

Instituto de Radioproteção e Dosimetria - IRD

**AVALIAÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DE
SUPERFÍCIES DO QUARTO TERAPÊUTICO NA MEDIDA DA TAXA
DE EXPOSIÇÃO DE PACIENTES DE RADIOIODOTERAPIA**

Rafael Ferreira Campos

Rio de Janeiro

2015

Rafael Ferreira Campos

**AVALIAÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DE
SUPERFÍCIES DO QUARTO TERAPÊUTICO NA MEDIDA DA TAXA
DE EXPOSIÇÃO DE PACIENTES DE RADIOIODOTERAPIA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado para obtenção da certificação de Especialista pelo Programa de Pós-Graduação em Proteção Radiológica e Segurança de Fontes Radioativas do Instituto de Radioproteção e Dosimetria da Comissão Nacional de Energia Nuclear.

Orientador: Prof. Everton R da Silva
IRD/CNEN

Rio de Janeiro – Brasil

Instituto de Radioproteção e Dosimetria – Comissão Nacional de Energia Nuclear

Coordenação de Pós-Graduação

2015

T

615.8423

C198a

Campos, Rafael Ferreira

Avaliação da contribuição da contaminação de superfícies do quarto terapêutico na medida da taxa de exposição de pacientes de radioiodoterapia / Rafael Ferreira Campos – Rio de Janeiro: IRD / IAEA, 2015.

VI, 39 f., 32 il.; 29,7 cm.

Orientador: Everton Rodrigues da Silva

Trabalho de Conclusão de Curso Especialização (Lato-Sensu) em Proteção Radiológica e Segurança de Fontes Radioativas) - Instituto de Radioproteção e Dosimetria. 2015.

Referências bibliográficas: f. 36 - 39

1. Radioiodoterapia. 2. Proteção radiológica . 3. Contaminação superficial. 4. Medicina Nuclear. I. Título

Rafael Ferreira Campos

**AVALIAÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DE
SUPERFÍCIES DO QUARTO TERAPÊUTICO NA MEDIDA DA TAXA
DE EXPOSIÇÃO DE PACIENTES DE RADIOIODOTERAPIA**

Rio de Janeiro, 30 de Setembro de 2015.

Prof. Dr. Lídia Vasconcellos de As – IRD/CNEN

Prof. Dr. Ana Leticia A. Dantas – IRD/CNEN

Prof. M.Sc. Everton Rodrigues da Silva – IRD/CNEN

O presente trabalho foi desenvolvido no Instituto de Radioproteção e Dosimetria da Comissão Nacional de Energia Nuclear, sob orientação do Prof. Everton Rodrigues da Silva.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a minha mãe Telma Campos, que acredita e sempre me apoiou em minhas decisões. A minha família pelo apoio em especial a minha irmã Taliane Campos pelo incentivo e motivação para que eu não desistisse.

Ao Físico e colega Narciso Claudio Sambebe por todo o apoio e hospitalidade, pelas conversas e aprendizado que variavam de teologia, mecânica clássica, física quântica e física nuclear.

Ao grande amigo Phillip P. Dmitruk da Santa Casa de Misericórdia de São Paulo, pelo incentivo a fazer esse curso e pela irmandade.

A bibliotecária Ignez do Instituto de Radioproteção e Dosimetria por nos receber sempre de braços abertos, pelo seu profissionalismo e dedicação.

Ao professor Dr. Aucyone pelo aprendizado, dicas e por toda a ajuda que foi fornecida durante o período que estive no Rio de Janeiro.

Finalmente por toda a equipe de professores, pesquisadores, colegas e amigos do Instituto de Radioproteção e Dosimetria. Em especial ao meu orientador, o Professor Everton R da Silva, por acreditar na proposta desse trabalho e por incentivar a conclusão do mesmo.

Resumo

A contaminação de superfícies do quarto de iodoterapia é significativa e como as medidas da taxa de exposição do paciente são realizadas nas dependências do quarto, questões relevantes são levantadas: a radiação de fundo do quarto, elevada devido à contaminação superficial, pode interferir na taxa de exposição do paciente no momento de sua liberação? O local de monitoração é importante para definir se o paciente será liberado? O valor da atividade da dose e as condições clínicas do paciente podem aumentar a contaminação, influenciando os resultados da monitoração? Este trabalho tem como objetivo realizar uma análise quantitativa da contribuição da contaminação de superfícies do quarto terapêutico no momento em que é monitorada a taxa de exposição proveniente do paciente internado. Foram realizadas medidas referentes a internação de 32 pacientes, com diferentes doses de atividade administradas, faixa etária e de ambos os sexos. As medidas foram realizadas nos quartos terapêuticos do hospital Irmandade Santa Casa de Misericórdia de São Paulo. Foram realizadas medidas da taxa de exposição no centro do quarto a 1 metro do paciente no dia de sua liberação. Após sua liberação e antes da descontaminação, foram realizadas medidas em pontos de referência predeterminados no interior do quarto terapêutico. A análise dos resultados revelou que, em média, a radiação de fundo, elevada devido à contaminação superficial, contribui apenas com 2% do valor da taxa de dose do paciente. Pode-se considerar que mesmo havendo influência da contaminação de superfícies, esta é insignificante para determinar se o paciente pode ou não ser liberado. Este estudo sugere que o local em que ocorre a monitoração da taxa de exposição do paciente, não deve ser determinante para a liberação do mesmo.

Palavras-chave: radioiodoterapia, proteção radiológica, contaminação superficial, Medicina Nuclear.

ABSTRACT

The contamination of radiotherapy room surfaces is significant and the measures of patient exposure rate are held on the fourth dependencies, relevant questions are raised: the background radiation of the room stay high due to surface contamination, may interfere with the rate of patient exposure at the time of its release? The monitoring site is important to determine whether the patient will be released? The value of the deal activity and the clinical condition of the patient may increase the contamination, influencing the monitoring results? This paper aims to conduct a quantitative analysis of surface contamination of the contribution of therapeutic room at the time is monitored exposure rate from inpatient. Measurements were made regarding the hospitalization of 32 patients with different doses administered activity, age and of both genders. The measurements were performed in the therapeutic rooms at the hospital Brotherhood Santa Casa de Misericórdia de São Paulo. Exposure rate measurements were performed at the center of the room at 1 meter of the patient on the day of its release. After his release and prior to decontamination, measurements were performed at predetermined landmarks within the therapeutic room. The results revealed that on average background radiation, high due to surface contamination contributes only 2% of the patient dose rate. It can be considered that even with influence of contamination of surfaces, this is insignificant to determine if the patient may or may not be released. This study suggests that the site in which monitoring occurs exposure rate of the patient should not be decisive for liberation thereof.

Keywords: radiotherapy, radiation protection, surface contamination, nuclear medicine.

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	15
2.1. OBJETIVO GERAL	15
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. FUNDAMENTOS EM IODOTERAPIA	16
3.1. BREVE HISTÓRICO DA MEDICINA NUCLEAR	16
3.2. PRINCÍPIOS BÁSICOS DA MEDICINA NUCLEAR	17
3.3. A IODOTERAPIA	18
3.3.1 O iodo-131	18
3.3.2 A iodoterapia e o carcinoma diferenciado de tireóide	19
3.3.3 Procedimentos gerais para realização da iodoterapia	21
3.3.4 Proteção radiológica na iodoterapia	22
3.3.4.1 <i>Unidades e grandezas</i>	22
3.3.4.2 <i>Conceitos fundamentais</i>	23
3.3.4.3 <i>Questões normativas</i>	25
3.3.4.4 Considerações gerais de radioproteção para a internação	26
4. MATERIAIS E MÉTODOS	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
6. CONCLUSÃO	34
7. REFERÊNCIAS	36

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1 Esquema de decaimento para ^{131}I . Nesse caso, o raio gama emitido pode possuir diferentes valores de energia.	18
Figura 3.2 Imagens ilustrativas do que significa irradiação e contaminação.	24
Figura 4.1 Monitor do tipo Geiger-Müller utilizado para medição da taxa de exposição do paciente e dos pontos de referência do quarto terapêutico (Modelo G1-E do fabricante MRA).	29
Figura 4.2 Monitor do tipo Geiger-Müller utilizado para medição da contaminação superficial (Modelo GP-500 do fabricante MRA).	30
Figura 4.3 Pontos de referência no quarto terapêutico.	31

LISTA DE TABELAS

- 1. Tabela 5.1:** Valor médio da taxa de exposição a 1 m dos pacientes e de BG após liberação. 32
- 2. Tabela 5.2:** Valores médios da taxa de exposição do BG após liberação categorizada por dose de atividade administrada. 32

LISTA DE ABREVIATURAS

BG	Background
CDT	Câncer Diferenciado de Tireoide
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
EPI	Equipamento de Proteção Individual
IAEA	International Atomic Energy Agency
IOE	Indivíduo Ocupacionalmente Exposto
SMN	Serviço de Medicina Nuclear
T3	Triiodotironina
T4	Tiroxina
TSH	Hormônio estimulante da tireoide

1. INTRODUÇÃO

A radioiodoterapia é um tratamento complementar a cirurgia de tireoidectomia, em pacientes que apresentam carcinomas diferenciados da tireoide, que visa à ablação de tecidos tireoidianos remanescentes e a eliminação de metástases [1]. Nesse tratamento, o ^{131}I é administrado aos pacientes com o objetivo de eliminar, com boa especificidade, células de origem tireoidiana, a partir da radiação emitida por esse radioisótopo [2]. Como as atividades administradas, normalmente prescritas utilizando-se os termos “dose” ou “dosagem” de ^{131}I , são relativamente altas, e os pacientes ao ingerir a medicação passam a atuar como fontes radioativas móveis, eles devem permanecer isolados em quartos específicos para esta finalidade [3, 4].

Estudos vêm sendo realizados para avaliar o impacto da realização de tratamentos com ^{131}I , sem internação dos pacientes, considerando as questões de radioproteção como a exposição de membros do público, sobretudo os familiares, a contaminação radioativa de ambientes e de pessoas, além da produção de rejeitos radioativos [5]. Nesses estudos, são apresentados resultados que indicam que para pacientes submetidos à iodoterapia, com atividades entre 100 e 150 mCi (3700 MBq e 5550 MBq), o impacto do ponto de vista de radioproteção nas residências dos pacientes não é relevante, desde que seguidas as recomendações de segurança radiológica estabelecidas [3, 6]. A partir da terapia sem internação, a iodoterapia se tornaria mais acessível, reduzindo os custos com as internações e a dosimetria ocupacional, além de contribuir para melhorar as condições psicológicas dos pacientes, relacionadas ao tratamento [7, 8].

Porém, no Brasil, apesar do valor da atividade que justifica a internação ter aumentado em 2013, o paciente ainda precisa permanecer internado quando recebe atividades superiores a 50 mCi (1850 MBq), sendo liberado apenas quando a taxa de dose medida for inferior a valor estabelecido em norma específica [3]. Como a maior parte das atividades administradas aos pacientes de câncer diferenciado de tireoide são de 100 mCi (3700 MBq) ou mais, a internação de pacientes, e todas as questões sociais e de radioproteção envolvidas, permanece relevante. Considera-se que a internação ainda é justificada porque, além de possibilitar um melhor controle clínico, permite que o ^{131}I eliminado pelo paciente através da urina, saliva, suor,

dentre outras vias, não contamine outras pessoas ou objetos que não estão sobre o controle do Serviço de Medicina Nuclear [4].

Os pacientes que receberam atividade de ^{131}I acima de 50 mCi (1850 MBq), são monitorados periodicamente através de detectores de radiação, em que os valores das medidas são comparados com o limiar para liberação. De acordo com Thompson (2001), após 24 horas da administração terapêutica do ^{131}I , 35% a 75% são eliminados pela urina, suor e saliva. Esta eliminação é suficiente para contaminar o ambiente e os objetos do quarto terapêutico, tornando necessária a realização de medidas específicas. Dentre as medidas de proteção radiológicas, pode-se destacar: a utilização de equipamentos de proteção individual para os trabalhadores que lidam com os pacientes; revestimento dos objetos do quarto passíveis de contaminação com posterior confinamento; monitoração da contaminação de superfície; necessidade de fornecer orientações específicas aos pacientes para reduzir a contaminação; e execução de outros procedimentos previstos no plano de gerência de rejeitos radioativos da instalação. São considerados como rejeitos as vestimentas pessoais, roupas de cama e banho, copos, pratos, talheres e restos alimentares que estejam contaminados, entre outros itens. [7, 9].

A contaminação radioativa de superfícies do quarto terapêutico é significativa e como as medidas da taxa de exposição do paciente normalmente são realizadas nas dependências do quarto terapêutico, questões relevantes podem ser levantadas: a radiação de fundo do quarto terapêutico (BG), elevada devido à contaminação de superfícies, pode interferir significativamente na monitoração da taxa de exposição do paciente no momento de sua liberação? O local do quarto em que é realizada a monitoração do paciente é importante para definir se este será liberado? Fatores como o valor da atividade administrada e condições clínicas do paciente podem interferir decisivamente na contaminação do quarto, a ponto de retardar a liberação desse paciente?

Para chegar a conclusões sobre as questões levantadas acima, foi definida uma metodologia para avaliar-se quanto à contaminação de superfícies do quarto terapêutico contribui para o aumento da taxa de exposição do paciente internado, influenciando ou não em sua liberação. Este trabalho descreve essa metodologia empregada, apresentando os resultados e conclusões obtidas, além de realizar uma fundamentação sobre iodoterapia, baseada em referências nacionais e

internacionais diversas, que podem servir de base para futuros trabalhos na área. As principais conclusões do trabalho podem servir como apoio para decisões tomadas pelos supervisores de radioproteção dos serviços de medicina nuclear, influenciando na rotina da iodoterapia e contribuindo para otimização da radioproteção.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo deste estudo é realizar uma análise quantitativa da contribuição da contaminação de superfícies do quarto terapêutico na taxa de exposição do paciente internado.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os principais objetivos específicos desse estudo são:

- Auxiliar no embasamento dos procedimentos adotados na iodoterapia, visando a melhoria da dinâmica aplicada na rotina de um serviço de medicina nuclear, especificamente na iodoterapia;
- Identificar os pontos de maior potencial de contaminação superficial de um quarto terapêutico, através levantamento radiométrico de áreas para avaliar os resultados e;
- Obter valores médios da taxa de exposição do paciente no dia de sua liberação;
- Obter valores médios da taxa de exposição em diferentes pontos de medição, após a liberação do paciente e antes da descontaminação;
- Realizar a análise comparativa entre a taxa de exposição obtida a 1 metro do paciente e a obtida logo após a sua liberação, para fundamentar a análise da influência do BG do quarto para a liberação do paciente.

3. FUNDAMENTOS EM IODOTERAPIA

3.1. BREVE HISTÓRICO DA MEDICINA NUCLEAR

As descobertas da radioatividade natural por Henri Becquerel, em 1896, e de elementos radioativos naturais por Marie e Pierre Curie, em 1898, podem ser considerados os pontos de partida da área nuclear [11]. Mas foi em 1913 que a modalidade obteve os primeiros fundamentos biológicos com o princípio do “traçador” proposta pelo químico húngaro George de Hevesy. Para ratificar seus princípios, realizou experimentos com nitrato de chumbo marcado com o nuclídeo radioativo ^{210}Pb , demonstrando sua absorção e movimento em plantas. Por esse feito, Hevesy recebeu o Prêmio Nobel de Química de 1943 [12, 13].

Em outro experimento, uma medida da velocidade sanguínea foi realizada em 1927 por Herrmann L. Blumgart e Soma Weiss, administrando-se uma solução de radônio em um braço e detectando o radionuclídeo no outro braço, utilizando-se uma câmara saturada com vapor de água, denominada de câmara de Wilson. [14]

Em 1932 foi construído o primeiro ciclotron por Ernest O. Lawrence e M. Stanley Livingstone, proporcionando a produção de radionuclídeos artificiais, através do bombardeio de núcleos alvos por partículas positivas aceleradas. Mesmo com o grande avanço que foi a criação do ciclotron, a comunidade científica da época sentiu a necessidade de pesquisar a produção de mais radionuclídeos artificiais. Necessidade que até hoje chama a atenção e o interesse de vários pesquisadores em todo o mundo [15]. No período da segunda guerra mundial a produção de radionuclídeos para uso em medicina cresceu significativamente com o advento dos reatores nucleares, com produção em escala comercial a partir de 1946 [15].

Em 1937 o elemento de número atômico 43 foi descoberto por Carlos Perrier e Emilio Segre com o uso do ciclotron. Quando o Molibdênio é irradiado com deuteron, observou-se uma radioatividade desconhecida e bastante forte. Ao analisar essa atividade, concluiu-se que poderia se tratar de um novo elemento de número atômico 43. O novo elemento foi denominado tecnécio que hoje é um dos isótopos mais utilizados na medicina nuclear. [16]

Na década de 50 iniciou-se uma revolução na área de produção de imagens na medicina nuclear. Em 1951, Benedict Cassen inventou o “Scanner Cintilador Retilíneo” que fazia imagens rudimentares da tireoide e outros órgãos. Em 1952, Hal Anger desenvolveu a câmara de cintilação, um sistema mais complexo que o de Cassen e que proporcionava imagens de melhor qualidade. [17]

3.2. PRINCÍPIOS BÁSICOS DA MEDICINA NUCLEAR

A medicina nuclear utiliza radionuclídeos como marcadores de fármacos, que apresentam afinidade específica a determinados órgãos e tecidos do corpo, com o objetivo de realizar uma avaliação fisiológica do paciente. Caracteriza-se por ser uma técnica indolor, com caráter diagnóstico ou terapêutico, que, devido à utilização de material radioativo, exige a observância de critérios de radioproteção para garantir a segurança radiológica de todos os envolvidos nos procedimentos. [18]

A afinidade de um fármaco a tecidos específicos faz com que este apresente uma maior concentração nesses tecidos, e como está marcada com um traçador radioativo, a concentração de um determinado radionuclídeo também é maior nesses locais. Quando o radionuclídeo decai, radiação é emitida, podendo ser utilizada para sensibilizar detectores externos no caso de fótons gama, ou para realizar algum efeito terapêutico nos tecidos, quando a radiação é corpuscular, geralmente do tipo beta. [19]

A gama-câmara é utilizada para detectar os raios gama emitidos e associá-los à coordenadas espaciais que indicam a localização do emissor no corpo, utilizando-se um sistema de formação de imagens. As imagens produzidas possibilitam a visualização de alterações funcionais do organismo através de uma análise da biodistribuição do radionuclídeo no organismo, promovendo o estudo diagnóstico. [20]

3.3.A IODOTERAPIA

3.3.1 O iodo-131

A medicina nuclear terapêutica teve seu início quando Seidlin, em 1943, administrou ^{131}I a um paciente com metástase de adenocarcinoma de tireoide. Seidlin acompanhou vários outros casos e observou que uma grande quantidade de pacientes com câncer de tireoide eram curados com a administração do iodo radioativo após a cirurgia de tireoidectomia [21].

A terapia com radionuclídeos através da administração de fontes não seladas baseia-se na afinidade com boa especificidade do radiofármaco, ou do próprio radionuclídeo, com o tecido alvo a ser tratado. O poder de penetração relativamente baixo da radiação, geralmente beta, é essencial para não causar danos em tecidos circunvizinhos ao tecido alvo, e o tempo de meia vida biológico também curto, auxilia em uma boa relação entre os benefícios obtidos com o tratamento e os possíveis detrimientos ocasionados por este. As características físicas e biológicas do ^{131}I , utilizado no tratamento de doenças da tireoide, atendem essas características. [22]

Após decair por emissão de uma partícula beta, o ^{131}I produz um filho em estado excitado, que decai para um estado mais estável pela emissão de uma partícula gama, em um processo denominado decaimento (β^- , γ). Se após a emissão da radiação gama, o nuclídeo gerado ainda está em um estado excitado, há uma emissão de outra radiação gama, até o estado estável ser atingido. A figura 3.1 apresenta o esquema de decaimento do ^{131}I [23].

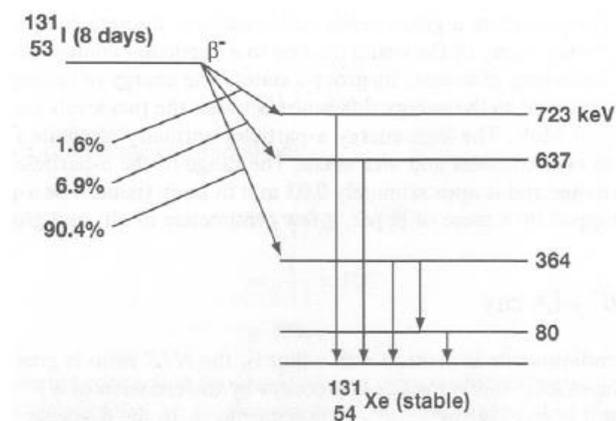


Figura 3.1 Esquema de decaimento para ^{131}I . Nesse caso, os raios gamas emitidos possuem diferentes valores de energia [23].

As partículas betas emitidas pelo ^{131}I depositam a sua energia próxima ao local de emissão, realizando a eliminação proposital de células. Já os fótons gama emitidos, permitem a formação de imagens utilizando-se a gama-câmara, importantes no diagnóstico de enfermidades relacionadas à tireoide ou na avaliação da eficácia da terapia previamente realizada [24]. O ^{131}I é produzido por fissão do urânio-235 ou por bombardeamento com nêutrons de Telúrio natural num reator nuclear e possui uma meia-vida física de 8,04 dias [25].

O iodo é um elemento químico fundamental para o funcionamento da tireoide, sendo um dos principais constituintes dos hormônios dessa glândula endócrina. O iodo pode ser encontrado na dieta do homem em alimentos específicos, principalmente de origem marítima e, ao ser absorvido pelo tubo gastrointestinal, passa para a corrente sanguínea e é captado pela tireoide para a produção de seus hormônios [26].

Essa afinidade das células tireoidianas ao iodo é o que permite a utilização desse elemento no tratamento de doenças nessa glândula. Isso porque quimicamente o ^{131}I se comporta igual ao seu isótopo estável encontrado normalmente na dieta, com isso ele é captado pelas células tireoidianas da mesma forma. Como o ^{131}I emite radiação beta, que deposita praticamente toda a sua energia muito próxima ao local em que foi emitida, as células tireoidianas são eliminadas pelo iodo radioativo que captou. Essa eliminação de tecido de forma específica é utilizada no tratamento de doenças da tireoide, em que suas células estão funcionando de forma anormal e precisam ser eliminadas, quer seja por hiperfuncionamento da glândula ou pela presença de neoplasias. O hipertireoidismo e o carcinoma diferenciado da tireoide são as principais enfermidades tratadas com ^{131}I . Como o tratamento do câncer utiliza altas atividades de ^{131}I , justificando a internação de pacientes, objeto do trabalho aqui descrito, algumas características dessa doença serão descritas em sequência [27, 28].

3.3.2 A iodoterapia e o carcinoma diferenciado de tireoide

A tireoide é uma das maiores glândulas endócrinas composta principalmente por folículos permeados por células, e secreta os principais hormônios responsáveis pela regulação do metabolismo basal do corpo: a triiodotironina (T3) e a tiroxina (T4). A produção desses hormônios é controlada por outra glândula, a hipófise,

localizada na região cerebral, logo abaixo ao hipotálamo, responsável pela secreção do TSH (Hormônio estimulante da tireoide). Se houver pouco hormônio tireoidiano no sangue, a hipófise secreta mais TSH; se houver excesso desses hormônios, a produção de TSH é inibida. Esse mecanismo é denominado de “biofeedback” negativo [27, 29].

O funcionamento da tireoide pode ser comprometido pela presença de alguma enfermidade, dentre as quais se destaca o carcinoma diferenciado da tireoide (CDT), haja vista os riscos associados a esse tipo de tumor. Neste tipo de câncer, as células, apesar de neoplásicas, preservam características específicas das células tireoidianas, o que justifica a utilização do termo “diferenciado”. Dentre essas características preservadas, está a afinidade ao iodo, o que é fundamental para que as células cancerígenas sejam sensíveis à iodoterapia. Assim, é mantida a capacidade dos tecidos tireoidianos de captar o iodeto em sua matriz proteica, composta pela proteína tireoglobulina, e sintetizar hormônios [27].

Menos de 1% de todos os tumores malignos são clinicamente reconhecidos como carcinomas da tireoide, porém o CDT é a lesão maligna endócrina mais comum, compreendendo 90% dos casos [2].

O CDT apresenta comportamento pouco agressivo em relação a outros tipos de câncer, o que aumenta as chances de cura dos pacientes. O CDT pode ser classificado em dois tipos principais: carcinoma papilífero e carcinoma folicular [30, 31].

O tipo papilífero é o mais comum, sendo mais frequente em mulheres. A princípio, é composto por pequenas lesões que variam desde focos microscópicos a nódulos que podem atingir 10 cm de diâmetro. Podem surgir na forma de nódulos palpáveis, indolores e que não crescem durante meses ou anos, raramente causando hiperfunção da tireoide. Propagam-se por via linfática para os linfonodos regionais, mas não o ultrapassam. Geralmente são descobertos pelo crescimento desses linfonodos afetados. O tipo folicular apresenta-se como um pequeno foco microscópico, porém, o tipo mais comum é aquele que causa aumento macroscópico evidente e irregular na tireoide [32].

A tireoidectomia total ou remoção da maior quantidade de tecido da tireoide é o método mais indicado por apresentar algumas vantagens como: a eliminação de possibilidade de recidiva no lobo contralateral remanescente; uma maior concentração de iodo radioativo em áreas suspeitas; um melhor controle pós-

operatório de recidivas através da dosagem de tireoglobina sérica; e um menor índice de metáteses pulmonares [27, 29].

O objetivo da iodoterapia é o combate às células cancerígenas presentes na tireoide, destruindo as funções das células comprometidas remanescentes da cirurgia de tireoidectomia. O sucesso da terapia com o ^{131}I depende do tipo de câncer, do grau de metástase, da atividade inicial administrada e da massa tumoral, sendo indicada tanto para a eliminação de tecidos neoplásicos localizados na região da tireoide ou em focos a distância, linfonodos, pulmão e ossos [2,33].

3.3.3 Procedimentos gerais para realização da iodoterapia

Após a cirurgia de retirada da tireoide pode haver restos de tecidos glandulares, assim a iodoterapia é um tratamento complementar à tireoidectomia. Normalmente, são definidas a atividade administrada de forma empírica, baseada em experiências prévias que indicam o valor da atividade para cada grau de estadiamento do câncer. Alguns centros realizam métodos dosimétricos, em que a atividade é determinada através de cálculos realizados a partir de testes pré-dose, em que pequenas quantidades de ^{131}I são administradas ao paciente, seguida de medidas de captação do ^{131}I . Um protocolo comumente utilizado para cálculo de doses descreve que devem ser realizadas as seguintes ações: captação cervical com uma Sonda para captação tireoideana, denominada probe; realização de Pesquisa de Corpo Inteiro (PCI); cálculo da atividade máxima que pode ser administrada; captação de imagem após 48 horas da ingestão de 2 mCi (74MBq) de ^{131}I ; cálculo da dose absorvida baseada em todos os parâmetros coletados. [27]

Na preparação do paciente são realizados os seguintes procedimentos: realização de exames, especialmente dosagem dos hormônios tireoidianos, do TSH e da tireoglobulina; eliminação do iodo da dieta durante duas ou três semanas antes do tratamento para que os tecidos remanescentes fiquem ávidos por iodo; suspensão da reposição hormonal 30 dias antes do tratamento, para que o TSH seja elevado, o que aumenta a captação do ^{131}I [28].

3.3.4 Proteção radiológica na iodoterapia

3.3.4.1. Unidades e grandezas

Nesta seção serão apresentadas grandezas importantes para a realização dos procedimentos aplicados no tratamento, como o aferimento da atividade do ^{131}I , a obtenção da taxa de exposição e o cálculo da taxa de exposição a partir da atividade da amostra radioativa.

A atividade de uma amostra radioativa representa o número de núcleos da amostra, N , que se desintegram, ou seja, que sofrem transformações nucleares, por unidade de tempo [34].

O sistema Internacional (SI) adotou como unidade padrão de atividade o Becquerel (Bq), que equivale a 1 desintegração/segundo. No entanto, a primeira unidade estabelecida para a atividade foi o Curie, originalmente definido como a taxa de desintegração de uma quantidade de gás radônio, Rn-222, em equilíbrio com um grama de rádio (Ra-226). O Curie equivale a $3,7 \times 10^{10}$ Bq [34].

A Exposição radioativa, simbolizada por X , é definida como a razão entre a soma das cargas elétricas de todos os íons de mesmo sinal produzidos no ar por fótons incidentes em um volume de ar, pela massa desse volume [34].

Em 1928, foi adotado o Roentgen (R) como unidade de Exposição, ou seja, a quantidade de radiação X que produzia uma unidade eletrostática de carga (por definição igual a $3,34 \times 10^{-10}$ Coulombs) em um centímetro cúbico de ar, em condições normais de temperatura e pressão (CNTP). Mais tarde, essa definição foi alterada, de maneira a ser relacionada à massa de ar, ao invés de ao volume (1cm^3 de ar = 0,001293 g), englobando, também, a radiação gama. Como a unidade empregada no Sistema Internacional para Exposição é o Coulomb/quilograma (C/kg), tem-se que $1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$. [34]

A relação existente entre atividade (A) e Taxa de Exposição, X , depende de processos básicos de interação entre a radiação e o ar. No entanto, para fontes pontuais emissoras gama, a seguinte aproximação é amplamente empregada (Equação 1):

$$X = \frac{\Gamma \cdot A}{d^2} \cdot (R/h) \text{ (Equação 1)}$$

Em que:

Γ - constante específica da radiação gama, expressa em $(R \cdot m^2)/(h \cdot Ci)$;

d - distância da fonte, medida em metros;

A - atividade, expressa em Ci , sendo a taxa de exposição, portanto, expressa em R/h .

Pode-se observar que a taxa de exposição é diretamente proporcional à atividade do radionuclídeo e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre a fonte pontual e o ponto considerado [35].

Mais recentemente, a constante Γ , denominada gamão, vem sendo substituída pelo Fator de Conversão, (FCp) normalmente expresso em $(mSv \cdot m^2)/(kBq \cdot h)$. Assim, conhecendo-se a atividade da fonte pontual, em Bq e a distância, em metros, obtém-se a taxa de dose, em mSv/h [35].

3.3.4.2. Conceitos fundamentais

Nesta seção serão abordados alguns conceitos básicos para aplicação de medidas visando à proteção radiológica dos pacientes, de indivíduos ocupacionalmente expostos (IOE) e do público.

A) Meia vida física, meia vida biológica e meia vida efetiva

A meia-vida física é o tempo necessário para que um radionuclídeo tenha sua atividade diminuída para a metade do seu valor inicial. O tempo de meia-vida biológica é o tempo necessário para que a metade da quantidade de um elemento incorporado pelo organismo seja eliminada pelas vias normais [35].

A dose de radiação recebida por um órgão quando nele existe um material radioativo incorporado depende da meia vida física e da meia vida biológica. A combinação de ambas, realizada utilizando-se a equação 2, é denominada tempo de meia-vida efetiva. A meia-vida efetiva é o tempo necessário para que a atividade presente no corpo se reduza à metade, considerando o decaimento físico e a eliminação biológica. [35]

$$\frac{1}{T_{1/2eff}} = \frac{1}{T_{1/2f}} + \frac{1}{T_{1/2b}} \text{ (Equação 2)}$$

B) Irradiação e contaminação Radioativa

Irradiação é a exposição de um objeto ou de um corpo à radiação. Pode ocorrer a certa distância, sem necessidade de um contato. Contaminação radioativa é a presença indesejada de material radioativo. A substância radioativa pode ser superficial e ou incorporada por inalação ou ingestão [9]. A figura 3.2 apresenta imagens ilustrativas do que significa irradiação e contaminação radioativa.

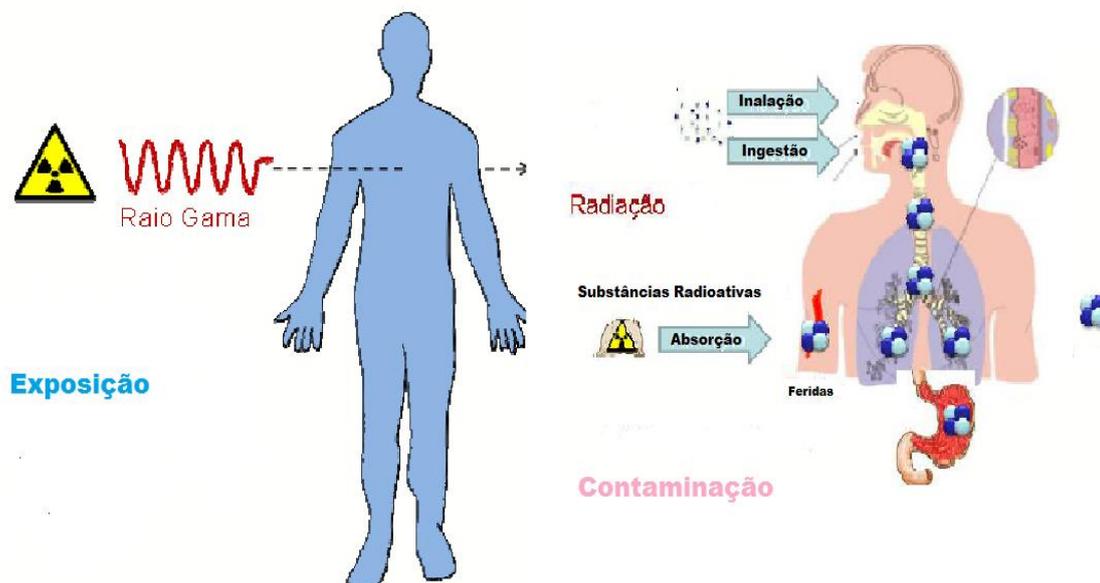


Figura 3.2 Imagens ilustrativas do que significa irradiação e contaminação.

C) Regras básicas de radioproteção

Para otimização da radioproteção, três regras básicas são comumente adotadas: aumento da distância à fonte, diminuição do tempo de exposição e utilização de blindagens [35].

A radiação emitida por uma dada fonte puntiforme de radiação, emitida em todas as direções, se espalha uniformemente no espaço à medida que se afasta de sua fonte. Isso faz com que haja uma redução em sua intensidade na medida em que sua distância aumenta. Se há uma redução na intensidade, conseqüentemente haverá redução na taxa de exposição. [35]

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{(r_2)^2}{(r_1)^2}$$

Em que:

D_1 é a taxa de dose na distância r_1 da fonte e

D_2 é a taxa de dose na distância r_2 da fonte.

3.3.4.3. Questões normativas

A proteção radiológica tem como objetivo proteger os indivíduos, seus descendentes e a humanidade dos efeitos nocivos que as radiações ionizantes possam causar, de modo que seja permitida a realização das atividades que fazem uso das radiações. [9]

De acordo com a norma CNEN-NN 3.05, de Dezembro de 2013, pacientes que forem submetidos à terapia com ^{131}I e com atividade superior a 1850 MBq, devem permanecer no quarto para terapia, especificado no plano de proteção radiológica. O quarto terapêutico deve possuir biombo blindado ou barreira protetora equivalente junto ao leito, para a proteção do Indivíduo Ocupacionalmente Exposto. O quarto para terapia com internação deve estar sinalizado com o símbolo internacional de radiação e classificação da área, bem como apresentar uma tabuleta contendo as seguintes informações: nome e atividade do radionuclídeo administrado; data, hora da administração e registro diário da taxa de dose a 2 (dois) metros do Paciente Injetado; e nome e telefone do médico nuclear responsável e do Supervisor de Proteção Radiológica [3].

Todos os objetos passíveis de contaminação do quarto para terapia com internação devem ser recobertos com plástico impermeável. Após a liberação e desocupação do quarto, este deve ser monitorado e eventuais contaminações devem ser removidas antes da sua liberação para outro paciente. O quarto somente poderá ser liberado para uso geral, outros fins que não a internação de paciente, após ser verificado que não há possibilidade de contaminação e exposição dos Indivíduos Ocupacionalmente Expostos e indivíduos do público. Vestimentas pessoais, roupas de cama e roupas de banho do paciente devem ser monitoradas e, no caso de eventual contaminação, devem ser armazenadas em local apropriado [3].

Os rejeitos radioativos gerados devem ser segregados de acordo com a natureza física do material (sólido, líquido ou gasoso) e etiquetados de acordo com o radionuclídeo presente (identificação do tipo de amostra, procedência, data prevista para a liberação e símbolo do material radioativo) [3, 10]. O material deve ser colocado em recipientes adequados, datados e mantidos no local da instalação destinado ao armazenamento provisório de rejeitos para aguardar o decaimento de forma segura. O tempo estimado para o ^{131}I ser considerado rejeito hospitalar é de aproximadamente 90 dias, desde que atinja os níveis de dispensa recomendados pela autoridade reguladora [10].

3.3.4.4. Considerações gerais de radioproteção para a internação

A principal característica a ser considerada nos requisitos de proteção radiológica para a internação de pacientes submetidos à iodoterapia é que as atividades administradas aos pacientes, o tempo de meia-vida e a energia do ^{131}I são relativamente altos para os padrões de medicina nuclear. Certamente o planejamento e os cuidados com a proteção radiológica para esse procedimento devem ser mais detalhados comparados a outros procedimentos da modalidade. Os pacientes são considerados fontes móveis que podem ocasionar exposições a outros indivíduos, além de eliminar o ^{131}I pela urina, saliva, suor, dentre outras vias, determinando um grande risco de contaminação de outras pessoas ou objetos. Em consequência das características descritas acima, tornam-se necessário a utilização de equipamentos de proteção individual para os profissionais que trabalham diretamente com esse paciente, para reduzir a exposição radioativa e evitar a contaminação [28].

Como o ^{131}I emite radiação beta e gama, os fatores de proteção radiológica devem ser observados de modo que seja considerada a dosimetria interna do indivíduo tratado e a exposição de outros indivíduos. Por isso, são previstos cuidados especiais que envolvem a proteção do paciente, dos trabalhadores e do público. [28]

Estes pacientes em geral não possuem conhecimento específico sobre radioproteção e na maioria das vezes encontram-se deprimidos e com medo do tratamento. É de responsabilidade do serviço de Medicina Nuclear, onde o paciente se trata passar todas as orientações e recomendações referentes aos cuidados que o mesmo deve ter consigo para diminuir a quantidade de contaminação em suas vestes e em seus objetos pessoais, como também, os cuidados de radioproteção que devem ter após a alta da terapia, a fim de diminuir a exposição à radiação em familiares, mulheres grávidas, crianças e membros do público [28].

Os cuidados após a alta da terapia são necessários para diminuir a exposição principalmente de crianças, mulheres grávidas ou em período de amamentação e do público. Recomenda-se que o paciente ingira bastante água para aumentar a eliminação do ^{131}I , que permaneça a uma distância de pelo menos dois metros ao conversar com as pessoas, e que, se possível dormirá só em quarto privado. Os cuidados após alta duram em torno de 4 a 7 dias após a liberação do quarto terapêutico. [28]

Esses cuidados são determinados por uma série de medidas estabelecidas pelo serviço de medicina nuclear, baseados nas diretrizes da CNEN e por recomendações de órgãos internacionais como, por exemplo, a IAEA e ICRP. Para que essas medidas sejam seguidas, os profissionais do serviço de Medicina Nuclear devem estar habilitados e adequadamente treinados para passarem essas informações claramente [9].

A equipe de enfermagem desempenha um papel fundamental nesse momento, pois são responsáveis pelos cuidados do quarto referentes ao encape das superfícies do quarto e de objetos pessoais dos pacientes, como também são responsáveis por passar as orientações dos supervisores de proteção radiológica, referente ao tratamento e os cuidados após a alta. Além de amenizar a ansiedade e o medo que os pacientes demonstram por permanecerem isolados [9].

A humanização e assistência prestada pela equipe de enfermagem torna-se um fator muito importante para que o paciente sinta-se melhor durante a internação.

Embora o paciente esteja relativamente em boas condições de saúde, devido à supressão hormonal que é necessária para o tratamento, eles podem se encontrar sonolentos, deprimidos, etc. Portanto, eles podem apresentar alguma dificuldade para assimilar as informações [9].

Recomenda-se que os pacientes chupem limão ou balas para ajudar na salivação e que tomem água em abundância nos dois primeiros dias, para diminuir a exposição da bexiga urinária e glândulas salivares [2].

A internação permite um melhor controle clínico e evita a exposição desnecessária de outros indivíduos como também para o controle de contaminações com o ^{131}I . Embora os pacientes possam usar suas roupas pessoais, é indicado que usem artigos de louça descartáveis (copos, pratos e talheres). Para pacientes que possuem um estado clínico especial em que os cuidados de enfermagem sejam mais próximos, recomenda-se que haja uma rotação maior dos membros da equipe para diminuir as exposições. Luvas protetoras e proteção para os sapatos devem ser usados ao entrar no quarto e as mãos sempre devem ser lavadas após o contato com o paciente. [9, 28]

Após a alta do paciente o quarto é desencapado (retirado o plástico protetor de maçanetas, interruptores e algumas superfícies) e recolhido os rejeitos gerados no período de internação do paciente, sendo levados para o depósito de rejeitos, onde irão permanecer até que a radiação decaia a níveis de dispensa. É feito também levantamentos radiométricos e monitoração de superfícies e roupas de cama para averiguar a presença de contaminação radioativa. Se houver contaminação, as roupas são confinadas até que todo o material radioativo decaia para níveis de dispensa e, no caso das superfícies, são feitas lavagens de descontaminações [9, 28].

Para diminuir o risco de exposição radioativa os funcionários usam aventais de chumbo, protetores cervicais e biombos. Para diminuir essas exposições é importante seguir as exigências do órgão regulador (CNEN) e as recomendações da AIEA, para assegurar-se que as exposições sejam tão baixas quanto possíveis [9, 28].

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram realizadas medidas referentes à internação de 32 pacientes submetidos à iodoterapia com diferentes doses, faixa etária e de ambos os sexos. As medidas foram realizadas nos quartos terapêuticos do Serviço de Medicina Nuclear da Santa Casa de Misericórdia de São Paulo. Utilizando-se uma sonda do tipo Geiger-Muller (figura 4.1), foram realizadas medidas da taxa de exposição a 1 metro do paciente no dia de sua liberação, adotando-se como ponto de monitoração o centro do quarto. Após sua liberação e antes da descontaminação, foram realizadas medidas em pontos de referência predeterminados no interior do quarto terapêutico, levando-se em consideração os locais que normalmente apresentam maior contaminação superficial.



Figura 4.1 Monitor do tipo Geiger-Müller utilizado para medição da taxa de exposição do paciente e dos pontos de referência do quarto terapêutico (Modelo G1-E do fabricante MRA).

Para determinação dos pontos com maior potencial de contaminação, foram obtidas amostras de algodão contaminadas a partir do esfregão de superfícies em diversos pontos do quarto. A monitoração da contaminação foi medida usando um detector de contaminação do tipo Geiger-Müller (figura 4.2). Além dessa análise quantitativa, para definição dos pontos de medição adotados nesse trabalho, foram avaliados os seguintes aspectos: a localização das lixeiras com rejeitos radioativos; os locais de maior permanência dos pacientes; histórico de contaminação superficial obtido junto ao Serviço de Radioproteção da instalação.



Figura 4.2 Monitor do tipo Geiger-Müller utilizado para medição da contaminação superficial (Modelo GP-500 do fabricante MRA).

De acordo com a norma CNEN-NN 3.05 de Dezembro de 2013 [3], a distância para medir a taxa de dose de pacientes submetidos à iodoterapia passou a ser 2 metros ao invés de 1 metro. Como essa norma definiu um prazo de 2 anos para os Serviços de Medicina Nuclear se adequarem às suas exigências, no período em que foram realizadas as medidas deste trabalho, o protocolo adotado pela clínica definia ainda a distância de 1 metro para a monitoração dos pacientes.

A partir dos resultados da taxa de exposição do paciente no momento de sua liberação e da taxa de exposição nos pontos de referência pós-liberação, com superfícies e objetos ainda contaminados (figura 4.3), foi realizada uma análise do quanto à contaminação do quarto terapêutico pode influenciar na liberação dos pacientes. A influência foi quantificada através da obtenção da razão entre a taxa de exposição média do BG, elevada devido à contaminação, e a média da taxa de exposição do paciente no dia da liberação. Essa razão também foi calculada para cada paciente como forma de avaliar a contribuição de aspectos particulares nos resultados obtidos, como, por exemplo, a existência de contaminações anormais devido às condições clínicas do paciente, como por exemplo, a quantidade de excretas nas superfícies. Foi verificado também se a contribuição da contaminação superficial sobre a taxa de exposição do paciente é aumentada devido ao valor da atividade administrada.

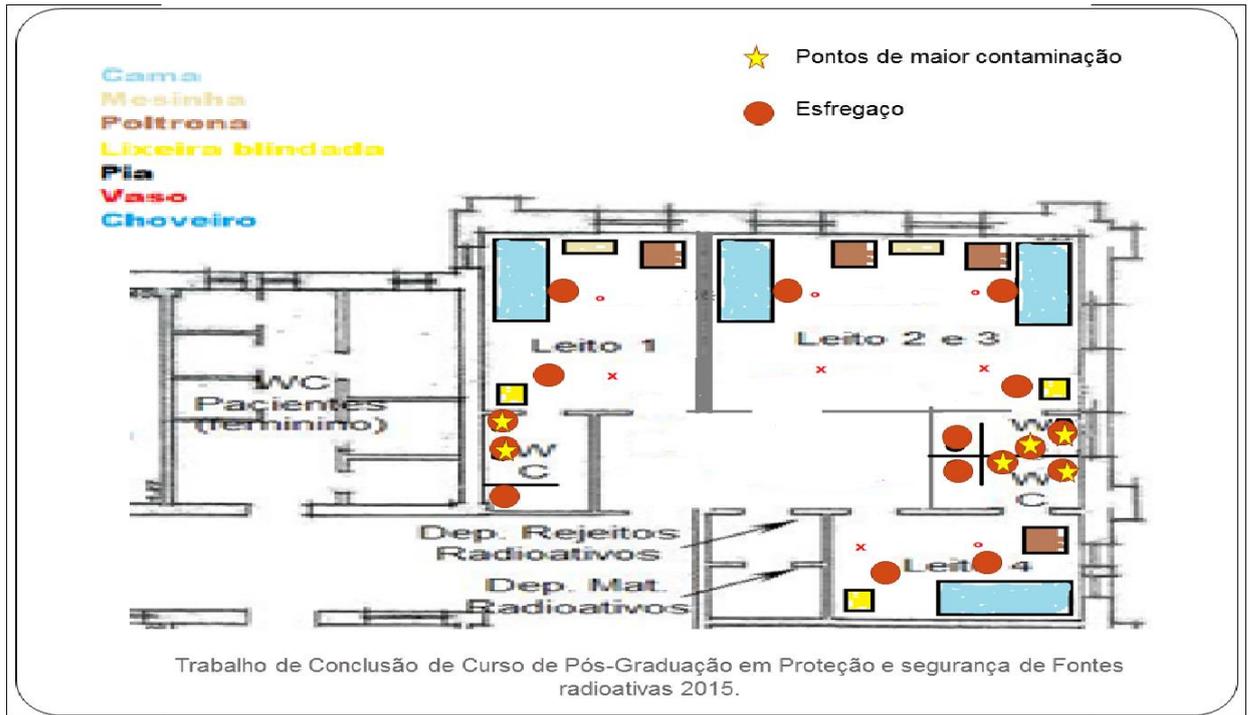


Figura 4.3 Pontos de referência no quarto terapêutico.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 5.1, são apresentados os valores médios da monitoração da taxa de exposição a 1 metro do paciente; da exposição no ponto de monitoração definido para liberação do paciente (centro do quarto) com os encapes e roupas contaminadas; e em ponto do banheiro privativo, local em que foi encontrada a maior taxa de exposição entre todos os pontos de medição utilizados. O primeiro valor é referente a monitorações realizadas, enquanto os outros dois valores são referentes a monitorações realizadas após a liberação dos pacientes e antes da descontaminação. Na tabela 5.2, os resultados estão categorizados de acordo com o valor da atividade administrada. Esta tabela apresenta também para cada valor de dose, a razão entre o BG médio e o valor médio da taxa de exposição do paciente na liberação.

Tabela 5.1: Valor médio da taxa de exposição a 1 m dos pacientes e de BG após liberação.

Medida	Valor médio (mR/h)
Taxa de exposição a 1 metro do paciente no dia da liberação	10,18 ± 5,09
Taxa de exposição do BG do centro do quarto com superfícies contaminadas	0,17 ± 0,12
Taxa de exposição do BG do banheiro do quarto com superfícies contaminadas	0,21 ± 0,11

Tabela 5.2: Valores médios da taxa de exposição do BG após liberação categorizada por valor de atividade administrada.

Atividade administrada (mCi / MBq)	N° pacientes por atividade administrada	Taxa de exposição do paciente na liberação (mR/h)	Média do BG do centro do quarto com superfícies contaminadas (mR/h)	Razão entre o BG e a taxa de exposição do paciente na liberação (mR/h)
100 / 3700	4	8,6 ± 3,2	0,15 ± 0,06	0,017
150 / 5550	9	8,5 ± 2,3	0,13 ± 0,04	0,015
200 / 7400	9	10,65 ± 6,8	0,14 ± 0,16	0,014
250 / 9250	6	11,25 ± 6,2*	0,40 ± 0,47*	0,035*
300 / 11100	4	10,8 ± 4,7	0,23 ± 0,12	0,021

* Resultado influenciado por caso particular em que houve forte contaminação.

Em caso específico, em que havia presença de grande quantidade de urina do paciente próximo ao ponto de monitoração no centro do quarto, a taxa de exposição do BG foi de 1,4 mR/h. Trata-se de um paciente com sonda vesical em que a contaminação do quarto foi muito elevada. O valor médio do BG do grupo que recebeu 250 mCi (9250 MBq) foi fortemente influenciado pelo resultado deste paciente.

A análise dos resultados revelou que, em média, a radiação de fundo elevada devido à contaminação superficial contribui apenas com 2% do valor da taxa de dose a 1 metro do paciente no momento de sua liberação. Assim, pode-se considerar que, mesmo havendo influência da contaminação do piso, lixo, mobília e outros objetos próximos ao ponto de monitoração, esta pode ser considerada não significativa para determinar se o paciente pode ou não ser liberado. A análise dos resultados do BG em diferentes pontos do quarto permitiu também concluir que o local de monitoração do paciente não deve ser relevante para sua liberação, exceto em casos especiais em que há a presença anormal de urina, como ocorre em pacientes que usam sonda ou fraldas.

Com o aumento da atividade administrada ao paciente não foi observado um acréscimo significativo no BG do quarto devido à contaminação. Mesmo para altos valores de dose, a contribuição deste BG para o valor da taxa de exposição no momento da liberação não é relevante.

O banheiro foi o ponto que apresentou maior contaminação superficial, porém, esta não eleva a taxa de exposição de forma a influenciar significativamente uma possível liberação do paciente no local. Assim, pode-se concluir que o ponto do quarto em que serão realizadas as medidas para determinar a liberação ou não do paciente, em geral, não é significativa.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho pode contribuir para solucionar uma dúvida operacional na área de medicina nuclear, pois supervisores de radioproteção, técnicos e médicos nucleares comumente questionam se os resultados da monitoração do paciente de iodoterapia podem estar deturpados pela existência de superfícies contaminadas próximas a ele. Pelos resultados obtidos, conclui-se que, apesar de realmente existir influência, esta não deve ser significativa para definir se o paciente pode ou não ser liberado. Outrossim, este estudo sugere que o local em que ocorre tal liberação não deve ser determinante. Conclusão que pode ser útil para um serviço de medicina nuclear estabelecer sua dinâmica de liberação de pacientes internados na iodoterapia.

Claramente, as conclusões apresentadas acima devem ser aplicadas em casos gerais, em que não é observado nenhum fator que indique contaminação superficial elevada. Como a urina é a principal via de eliminação do ^{131}I , devem ser consideradas as condições clínicas do paciente para averiguar sua capacidade de urinar no vaso sanitário ou se ele deverá utilizar sondas ou fraldas. Nestes casos, o background do quarto pode aumentar significativamente, influenciando consideravelmente o valor da taxa de exposição do paciente.

A análise comparativa entre os resultados individuais dos pacientes indicam que fatores como idade e sexo não são determinantes para a observação de maiores valores de contaminação superficial nos quartos terapêuticos. Já em relação ao valor da dose, devido às incertezas associadas às medidas realizadas, a leve tendência de elevação da contaminação devido ao acréscimo na atividade administrada, pode ser justificada por mera flutuação estatística, não sendo possível, então, chegar-se a conclusões sólidas.

Os resultados, conclusões e possíveis aplicações deste estudo podem ser incrementados realizando-se as seguintes melhorias:

- aumentar o espaço amostral de pacientes, tornando a análise estatística mais confiável e abrangendo mais casos particulares;
- realizar um estudo das incertezas envolvidas na monitoração dos pacientes, o que deve revelar mais informações e melhor entendimento dos resultados;

- realizar medidas a 2 metros do paciente, visando adaptar-se à nova norma da CNEN que entrou em vigência recentemente.

7. REFERÊNCIAS

- [1] ROSÁRIO, P.W., WARD, L.S.; CARVALHO G.A.; GRAF, H.; MACIEL, R.M.B., MACIEL, L.M.Z.; MAIA, A.L.; VAISMAN, M. Nódulos de tireoide e câncer diferenciado de tireoide: consenso brasileiro. **Arq. Bras. Endocrino. Metab.** São Paulo. v. 51, p.867-893, 2007.
- [2] OLIVEIRA, M. J.; OLIVEIRA, J. M. P. Treatment of Tifferentiated Thyroid Carcinoma. In: EARY, J.F.; BRENNER, W. (Coord.). Nuclear Medicine Therapy. New York: Informa Healthcare USA, 2007. p. 45-75.
- [3] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). **NN-3.05**: Requisitos de segurança e proteção radiológica para serviços de medicina nuclear. Rio de Janeiro, 2013.
- [4] IBIS, E.; WILSON, C.R.; COLLIER, B,D.; AKANSEL, G.; ISITMAN, A.T.; YOSS, R.G. Iodine-131 contamination from thyroid cancer patients. **Journal of nuclear medicine**, Reston, v. 33, n. 12, p. 2110-2115, 1992.
- [5] SAPIENZA, M.T.; WILLEGAIGNON, J.; ONO, C.R.; WATANABE, T.; GUIMARÃES, M.I.C.C.; GUTTERRES, R.F.; MARÉCHAL, M.H.H.; BUCHPIGUE, C.A. Radioiodoterapia do carcinoma diferenciado da tireoide: impacto radiológico da liberação hospitalar de pacientes com atividades entre 100 e 150 mCi de iodo-131. **Arq. Bras. Endocrino. Metab.** São Paulo. v.3, p. 318-325, 2009.
- [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). **TECDOC-1449**: Radiological aspects of non-fixed contamination of packages and conveyances. Vienna, 2005.
- [7] THOMPSON, M.A. Radiation Safety Precautions in the Manegement of the Hospitalized 131I Therapy Patient. **J Nucl Med Technol.** Reston. v. 29, p. 61-66, 2001.
- [8] WILLEGAIGNON, J.; RIBEIRO, V.P.B.; SAPIENZA, M.; ONO, C.R.; WATANABE, T.; BUCHPIGUE, C.A. Is it necessary to reduce the radioiodine dose in patients with thyroid cancer and renal failure?. **Arq. Bras. Endocrino. Metab.** São Paulo. v.4, p. 413-418, 2010.
- [9] RISSATO, M.L.; RIBEIRO, M.L.; CASTRO, N.R.P.S.; CASTRO, M.C.A.A.; OLIVEIRA, L.C. Iodoterapia: avaliação crítica de procedimentos de precaução e

manuseio dos rejeitos radioativos. **Rev Inst Adolfo Lutz**. São Paulo. v. 2, p. 245-253, 2009.

[10] SILVA, A. R. M.; SANTOS, M. C. Gerenciamento de rejeitos radioativos da iodoterapia. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, Recife, v. 3, n. 2, p. 11-17, 2015.

[11] ROBILOTTA, C.C. A tomografia por emissão de pósitrons: uma nova modalidade na medicina nuclear brasileira. **Rev Panam Salud Publica**. Washignton. v. 2, n. 3, p. 134-142, 2006.

[12] SIEGEL, E. The Beginnings of Radioiodine Therapy of Metastatic Thyroid Carcinoma: A memoir of Samuel M. Seidlin M. D. (1985-1955) and His Celebrated Patient. **Cancer Biotherapy and Radiopharmaceuticals**, New York, v. 14, n. 2, p. 71-79, 1999.

[13] VILLALOBOS J.P. **Estudo da cinética do pertecnetato nas glândulas parótidas e submaxilares, em indivíduos normais**. 1981. 68 f. Dissertação (Mestre em Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, SP.

[14] BLUMGART, H.L.; WEISS, S. Studies on the velocity of blood flow. **J Clin Invest**. Michigan, v. 1 n. 2, p. 15-31, 1927.

[15] LAWRENCE, E.O.; LIVINGSTONE, M.S. The production of high-speed light ions without the use of high voltage. **Phys Rev**. New York. v.1, p. 19-30, 1932.

[16] KENNA, B. T. The search for technetium in nature. **Journal of Chemical Education**, Washignton, v. 39, n. 9, p. 436-442, 1962.

[17] THOMAS, A. M.K.; BANERJEE, A. K. **The history of Radiology**. 1ª ed. Oxford: Oxford University Press, 2013.

[18] THRALL, James H; ZIESSMAN, Harvey A. **Medicina nuclear**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003.

[18] ANGER, H.O. Scintillation camera. **Rev Scilnstrum**. Melville. v.1, p. 27-33, 1958.

[19] CHERRY, Simon R.; SORENSON, James A.; PHELPS, M. E. **Physics in nuclear medicine**. 3rd ed. Philadelphia: Sanders, 2003.

[20] CHANDRA, R. **Nuclear medicine physics - the basis**. 5ª ed. New York: Willians & Wilkins, 1998.

- [21] BRANDÃO, C.D.G.; ANTONUCCI, J.; CORREA, N.D.; CORBO, R.; VAISMAN, M. Efeitos da radioiodoterapia nas gerações futuras de mulheres com carcinoma diferenciado de tireoide. **Radiol Bras**. São Paulo. v.1, p. 51-55, 2004.
- [22] MEDEIROS, G. **Tudo que você gostaria de saber sobre câncer de tireoide**. 1ª ed. São Paulo: Sambureau & Publicidade, 2005.
- [23] SAHA, Gopal B. **Physics and radiobiology of nuclear medicine**. 2ª ed. New York: Springer, 2001.
- [24] KWEE, S. A.; COEL, M. N; FITZ-PATRICK, D. Iodine I-131 Radiotherapy for Benign Thyroid Disease. In: EARY, J.F.; BRENNER, W. (Coord.). **Nuclear Medicine Therapy**. New York: Informa Healthcare USA, 2007. p. 169-189.
- [25] RAJENDRAN, J. G. Therapeutic Radioisotopes. In: EARY, J.F.; BRENNER, W. (Coord.). **Nuclear Medicine Therapy**. New York: Informa Healthcare USA, 2007. p. 9-20.
- [26] GUYTON, Arthur C.. **Fundamentos de Guyton: tratado de fisiologia médica**. 10.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002.
- [27] MEDEIROS, R.A. **Análise das condutas de radioproteção praticadas na terapia com iodo radioativo em pacientes portadores de carcinoma de tireoide: uma revisão da literatura**. 2015. 36 f. INCA. Rio de Janeiro, RJ.
- [28] SILVIA N.B.E. **Iodoterapia: Proteção radiológica e humanização do tratamento**. 2009. 105 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Física com ênfase em Física Médica)-Universidade Católica de Pernambuco-UNICAP, Recife, 2009.
- [29] GONZALEZ J.A. **Desenvolvimento de cálculos dosimétricos para pacientes com câncer diferenciado de tireoide com terapia com ¹³¹I (NaI) precedida de rec- hTSH e correlação entre dose absorvida e efeitos deletérios da radiação no organismo humano**. 2013. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciências)-Universidade de São Paulo-USP, São Paulo, 2013.
- [30] Condutas do inca/ms/ inca/ms procedures. Iodoterapia do Carcinoma Diferenciado da Tireoide. *Revista Brasileira de Cancerologia*, 2002, 48(2): 187-189.
- [31] NETO, G.M. Carcinoma Papilífero da Tireoide: Uma Hidra de Sete Cabeças. **Arq Bras Endocrino Metab**. v. 47, p. 203-204, 2003.
- [32] COTRAN, R.S; KUMAR, V; COLLINS, T. **Robbins Patologia Estrutural e Funcional**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000.

- [33] RODRIGUEZ, F.; LIMBERT, E.; MARQUES, A.P.; SANTOS, A.P.; LOPES, C.; RODRIGUES, E.; BORGES, F.; CARRILHO, F.; CASTRO, J.J.; NETO, J.; SALGADO, L.; OLIVEIRA, M.J. Protocolo de tratamento e seguimento dos carcinomas diferenciados da tiróide de origem folicular. **Acta Méd Port** . v. 18, p. 3-18, 2005.
- [34] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS (ICRU). **ICRU 60**: Fundamental Quantities and Units for Ionizing Radiation. Bethesda, 2005.
- [35] CEMBER, Herman. **Introduction to health physics**. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1996.