RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA: FUNDAMENTOS**. 9. ed. rev. Rio de Janeiro: IRD/CNEN., 2013. 345 p.
- [5] THRALL, J.; ZIESS, H.; O'MALLEY, J. **Nuclear Medicine**. Fourth Edition. ed. [S. l.]: Elsevier Saunders, 2014. 466 p.
- [6] CNEN. **Quem Somos**. Disponível em: <http://antigo.cnen.gov.br/quem-somos>.

- [7] CNEN. **CNEN-NN-3.01: Requisitos Básicos de Radioproteção e Segurança Radiológica de Fontes de Radiação**, Março de 2024.
- [8] CNEN. **CNEN-NN-3.05 - Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Medicina Nuclear**, Dezembro de 2013.
- [9] ANVISA. **Resolução da Diretoria Colegiada- RDC N° 611**, Março de 2022.
- [10] CNEN. **CNEN-NE-3.02. Serviços de Radioproteção**, Setembro de 2018.
- [11] CAMARGO, L. F. **Controle de Qualidade dos detectores *Geiger-Müller***. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Física Médica) - UNESP, Botucatu, 2018. p. 36.
- [12] Acesso a site: <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/br/pt/4250685>
- [13] PINHEIRO, R. M. **Mapeamento do Nível Radiométrico e Construção de Mapa Espacial em Serviço de Medicina Nuclear**. 2013.
- [14] OLIVEIRA, C. V.; MENDONÇA, C.; SILVA, E. T.; MORIGUCHI, S. M.; KOGA, K. H. **Mapa Espacial de Dose do Serviço de Medicina Nuclear do Hospital das Clínicas de Botucatu**. Revista Brasileira de Física Médica, 2013.
- [15] LOPES, P. H. S.; BARROS, F. S. **Mapa espacial de dose em serviço de medicina nuclear**. Anais do Simpósio em Engenharia Biomédica VIII, 2015.
- [16] BÉRGAMO, P. L.; CAMARGO, L. F.; MODA, K. A.; BIASOTTI, G. G. A.; MORIGUCHI, S. M.; KOGA, K. H.; ZANDON, E. A. **Estudo Preliminar e Mapeamento dos Níveis de Taxa de Exposição do Serviço de Medicina Nuclear do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Botucatu – UNESP**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Física Médica) - UNESP, Botucatu, 2019.
- [17] VILLA, S. A. **GUIA PARA LEVANTAMENTO RADIOMÉTRICO EM SERVIÇOS DE MEDICINA NUCLEAR**. 2021. 38 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Física Médica) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre, 2021.

ANEXO A: TABELAS COMPLETAS

Tabela 6: Comparação de médias do levantamento radiométrico por período

Local do Setor	Manhã			Tarde			P
	Média (DP) (μ R/h)	Mínima (μ R/h)	Máxima (μ R/h)	Média (DP) (μ R/h)	Mínima (μ R/h)	Máxima (μ R/h)	
Sanitário Masculino	22,05 (5,85)	14,00	39,00	21,25 (4,41)	10,00	34,00	0,0124
Laudos 2	18,49 (4,41)	13,00	28,00	18,94 (3,50)	9,00	29,00	0,0417
Sala de Espera- P6	416,06 (515,27)	12,00	1968,00	257,71 (340,09)	10,00	1729,00	0,0367
Sala de Espera- P7	573,30 (782,03)	11,00	3800,00	300,51 (360,63)	6,00	1550,00	0,0064
Sanitário Pacientes 1	34,05 (29,92)	10,00	180,00	25,79 (13,95)	10,00	72,00	0,0024
Ergometria	42,82 (112,29)	10,00	696,00	77,60 (209,98)	11,00	1240,00	0,0043
SPECT 630	138,23 (106,46)	10,00	577,00	94,29 (91,14)	11,00	419,00	0,0099
SPECT 670	11,65 (101,33)	11,00	501,00	77,85 (74,22)	12,00	386,00	0,0157
Repouso 2	51,74 (87,01)	7,00	370,00	35,55 (65,26)	10,00	358,00	0,0302
Laudos 1	16,88 (4,00)	10,00	29,00	17,78 (3,59)	11,00	27,00	0,3289
Captação	15,85 (4,22)	15,00	29,00	16,98 (3,83)	10,00	27,00	0,3934
Sanitário Feminino	20,81 (5,56)	10,00	38,00	20,13 (4,64)	12,00	37,00	0,1103
Sala PET	22,70 (8,38)	9,00	52,00	22,06 (7,25)	10,00	38,00	0,2012
Comando PET	16,78 (12,40)	10,00	118,00	15,20 (3,80)	11,00	24,00	0,1026
Comando SPECT	19,03 (5,61)	10,00	41,00	18,14 (4,13)	10,00	28,00	0,2506
Sala de Injeção	31,16 (55,22)	10,00	480,00	20,94 (7,23)	10,00	63,00	0,349
Sala Quente- P16	39,94 (25,09)	18,00	204,00	39,60 (28,47)	18,00	214,00	0,909
Sala Quente- P17	68,50 (52,52)	12,00	316,00	68,46 (52,51)	21,00	309,00	0,9953
Sala Quente- P18	932,13 (543,79)	176,00	4050,00	802,06 (481,68)	83,00	2900,00	0,0748
Rejeitos	406,63 (441,33)	12,00	1970,00	436,19 (457,99)	92,00	3000,00	0,6188
Repouso 1	16,28 (5,48)	10,00	37,00	16,10 (5,26)	10,00	31,00	0,8321
Repouso 3	24,41 (39,23)	10,00	284,00	27,40 (41,54)	10,00	238,00	0,3511
Repouso 4	17,66 (4,63)	10,00	33,00	17,64 (4,91)	10,00	31,00	0,5933
Sanitário Pacientes 2	19,44 (22,15)	6,00	211,00	17,24 (4,28)	10,00	30,00	0,0594

Tabela 7: Comparação de médias entre os tipos de exames realizados no SMN-HCFMB por período

Exames	Manhã			Tarde			p
	Média (DP)	Mínima	Máxima	Média (DP)	Mínima	Máxima	
Miscelânea 2	0,98 (1,45)	0	6	0 (0)	0	0	<0,0001
Cintilografia de Perusão Miocárdica Estresse	1,99 (3,10)	0	10	0,70 (1,70)	0	6	0,0186
Cintilografia de Perusão Miocárdica Repouso	2,96 (3,84)	0	13	0,06 (0,37)	0	3	0,0097
Cintilografia Óssea	3,48 (4,53)	0	13	0,13 (1,01)	0	9	0,1027
Cintilografia Renal	11,14 (2,05)	0	11	0,01 (0,11)	0	1	0,3156
Miscelânea 1	1,05 (1,33)	0	4	0,04 (0,25)	0	2	0,3519
Miscelânea 3	0,59 (1,37)	0	6	0,01 (0,11)	0	1	0,2895

Tabela 8: Comparação de médias entre os exames realizados no SMN-HCFMB por dias da semana

Exames	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	p
	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	
Miscelânea 1	0,50 (4,36)	0,06 (0,24)	0,35 (0,81)	1,31 (1,53)	0,54 (1,14)	0,0360
Miscelânea 2	0,53 (0,93)	0,44 (1,11)	1,06 (1,79)	0 (0)	0,35 (0,85)	0,0441
Cintilografia Renal	0,06 (1,67)	0,03 (0,17)	0,79 (1,25)	0,97 (2,60)	1,19 (1,86)	0,0053
Cintilografia de Perusão Miocárdica Repouso	3,12 (2,68)	3,59 (4,22)	0,41 (1,44)	0 (0)	0 (0)	0,0091
Cintilografia de Perusão Miocárdica Estresse	2,03 (0,24)	3,18 (3,56)	1,12 (2,23)	0 (0)	0 (0)	0,0421
Cintilografia Óssea	4,12 (3,68)	0,26 (1,54)	0,26 (1,08)	4,06 (4,54)	0 (0)	0,1024
Miscelânea 3	0,79 (0,79)	0,18 (0,87)	0,35 (0,92)	0 (0)	0,12 (0,43)	0,2378

Tabela 9: Correlação entre levantamento radiométrico e os tipos de exames

Local do Setor	Cintilografia Óssea	Cintilografia Renal	Cintilografia Perusão Miocárdio Estresse	Cintilografia Perusão Miocárdio Repouso
	(r)	(r)	(r)	(r)
	(p)	(p)	(p)	(p)
Sala de Espera- P6	0,17602 0,02600	-0,22385 0,00440	0,38252 <0,0001	0,66838 <0,0001
Sala de Espera- P7	0,14814 0,06160	-0,20023 0,01100	0,38252 0,00010	0,69237 <0,0001
Sanitário Pacientes 1	0,19029	-0,16680	0,30402	0,49624

	0,01590	0,03500	<0,0001	<0,0001
Sanitário Masculino	0,14823 0,06140	-0,21522 0,00630	0,26023 0,00090	0,37401 <0,0001
Sala Quente- P16	0,16533 0,03670	-0,07897 0,32090	0,13143 0,09760	0,16262 0,03990
Sala Quente- P18	0,30158 0,00010	-0,09974 0,20950	0,15444 0,05120	0,29588 0,00010
SPECT 630	0,11702 0,14060	0,01092 0,89100	0,19255 0,01470	0,24014 0,00220
SPECT 670	0,15522 0,05000	0,12450 0,11680	0,19507 0,01320	0,25511 0,00110
Repouso 2	0,18525 0,01900	0,04440 0,57690	-0,05392 0,49830	0,16622 0,03570
Captação	-0,05350 0,50160	-0,07871 0,32250	0,14045 0,07650	0,06097 0,44380
Laudos 1	0,07190 0,36620	-0,03273 0,68120	-0,05300 0,50560	-0,05273 0,50780
Sanitário Feminino	0,16909 0,03260	-0,00247 0,97530	0,04206 0,59750	0,13849 0,08070
Laudos 2	0,08216 0,30170	0,01572 0,84360	0,01033 0,86890	0,01929 0,80870
Comando PET	0,15539 0,04980	0,07538 0,34350	-0,09423 0,23590	-0,09357 0,23930
Sala PET	0,13329 0,09290	-0,01658 0,83520	0,06306 0,42820	0,08002 0,31450
Ergometria	-0,08179 0,30390	-0,78290 0,32510	0,20769 0,00840	0,04412 0,57960
Comando SPECT	0,17342 0,02830	-0,04960 0,53340	0,08321 0,29550	0,12844 0,10550
Sala de Injeção	0,27259 0,00050	0,02679 0,73670	-0,05312 0,50470	0,13472 0,08940
Sala Quente- P17	0,08827 0,26700	-0,10130 0,20240	0,07414 0,35150	0,06041 0,44800
Rejeitos	0,08367 0,29290	-0,00517 0,94830	0,01335 0,86660	0,04447 0,57660
Repouso 1	0,01341 0,86630	0,04885 0,53960	-0,06347 0,42530	-0,00776 0,92240
Repouso 3	0,13170 0,09690	-0,07725 0,33160	-0,06902 0,38580	-0,10335 0,19340
Repouso 4	0,08409 0,29040	0,04690 0,55590	-0,01834 0,81790	-0,01042 0,89590
Sanitário Pacientes 2	-0,02589 0,74520	0,18280 0,02070	0,13940 0,07870	-0,06970 0,38120

*r coeficiente de correlação de Person

Tabela 10: Correlação entre levantamento radiométrico com Atividade de ^{99m}Tc e número de exames

Local do Setor	Atividade de ^{99m}Tc	Número de Exames
	(r) (p)	(r) (p)
Sanitário Feminino	0,18146 0,02170	0,16384 0,03840
Sanitário Masculino	0,30333 <0,00010	0,24997 0,00140
Sala de Espera- P6	0,51166 <0,00010	0,44342 <0,00010
Sala de Espera- P7	0,48398 <0,00010	0,45552 <0,00010
Sanitário Pacientes 1	0,40998 <0,00010	0,38696 <0,00010
Comando SPECT	0,18968 0,01630	0,17098 0,03060
SPECT 630	0,28581 0,00020	0,27141 0,00050
SPECT 670	0,31024 <0,00010	0,32791 <0,00010
Sala de Injeção	0,20339 0,00990	0,22464 0,00430
Sala Quente- P16	0,20775 0,00840	0,17053 0,03110
Sala Quente- P18	0,33886 <0,00010	0,32666 <0,00010
Laudos 1	-0,03711 0,64130	-0,02019 0,79990
Captação	0,03534 0,63730	-0,00142 0,98580
Ergometria	0,06438 0,41860	-0,00628 0,93720
Laudos 2	0,03883 0,62590	0,03622 0,64930
Comando PET	0,02326 0,77030	0,03739 0,63880
Sala PET	0,14956 0,05910	0,11905 0,13380
Sala Quente- P17	0,10676 0,17910	0,05132 0,51920
Rejeitos	0,05132 0,51930	0,06717 0,38970

Repouso 1	-0,02666 0,73790	-0,00798 0,92020
Repouso 2	0,12737 0,10850	0,15376 0,05220
Repouso 3	-0,04136 0,60350	-0,01944 0,80730
Repouso 4	0,05377 0,49950	0,02066 0,79540
Sanitário Pacientes 2	0,04678 0,55700	0,06357 0,42450

*r coeficiente de correlação de Person

Tabela 11: Correlação entre a atividade de ^{99m}Tc com os tipos de exames realizados no SMN-HCFMB

Atividade de ^{99m}Tc		
Exame	r	p
Cintilografia Óssea	0,65881	<0,0001
Cintilografia de Perfusão Miocárdica Estresse	0,54803	<0,0001
Cintilografia de Perfusão Miocárdica Repouso	0,77026	<0,0001
Miscelânea 1	0,30835	<0,0001
Miscelânea 2	0,29369	0,0002
Miscelânea 3	0,30202	0,0001
Cintilografia Renal	0,10120	0,20290

*r coeficiente de correlação de Person