

INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA - IRD

Camila Cristina Cunha Araújo

Marcos Antônio Candido

Wagner do Prado Pereira

Estudo da meia-vida do ^{123}I e
verificação de possíveis impurezas radionuclídicas

Rio de Janeiro

2011

Camila Cristina Cunha Araújo

Marcos Antônio Candido

Wagner do Prado Pereira

Estudo da meia-vida do ^{123}I e
verificação de possíveis impurezas radionuclídicas

Trabalho de conclusão do curso de Pós-graduação *Lato Sensu* em Proteção Radiológica e Segurança de Fontes Radioativas apresentado ao Instituto de Radioproteção de Dosimetria – IRD.

Orientador: Prof. Dr. José Ubiratan Delgado

Rio de Janeiro

Novembro / 2011

Camila Cristina Cunha Araújo

Marcos Antônio Candido

Wagner do Prado Pereira

Estudo da meia-vida do ^{123}I e
verificação de possíveis impurezas radionuclídicas

Trabalho de conclusão do curso de Pós-graduação *Lato Sensu* em Proteção Radiológica e Segurança de Fontes Radioativas apresentado ao Instituto de Radioproteção de Dosimetria – IRD.

Orientador: Prof. Dr. José Ubiratan Delgado

BANCA EXAMINADORA

Professor Dr. Akira Iwahara

Professora Dra. Denise Simões Moreira

Rio de Janeiro

Novembro / 2011

Araújo, C. C. C.; Candido, A. M.; Pereira, W. P.
Estudo da meia-vida do ^{123}I e verificação de possíveis impurezas
radionuclídicas / Camila Cristina Cunha Araújo; Marcos Antônio
Candido; Wagner do Prado Pereira. – Rio de Janeiro: IRD, 2011.

xiv, 45 f.; il.; 29cm.

Orientador: José Ubiratan Delgado
Monografia (Lato-Sensu) – Instituto de Radioproteção e
Dosimetria.

Referências bibliográficas: f. 43-44

1. Proteção radiológica. 2. Radiofármacos. 3. Meia-vida. 4. Impurezas Radionuclídicas. 5. Controle de Qualidade
- I. Instituto de Radioproteção e Dosimetria. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer a Deus pela oportunidade e privilégio ao frequentar este curso.

Às nossas famílias pela paciência em tolerar nossas ausências e por nos apoiarem nos momentos difíceis.

Ao nosso mestre e orientador, Dr. José Ubiratan Delgado, pela orientação e incentivo a conclusão do trabalho proposto.

Aos pesquisadores Carlos José da Silva, Roberto Poledna, Ronaldo Lins da Silva e Érica Araújo Lima que através dos conhecimentos transmitidos contribuíram para elaboração deste trabalho.

Agradecemos a todos os professores que contribuíram para a nossa formação acadêmica e aos amigos que fizemos durante este período.

E ao Instituto de Radioproteção e Dosimetria – IRD pela oportunidade oferecida e apoio institucional que permitiu a realização deste trabalho.

“Investir em conhecimentos rende sempre melhores juros.”

(Benjamin Franklin)

RESUMO

Os radiofármacos são preparações farmacêuticas que tem por finalidade o diagnóstico e tratamento na Medicina Nuclear. São formados por um ou mais radionuclídeos e uma porção farmacológica. Durante o processo de produção do radiofármaco, em reator nuclear ou cíclotron, podem ser geradas impurezas do tipo biológica, química e radionuclídica. Quando se visa à proteção radiológica em termos da menor taxa de dose submetida aos pacientes que se beneficiam com estes medicamentos, deve-se ater ao controle de impurezas radionuclídicas. Essas impurezas estão relacionadas especificamente à radioatividade do radionuclídeo e podem ser identificadas através da meia-vida do elemento utilizado. O desenvolvimento do presente trabalho consistiu em estudar a meia-vida de uma amostra de Na¹²³I produzido no IEN (Instituto de Engenharia Nuclear) utilizando uma câmara de ionização de referência, e para verificação de impureza radionuclídica foi utilizado a técnica de espectrometria gama com detector de germânio, ambos equipamentos do LNMRI/IRD. Os resultados obtidos demonstraram valores para meia vida compatíveis com aqueles obtidos em publicações recentes com desvio apenas de 0,08% e incerteza de 0,11%. Além disso, foram verificadas presença de impurezas radionuclídicas para ^{95m}Tc, ¹²¹Te e ⁹⁶Tc.

Palavras-chave: radiofármacos, ¹²³I, meia-vida, controle de qualidade.

ABSTRACT

Radiopharmaceuticals are pharmaceutical preparations, which aim at the diagnosis and treatment in nuclear medicine. They consist of one or more radionuclides and a portion of pharmacology. During the production of radiopharmaceuticals in nuclear reactor or cyclotron, impurities can be generated from biological, chemical and/or radionuclidic processes. When it aims to radiological protection, in terms of the lowest dose to patients who underwent benefit from these medications, you should see the control radionuclidic impurities. These impurities are specifically related to the radioactivity of the radionuclide and can be identified through the half-life of element used. The development of this work was to study the half-life of a Na¹²³I IEN sample (Institute of Nuclear Engineering) using a reference ionization chamber, and for verification of radionuclidic impurity was used the technique of gamma spectrometry with detector germanium, both equipment belong to LNMRI / IRD. The results showed values for half-life compatible with those obtained in recent publications with a deviation of only 0.8% and 0.11% of uncertainty. Moreover, the presence of impurities was observed for radionuclide ^{95m}Tc, ⁹⁶Tc, ¹²¹Te.

Keywords: radiopharmaceuticals, ¹²³I, half-life, quality control.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Ilustração de decaimento por emissão beta.....	21
Figura 2: Esquema de decaimento do ^{99m}Tc ilustrando transição isomérica....	23
Figura 3: Curva de decaimento radioativo de um radioisótopo.	24
Figura 4: Câmara de ionização do tipo poço.	28
Figura 5: Detector de Germânio Hiperpuro	29
Figura 6: Embalagem do radiofármaco Na^{123}I do IEN.....	31
Figura 7: Esquema da câmara de ionização tipo poço.....	33
Figura 8: Curva de decaimento obtida para o ^{123}I	37
Figura 9: Gráfico de Resíduos.....	38
Figura 10: Espectro da contagem do ^{123}I no detector de germânio.....	40
Tabela 1. Características do radiofármaco Na^{123}I	30
Tabela 2. Incertezas estimadas para medidas de meia-vida do ^{226}Ra	38
Tabela 3. Incertezas estimadas para medida de meia-vida do ^{123}I	39
Tabela 4. Valores de meia-vida para o ^{123}I e erros relativos do valor obtido....	39
Tabela 5. Picos de energia e radionuclídeos associados.....	40

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AIEA – Agência Internacional de Energia Nuclear

IEN – Instituto de Engenharia Nuclear

INCA – Instituto Nacional do Câncer José Alencar

LNMRI – Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes

IRD – Instituto de Radioproteção e Dosimetria

LNHB - Laboratoire National Henri Becquerel (França)

NIST – National Institute of Standardization and Technology (Estados Unidos)

SEMRA – Serviço de Metrologia de Radionuclídicos

SMNs – Serviços de Medicina Nuclear

SSDL - Secondary Standard Dosimetry Laboratory

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVO	14
3	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	15
	3.1 ÁTOMOS	15
	3.2 ISÓTOPOS	16
	3.3 RADIOTIVIDADE	17
	3.4 DECAIMENTO RADIOATIVO	18
	3.5 RADIONUCLÍDEOS	19
	3.6 FISSÃO ESPONTÂNEA	19
	3.7 DECAIMENTO ALFA (α)	20
	3.8 DECAIMENTO BETA (β^-)	20
	3.9 DECAIMENTO POR PÓSITRON (β^+)	21
	3.10 CAPTURA ELETRÔNICA	21
	3.11 TRANSIÇÃO ISOMÉRICA	22
	3.12 EQUAÇÕES DO DECAIMENTO RADIOATIVO	23
	3.13 MEIA-VIDA	25
	3.14 RADIOFÁRMACOS	25
	3.14.1 Produção de Radiofármacos e a Medicina Nuclear	26
	3.14.2 Aplicações do Na ¹²³ I	31
4	METODOLOGIA	31
	4.1 PREPARAÇÃO DA AMOSTRA	32
	4.2 ESTUDO DA MEIA VIDA DO ¹²³ I	32

4.2.1	Câmara de Ionização.....	33
4.2.2	Calibração do sistema de detecção de raios gama com câmara de ionização tipo poço	34
4.2.3	Amostra de ^{123}I na Câmara de ionização.....	35
4.2.4	Processamento de dados e ajuste de curvas	35
2.2	VERIFICAÇÃO DE IMPUREZA RADIONUCLÍDICA	36
2.2.1	Equipamentos.....	36
2.2.2	Aquisição de dados.....	36
4	RESULTADO E DISCUSSÃO	37
4.1	Determinação da Meia-Vida do ^{123}I	37
5	CONCLUSÕES	42
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
	ANEXO 1	45

1. INTRODUÇÃO

Os radiofármacos são preparações farmacêuticas que tem por finalidade o diagnóstico e tratamento de doenças. São formados por um ou mais radionuclídeos e uma porção farmacológica. O emprego de radiofármacos em práticas médicas atualmente está bastante disseminado, visto que viabiliza o diagnóstico precoce de doenças bem como representa uma opção eficaz de tratamento. Assim, cada exame corresponde a um tipo de fármaco, o qual deve ser administrado ao paciente com uma Atividade bem conhecida que, por sua vez, é função de aspectos físicos do paciente, como por exemplo, peso, sexo, idade, dentre outros. Para evitar que clínicas adotem níveis arbitrários, organizações nacionais e internacionais recomendam valores máximos para a grandeza Atividade, relacionados aos tipos de radiofármacos e exames.

Os radionuclídeos presentes nos compostos são isótopos que se desintegram emitindo radiações eletromagnéticas, ou partículas, produzidas em geradores que, via o nuclídeo pai, produz um radionuclídeo filho que é removido por métodos específicos para ser utilizado junto com o composto farmacológico, transformando-o assim em um radiofármaco. Desta forma, a fim de assegurar um bom resultado ao paciente, a exatidão na medição da Atividade deve ser bem estabelecida. Para isto, a medição da Atividade é realizada nos próprios Serviços de Medicina Nuclear (SMNs), os quais utilizam medidores de Atividade, também conhecidos como ativímetros ou curiômetros.

A produção ou geração de um fármaco ocorre em um reator nuclear ou em um ciclotron. A forma de produção nos reatores dá-se quando se bombardeia o alvo com nêutrons térmicos, e nos ciclotrons, quando se bombardeia o alvo com partículas carregadas. Durante esse processo podem ser geradas impurezas do tipo biológica, química e radionuclídica. Quando se visa à proteção radiológica em termos da menor taxa de dose submetida aos pacientes que se beneficiam com estes medicamentos, deve-se ater ao controle de impurezas radionuclídicas. Essas impurezas estão relacionadas especificamente à radioatividade do radionuclídeo e podem ser identificadas através da meia-vida do elemento utilizado.

Por outro lado, a espectrometria gama é utilizada para medir a desintegração dos radionuclídeos, emissores de fótons, presentes em uma amostra, tornando conhecidas as suas Atividades. Assim, é possível se determinar a presença de radionuclídeos diferentes também emissores de fótons, que são gerados com o radionuclídeo de interesse, e a determinação do teor da pureza radionuclídica da amostra.

A metodologia empregada para verificação de impureza radionuclídica é dada através de medições realizadas com equipamentos do tipo iodeto de sódio ou detector de germânio puro. Pode ser usado também para a determinação da meia-vida do radionuclídeo de interesse e dos contaminantes da solução, respectivamente.

O Iodo é um elemento químico de número atômico 53 e massa 126 à temperatura ambiente; este elemento possui várias aplicações, uma delas é no campo da medicina nuclear por meio dos radionuclídeos ^{123}I e ^{131}I , amplamente utilizados para realizar o diagnóstico e mesmo o tratamento oncológico em diversas regiões do corpo humano, sendo a principal a tireóide. (SAHA, 1997)

O INCA (Instituto Nacional do Câncer José Alencar) realizou um estudo estatístico que comprovou o aumento crescente do câncer no Brasil devido ao aumento da expectativa de vida dos brasileiros, com isso gerou a necessidade de se aumentar a produção de medicamentos para tratamento dessas doenças. Atrelada a esta situação, observou-se um aumento no risco devido à crescente exposição radiológica em pacientes, acompanhantes e equipe médica que lidam diretamente com esse risco potencial. Portanto, deve ser levado em conta o estudo apurado na identificação e eliminação de impurezas radionuclídicas no momento da produção dos radiofármacos.

2 – OBJETIVO

A proposta deste trabalho é o uso da técnica para determinação da meia-vida de radiofármacos em centros produtores por meio de ativímetros ou curiômetros, como método auxiliar no controle de qualidade de radiofármacos, uma vez que o conhecimento da meia-vida demonstra presença de impureza radionuclídica decorrente do seu modo de produção. Esta meia-vida será obtida por meio de contagens das Atividades desse elemento de modo a ficar clara a identificação de outros radionuclídeos de meia-vida longa existentes no composto após sua fabricação. Assim, o controle de qualidade radionuclídico é um importante instrumento para a diminuição da exposição dos pacientes à radiação devido à possíveis impurezas radionuclídicas.

3- FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1- ÁTOMOS

Os gregos já se perguntavam o que poderia acontecer se eles dividissem a matéria em peças cada vez menores e, atualmente, se sabe que a matéria consiste de partículas inimaginavelmente pequenas, sendo que a menor partícula que pode existir de um elemento é chamada átomo. (ATKINS, 2005, p. 45-51)

O primeiro argumento convincente para existência dos átomos foi feito em 1807, pelo professor e químico inglês John Dalton. Os átomos de Dalton eram representados como se fossem esferas, do tipo bolas de bilhar. Hoje se sabe que os

átomos têm uma estrutura interna, ou seja, são constituídos por partículas subatômicas que diferenciam os átomos uns dos outros. Assim, as diferenças entre eles dependem do número de cada partícula subatômica nos átomos. (ATKINS, 2005, p. 45-51)

A primeira evidência experimental da estrutura interna dos átomos foi a descoberta, em 1897, pelo físico britânico J. J. Thomson, da primeira partícula subatômica, o elétron. Thomson demonstrou, através de estudos dos “raios catódicos”, que estes raios eram feixes de partículas carregadas negativamente, que provinham dos átomos constituintes do eletrodo carregado negativamente (cátodo) do tubo de vidro sob vácuo usado nos experimentos. Thomson concluiu que todas as partículas carregadas eram as mesmas, independente do metal usado para o cátodo, e que eram parte de todos os átomos. Essas partículas foram chamadas de elétrons (e). (ATKINS, 2005, p. 45-51)

Embora os elétrons tenham uma carga negativa, os átomos, como um todo, têm carga zero. Portanto, os cientistas, no começo do século XX, sabiam que cada átomo devia conter um número suficiente de cargas positivas para neutralizar a carga negativa. Em 1908, Ernest Rutherford, treinando Hans Geiger e Ernest Marsden, obtiveram resultados, em seus experimentos, que levaram a sugestão de que os átomos se constituíam de uma densa carga positiva central circundada por um grande volume de espaço vazio, a que Rutherford chamou de núcleo atômico. (ATKINS, 2005, p.45-51)

As partículas carregadas positivamente são chamadas de prótons (representado por p), que são cerca de duas mil vezes mais pesados que o elétron e com uma unidade de carga positiva. O número de prótons em um núcleo atômico é chamado de número atômico, Z, do elemento. (ATKINS, 2005, p.45-51)

Os avanços tecnológicos no início do século XX levaram à invenção do espectrômetro de massa, um aparelho para a determinação da massa de um átomo. Esse aparelho permitiu o refinamento do modelo atômico. Através da observação das diferenças de massas entre os átomos de um elemento, percebeu-se que o núcleo atômico deveria conter outras partículas subatômicas além de prótons;

assim, foi proposta a existência também de partículas eletricamente neutras chamadas de nêutrons (representados por n). (ATKINS, 2005, p.45-51)

Como os nêutrons não têm carga, sua presença não afeta a carga nuclear nem o número de elétrons no átomo. Entretanto, eles aumentam substancialmente a massa do núcleo; por isso, diferentes números de nêutrons no núcleo dão origem a átomos de massas diferentes, sendo que os átomos pertencem ao mesmo elemento. Nêutrons e prótons são partículas muito similares exceto pela carga; juntos são conhecidos como nucleons. (ATKINS, 2005, p.45-51)

A partir do conhecimento da existência dos elétrons, prótons e nêutrons, o modelo nuclear pode ser resumido pelas seguintes características: os átomos são feitos de partículas subatômicas chamadas elétrons, prótons e nêutrons; os prótons e nêutrons formam um corpo central minúsculo, denso chamado de núcleo do átomo; os elétrons estão distribuídos no espaço em torno do núcleo. (ATKINS, 2005, p.45-51)

3.2 - ISÓTOPOS

O número total de prótons e nêutrons no núcleo é chamado de massa do átomo, A , do átomo. Pela espectrometria de massa se determina que existem três variedades de átomos de neônio que são 20, 21 e 22 vezes mais pesados que um átomo de hidrogênio. Como para cada um deles $Z=10$, estes átomos de neônio devem conter 10, 11 e 12 nêutrons, respectivamente. Assim, os átomos com mesmo número atômico (pertencendo ao mesmo elemento), mas com diferentes números de massa, são chamados isótopos de um elemento. Todos os isótopos de um elemento têm exatamente o mesmo número atômico; então, eles têm o mesmo número de prótons e elétrons. (ATKINS, 2005, p.45-51)

3.3 - RADIOATIVIDADE

Radioatividade é uma característica dos núcleos dos átomos. Os núcleos, e com eles os átomos como um todo, passam por mudanças espontâneas conhecidas

como radiotransformações ativas ou nucleares e também como decaimentos ou desintegrações. (LOWENTHAL, 2004, p.1)

A radioatividade é o fenômeno de emissão de partículas e radiação pelo núcleo de um nuclídeo natural ou artificial que busca um estado mais estável, ou seja, um estado de mínima energia. (SANT'ANA, 2005, p. 9)

Em 1895, W. Roentgen descobriu que quando raios catódicos (elétrons) atingiam a parede do tubo de vidro sob vácuo, causavam a emissão de luz visível (ocorria fluorescência) e que, simultaneamente, uma radiação muito penetrante era produzida. A essa radiação foi dado o nome de Raios X. (LOWENTHAL, 2004, p.1)

A radioatividade não poderia ter sido descoberta muito antes de 1896 porque, nas intensidades que ocorrem naturalmente, são indetectáveis pelos sentidos humanos sem auxílio de detecção. Assim, a técnica fotográfica, que contribuiu para a sua descoberta, não foi adequadamente desenvolvida até meados do século XIX. Porém, até o final desse século, desempenhou um papel importante em duas descobertas que mudaram o caminho da ciência e da história: a descoberta dos Raios X, por Roentgen, na Alemanha, no final de 1895, seguido pela descoberta da radioatividade, por Becquerel, na França, no início de 1896. Estes eventos, completamente inesperados, abriram as portas para realidades físicas totalmente novas ao mundo emergente dos núcleos dos átomos e das radiações de altas energias emitidas por estes núcleos. (LOWENTHAL, 2004, p.1)

Marie Curie, posteriormente, mostrou que todos os compostos de urânio e tório produziam radiação ionizante, independente da composição química dos sais. Esta foi uma evidência convincente de que a radiação era uma propriedade do elemento urânio ou tório. Além disso, ela observou que alguns minerais de urânio, como pechblenda produziram mais radiação ionizante do que os compostos de urânio puro. Continuando suas pesquisas, em 1898, o casal Curie, juntamente com G. Bemont, isolou outra substância radioativa para a qual eles sugeriram o nome de rádio. A fim de provar que o polônio e rádio eram, na verdade, dois novos elementos, grandes quantidades de pechblenda foram processados, e M. Curie, em 1902, anunciou que ela tinha sido capaz de isolar cerca de 0,1 g de cloreto de rádio puro de mais de uma tonelada de resíduos da pechblenda. Foi no relato de

publicação da descoberta do polônio, que a palavra “radioativo” foi usada pela primeira vez. (CHOPPIN, 2001, p.1-2)

3.4 - DECAIMENTO RADIOATIVO

Enquanto investigava as propriedades radioquímicas do urânio, W. Crookes e Becquerel fizeram uma descoberta importante. Ao precipitar um sal de carbonato em uma solução contendo íons uranila, eles descobriram que, enquanto o urânio permaneceu no líquido sobrenadante, na forma do complexo solúvel de carbonato de uranila, a radioatividade originalmente associada ao urânio, estava agora presente no precipitado que não continha urânio. (CHOPPIN, 2001, p. 2-6)

Resultados semelhantes foram obtidos por E. Rutherford e F. Soddy, quando investigavam a radioatividade do tório. Mais tarde, Rutherford e F. E. Dorn descobriram que os gases radioativos podem ser separados dos sais de urânio e tório. Após a separação do gás, a partir do sal, a radioatividade do gás diminuiu com o tempo, enquanto a radioatividade de novos gases crescia no sal. Rutherford e Soddy concluíram que radioatividade era devido à mudanças dentro dos próprios átomos. Eles propuseram que, quando ocorria decaimento radioativo, os átomos dos elementos originais (por exemplo, de U ou de Th) eram transformados em átomos de elementos novos. (CHOPPIN, 2001, p. 2-6)

Um estudo cuidadoso da radiação emitida por esses elementos radioativos demonstrou que consistia de três componentes, aos quais foram dadas as designações alfa (α), beta (β) e gama (γ). A radiação alfa mostrou-se idêntica a íons de hélio, enquanto a radiação beta foi idêntica aos elétrons. Radiação gama teve a mesma natureza eletromagnética dos raios-X, mas mais energética. A taxa de decaimento radioativo por unidade de massa foi encontrada para ser fixada para qualquer radioelemento específico, não importando qual seja o seu estado físico ou químico, embora esta taxa difira grandemente para radioelementos diferentes. E, a taxa de decaimento pode ser expressa em termos de uma meia-vida, que é o tempo que leva para a radioatividade de um radioelemento (radionuclídeo) decair à metade de seu valor original. (CHOPPIN, 2001, p. 2-6)

3.5 - RADIONUCLÍDEOS

Aproximadamente 3000 núclídeos foram descobertos, sendo a maioria instável (radionuclídeos). Radionuclídeos decaem por fissão espontânea, emissão de partícula α , partícula β , ou emissão de raios γ , ou por captura eletrônica de modo a adquirir estabilidade eletrônica. A estabilidade de um radionuclídeo é regida pelo arranjo estrutural e energias de ligação dos nucleons no núcleo. Um critério de estabilidade é a razão do número de nêutrons pelo número de prótons (N/Z) dos núclídeos estáveis; os radionuclídeos decaem para adquirir a razão N/Z mais próxima possível dos núclídeos estáveis. Sendo que, o decaimento radioativo por emissão de partícula ou captura eletrônica provoca alteração no número atômico do radionuclídeo, enquanto o decaimento por emissão de raios gama não provoca essa alteração. (SAHA, 1997, p.11-21)

Radionuclídeos podem decair por apenas um ou pela combinação de seis processos: fissão espontânea, decaimento α , decaimento β^- , decaimento β^+ , captura eletrônica e transição isomérica (que pode acompanhar a emissão de partículas ou a captura eletrônica). (SAHA, 1997, p.11-21)

3.6 - FISSÃO ESPONTÂNEA

Fissão é um processo em que um núcleo pesado é dividido em dois fragmentos, tipicamente seguindo a proporção de 60:40. Este processo é acompanhado pela emissão de dois ou três nêutrons com energia média de 1,5 MeV e liberação de energia na ordem de 200 MeV, que aparece, majoritariamente, como calor. Essa fissão pode ocorrer espontaneamente ou por bombardeamento do núcleo com partículas energéticas. A probabilidade de fissão espontânea é baixa e aumenta com o número de massa do núcleo pesado. (SAHA, 1997, p.11-21)

3.7 - DECAIMENTO ALFA (α)

Núcleos pesados, tais como o radônio e urânio, usualmente, decaem por emissão de partículas α . A partícula α é um íon de hélio contendo dois prótons e dois nêutrons. Assim, no decaimento α , o número atômico do nuclídeo pai é reduzido por 2 e número de massa por 4. O decaimento α pode ser exemplificado pela seguinte transformação:



Uma transição alfa pode ser acompanhada de emissão de raios γ . As partículas α são monoenergéticas, e seu alcance na matéria é muito curto (na ordem de 10^{-6} cm). (SAHA, 1997, p.11-21)

3.8 - DECAIMENTO BETA (β^-)

Quando um núcleo é “rico em nêutron”, ou seja, a proporção N/Z é alta, se comparada ao núcleo estável, ocorre o decaimento por emissão de partícula β^- e de um antineutrino. Um antineutrino ($\bar{\nu}$) é uma entidade quase sem massa e carga e é, primariamente, necessária à conservação de energia no decaimento. No decaimento β^- , um nêutron (n), essencialmente, decai a um próton e uma partícula β^- . A figura a seguir representa esse processo. (SAHA, 1997, p.11-21)



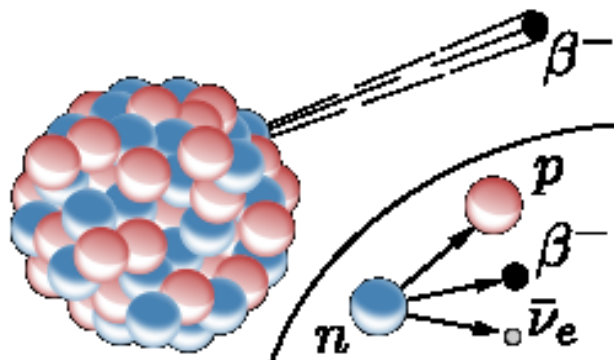


Figura 6. Ilustração de decaimento por emissão beta. (WIKIPÉDIA, 2007)

Depois do decaimento beta, o número atômico do nuclídeo filho é um a mais que o apresentado pelo nuclídeo pai. (SAHA, 1997, p.11-21)

3.9 -DECAIMENTO POR PÓSITRON (β^+)

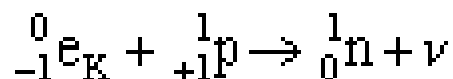
O núcleo “deficiente de nêutron” ou “rico em prótons”, isto é, que possui uma razão N/Z menor que o núcleo estável, pode decair por emissão de partícula β^+ (pósitron) acompanhada da emissão de um neutrino, que é uma entidade oposta ao antineutrino. Depois da emissão de partícula β^+ , o nuclídeo filho possui um número atômico que é um a menos que o do pai. O alcance do pósitron na matéria é curto. Pósitrons podem se combinar com elétrons e serem aniquilados, dando origem a dois fótons de 511 keV que são emitidos em direções opostas. Estes fótons são referidos como radiações de aniquilação. (SAHA, 1997, p.11-21)

3.10- CAPTURA ELETRÔNICA

Captura eletrônica ocorre quando um núcleo tem uma pequena razão N/Z comparada a um núcleo estável, como alternativa ao decaimento β^+ . Consiste em um processo em que um elétron é capturado da camada eletrônica extranuclear, então, transforma um próton em um nêutron e emite um neutrino. Para que esse processo ocorra, a diferença de energia entre os nuclídeos pai e filho é usualmente,

mas não necessariamente, menor que 1,02 MeV. O número atômico do nuclídeo pai é reduzido por um nesse processo. (SAHA, 1997, p.11-21)

Usualmente os elétrons da camada K são capturados devido à sua proximidade ao núcleo; o processo é então chamado de captura K. E também, em captura L, um elétron da camada L é capturado. A vacância criada na camada K, depois da captura do elétron, é preenchida pela transição de elétrons de camadas de níveis superiores (provavelmente camada L e, possivelmente, camadas M e N). A diferença de energias desses elétrons nessas camadas aparecerá como raios-x característicos do núcleo filho. Esses raios-X característicos são denominados *raios-X K característicos*. (SAHA, 1997, p.11-21)



A probabilidade de ocorrência de captura eletrônica cresce com o aumento do número atômico, porque as camadas eletrônicas desses nuclídeos estão mais próximas ao núcleo. (SAHA, 1997, p.11-21)

3.11 - TRANSIÇÃO ISOMÉRICA

Um núcleo pode permanecer em vários estados de energias de excitação acima de um estado basal definidos pela mecânica quântica. Todos esses estados de excitação são referidos como *estados isoméricos* e decaem a um estado basal, com meia-vida de fração de picosegundos a muitos anos. O decaimento, de um dado nível, para um nível inferior de estado de excitação é chamado *transição isomérica*. Nas emissões tipo beta ou decaimentos por captura eletrônica, os núcleos pai podem alcançar quaisquer desses estados isoméricos no núcleo filho, em lugar de atingirem o estado fundamental e, então, esses decaimentos são frequentemente acompanhados por transição isomérica. A diferença de energia entre os estados de energia aparece como raios γ . Quando os estados isoméricos são longos, eles são referidos como *estados metaestáveis* e podem ser detectados

por instrumentos apropriados. Um exemplo de decaimento metaestável é apresentado na figura a seguir. (SAHA, 1997, p.11-21)

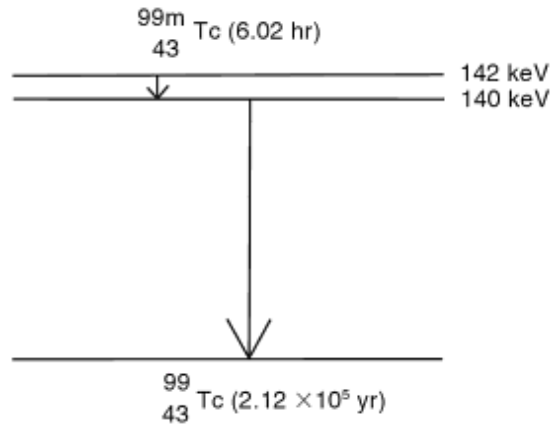


Figura 7. Esquema de decaimento do ^{99m}Tc ilustrando uma transição isomérica. (SAHA, 1997, p.11-21)

3.12 - EQUAÇÕES DO DECAIMENTO RADIOATIVO

O decaimento dos radionuclídeos é um processo aleatório, isto é, não se pode dizer qual átomo de um grupo de átomos irá decair em um momento específico. Portanto, se pode falar apenas sobre a variação de radionuclídeos desintegrando em um período de tempo. Isto é a taxa de desintegração de um nuclídeo particular.

O número de desintegrações por unidade de tempo, $-dN/dt$, de um radionuclídeo em determinado tempo é proporcional ao número total de átomos radioativos presentes na amostra naquele tempo. Representação matemática para esse processo é: (SAHA, 1997, p.11-21)

$$- dN(t) / dt = \lambda N(t) \text{ (equação 1)}$$

Onde N é o número de átomos radioativos e λ é a constante de decaimento, que é definida como a probabilidade de desintegração por unidade de tempo para um único radionuclídeo. Integrando a equação 1 vem,

$$n(t) = n_0 e^{-\lambda t} \text{ (equação 2)}$$

onde n_0 é o número de átomos radioativos existentes na amostra no instante $t=0$. Assim, a atividade da amostra pode ser obtida pela expressão:

$$A(t) = \lambda n(t) = \lambda n_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t} \text{ (equação 3)}$$

A atividade de uma amostra depende do valor inicial da atividade no instante zero e é uma função exponencial decrescente do tempo. A figura 3 mostra a função de decaimento e os parâmetros principais envolvidos no processo. (TAUHATA, 2006, p. 16-18)

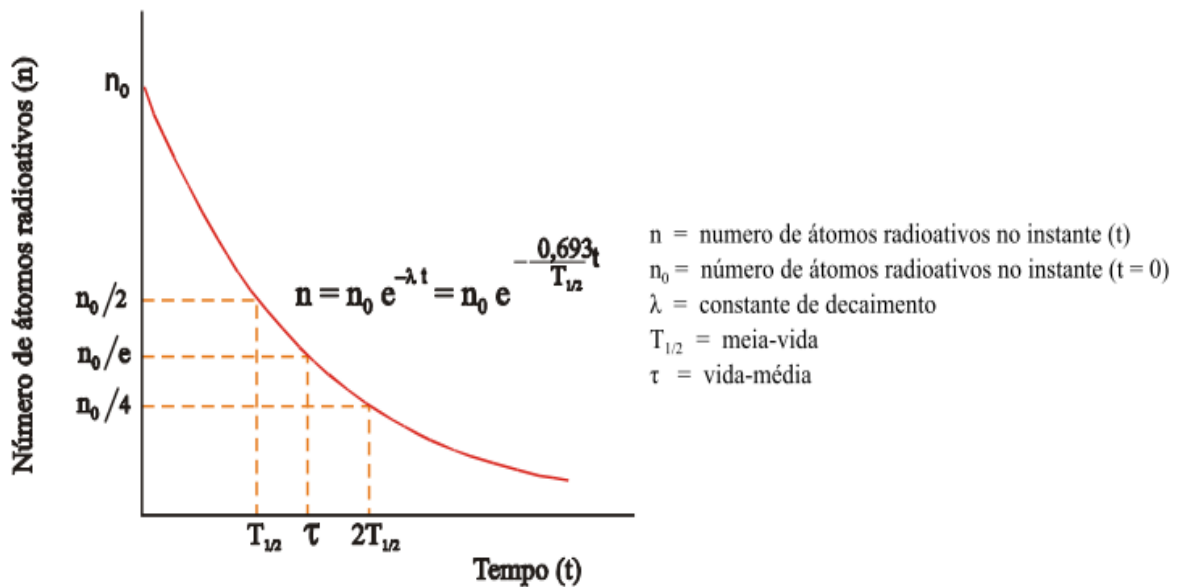


Figura 8. Curva de decaimento radioativo de um radioisótopo. (TAUHATA, 2006, p. 17)

A atividade de uma fonte, no Sistema Internacional (SI), se refere a unidades de transformações por segundo denominada *becquerel* (Bq) = $1/s$. A unidade antiga e ainda em uso é o *Curie* (Ci). Sendo 1 Ci equivalente a $3,7 \times 10^{10}$ Bq. (TAUHATA, 2006, p. 16-18)

3.13 - MEIA-VIDA

Cada radionuclídeo é caracterizado por uma *meia-vida*, que é definida como o tempo requerido para que se reduza sua atividade inicial pela metade, usualmente denotada por $t_{1/2}$ e é única para um dado radionuclídeo. A constante de decaimento é relacionada à meia-vida por:

$$\lambda = 0,693 / t_{1/2} \text{ (equação 4)}$$

Para determinar a meia-vida de um radionuclídeo, sua radioatividade é medida em diferentes intervalos de tempo e se plota os dados em escala logarítmica pelo tempo, resultando em uma linha reta, cuja inclinação é o λ . A meia-vida é determinada pela Eq. 4. (SAHA, 1997, p.11-21)

3.14 - RADIOFÁRMACOS

A 4ª edição da Farmacopéia Brasileira define radiofármaco como sendo preparações que contêm um ou mais radionuclídeos que, além de atender às especificações farmacopeicas, tem sua produção, suprimento, estocagem, uso e descarte regulamentados por outras normas governamentais pertinentes em vigor. Radiofármaco também pode ser definido como um composto radioativo usado para diagnóstico e tratamento de doenças humanas. Um radiofármaco pode ser um elemento radioativo tal como ^{123}Xe , ou um composto elaborado como proteínas iodadas com ^{131}I e compostos marcados com $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Os radiofármacos, geralmente, não apresentam efeitos farmacológicos porque, na maioria das vezes, são usados como traçadores. Devido à sua administração aos humanos, eles devem ser estéreis e livres de pirogênio, e estão sujeitos a todas as medidas de controle de qualidade requeridas por uma droga convencional. (FB, 2005)

Um radiofármaco apresenta 2 componentes: um radionuclídeo e uma porção farmacêutica. A utilização do radiofármaco é ditada por características desses 2 componentes. No desenvolvimento de um radiofármaco, o fármaco é inicialmente escolhido baseado na localização preferencial em um dado órgão ou em participação em função fisiológica do órgão. Então, um determinado radionuclídeo é incorporado ao fármaco escolhido tal que, após a administração do radiofármaco,

radiações emitidas por ele sejam detectadas por detectores de radiação. Assim, a estrutura morfológica ou a fisiológica do órgão, pode ser acessada. O fármaco escolhido deve ser seguro e atóxico para administração humana. Radiações do radionuclídeo de escolha devem ser facilmente detectadas por instrumentos nucleares para que a dose de radiação ao paciente seja minimizada. Em medicina nuclear, aproximadamente 95% dos radiofármacos são usados para diagnóstico, enquanto que os 5% são usados em tratamentos. (SAHA, 1997, p.80-85)

Dentre as características de um radiofármaco ideal está possuir meia-vida efetiva curta, que é soma da meia-vida física a meia-vida biológica. (SAHA, 1997, p.80-85)

Um radionuclídeo decai com uma meia-vida definida, que é chamada de meia-vida física, denotada T_p (ou $t_{1/2}$). A meia-vida física é independente de qualquer condição físico-química e é característica para um dado radionuclídeo. (SAHA, 1997, p.80-85)

Radiofármacos administrados aos humanos desaparecem do sistema biológico através de excreção fecal ou urinária, transpiração, ou outros mecanismos. Esse desaparecimento biológico do radiofármaco segue uma lei exponencial similar ao do decaimento de radionuclídeo. Assim, todo radiofármaco possui uma meia-vida biológica (T_b), que é o tempo necessário para que metade do radiofármaco desapareça do sistema biológico. Ela pode ser relacionada a uma constante de decaimento. Como no sistema biológico, a perda do radiofármaco é devida a ambos os mecanismos, eliminações físicas e biológicas; a taxa efetiva de perda da radioatividade é, então, relacionada à constante de decaimento físico (λ_f) e à constante de decaimento biológico (λ_b). Ambas constantes determinam a meia-vida efetiva de um radiofármaco. A meia-vida efetiva T_e é sempre mais curta que a física (T_f) ou a biológica (T_b). (SAHA, 1997, p.80-85)

3.14.1 - Produção de Radiofármacos e a Medicina Nuclear

A medicina utiliza diversas técnicas com radiações ionizantes para terapia e diagnóstico. Em medicina nuclear, as radiações ionizantes são emitidas de dentro

dos pacientes a partir de radionuclídeos incorporados e detectadas externamente para a formação de imagens que permitem o diagnóstico. Os radiofármacos são utilizados em procedimentos bem estabelecidos baseados na sua incorporação seletiva pelos órgãos do corpo humano. (REZENDE, 2011, p. 7-10)

Na boa realização de exames, valores bem estabelecidos da Atividade dos radiofármacos são administrados aos pacientes e, por meio de detectores externos, como as gamacâmaras, obtêm-se as imagens das regiões de interesse. Mas, para se ter sucesso no exame, é preciso que o valor da Atividade aplicada seja bem determinado. Um valor menor pode fornecer imagem insuficiente para o diagnóstico, além de aumentar o tempo de exame. Valores superestimados da Atividade podem saturar a capacidade de captação e processamento dos impulsos eletrônicos, impossibilitando a formação de imagem de boa qualidade e assim, comprometer os objetivos do procedimento. (REZENDE, 2011, p. 7-10)

Buscando assegurar o êxito do procedimento médico e melhora na proteção do paciente em relação aos possíveis riscos de efeitos biológicos deletérios à sua saúde induzidos pela radiação, as medições da Atividade dos radiofármacos administrados à pacientes devem ter boa exatidão. No Brasil, o limite de desvio, estabelecido pela norma CNEN NN-3.05, é de no máximo 10%. (REZENDE, 2011, p. 7-10)

Para medir a Atividade do radiofármaco, os Serviços de Medicina Nuclear (SMNs), utilizam medidores de atividade, os ativímetros ou curiômetros. Basicamente estes equipamentos são constituídos de um medidor tipo poço, acoplado a um sistema de processamento dos sinais ou da corrente, denominado de eletrômetro. O detector pode ser do tipo Geiger-Müller ou Câmara de ionização (figura 4). Na parte reentrante do medidor é colocado o radiofármaco a ser medido, acondicionado em ampolas, frascos ou seringas. (REZENDE, 2011, p. 7-10)

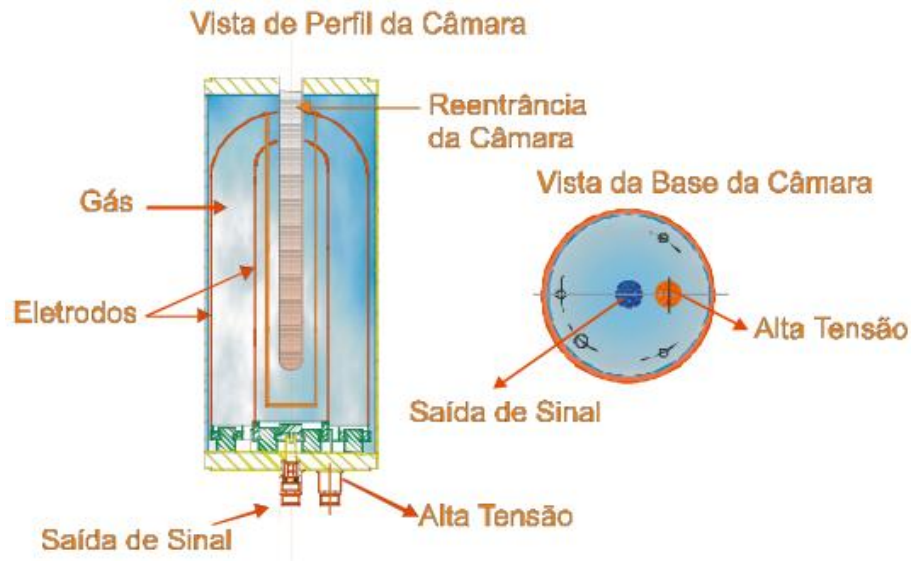


Figura 9. Câmara de ionização do tipo poço. (REZENDE, 2011, p. 8)

Para que a medição da Atividade seja correta é necessário que o ativímetro esteja devidamente calibrado para que suas medições possam estar dentro dos limites. Sua calibração envolve o bom desempenho para todos os radionuclídeos que compõem os radiofármacos utilizados. Esta exigência implica na existência de padrões de Atividade para tais radionuclídeos no país. Mas, para atender a essas exigências, a produção e controle de qualidade dos radiofármacos, antes de seu fornecimento, devem estar de acordo com normas pertinentes em vigor. (REZENDE, 2011, p. 7-10)

Para se determinar a quantidade de Atividade oriunda do radionuclídeo de interesse, é necessário conhecer outros radionuclídeos que possam estar presente no radiofármaco. Assim, um instrumento adequado, com resolução tal que permita identificar radionuclídeos presentes na amostra, é o detector de germânio. Estes detectores são os mais utilizados, em laboratórios, para a medida de emissores gama com baixa Atividade e identificação de radioisótopos presentes em materiais. O detector de germânio hiperpuro é o preferencialmente aceito atualmente e que necessita de refrigeração. Geralmente construídos com geometria cilíndrica ou axial que permite obter volume de contagem maior, necessário para a espectrometria gama. Um detector, com geometria cilíndrica, pode ser visualizado na figura 5. (TAUHATA, 2006, p.190).

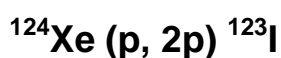


Figura 5: Detector de Germânio Hiperpuro (TAUHATA, 2006)

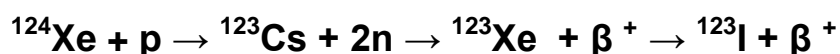
De outro lado, a Farmacopéia Americana (USP) define que a solução de Na^{123}I deve conter não menos que 90% e não mais que 110% da concentração de Atividade expressa em megabequerels (microcuries ou milicuries) por mililitro no tempo indicado do preparo. Outras formas químicas emissoras de radiação não devem exceder 5% do total de radioatividade. Assim, para a pureza radionuclídica, um trabalho feito no país estabelece que não menos que 90% da radioatividade seja do ^{123}I . (USP 30, 2007)

A produção de radiofármacos é umas das principais atividades do Instituto de Engenharia Nuclear (IEN) que, desde 1980, desenvolve estudos visando à produção de radioisótopos para a medicina nuclear usando o acelerador de partículas Ciclotron CV-28. Até 1997, o IEN produzia Na^{123}I a partir do ^{124}Te e, desde de 1998, tem produzido e comercializado Na^{123}I Ultra Puro (^{123}I UP), utilizando o sistema KIPROS (Karlsruhe Iodine Production System). (PERES, 1999)

Neste novo método de produção, o ^{123}I é obtido pelas seguintes reações nucleares:



e



A produção do ^{123}I Ultra Puro (UP), por esse novo método, é realizada semanalmente em níveis muito mais elevados que a anterior. (PERES, 1999)

O CV-28 do IEN é um acelerador multipartícula compacto com energia variável que, desde 1998, foi dedicado apenas para a produção de ^{123}I UP, usando prótons de 24 MeV, correntes de 10, 15 e 20 μA e períodos de irradiação de aproximadamente 3 a 5 horas. (PERES, 1999)

O radiofármaco Na^{123}I UP produzido pelo IEN é fornecido em uma solução aquosa, límpida e não injetável. Sua administração se dá por via oral. É utilizado para estudar a função da glândula tireóide. Suas características técnicas estão apresentadas na tabela 1 a seguir. Ele tem aplicação no diagnóstico de doenças da tireóide e, por ter uma meia-vida de apenas 13,2 horas, o ^{123}I substitui com vantagens o ^{131}I (meia-vida de 8 dias), permitindo a realização de exames menos agressivos aos pacientes. (IEN, 2011)

Tabela 6. Características do radiofármaco Na^{123}I (IEN, 2011)

Forma química:	Solução de Iodeto de Sódio (NaI)
Características da solução:	límpida, estéril, apirogênica
pH:	12 a 13
Concentração radioativa:	740 ou 1850 MBq/ml
Pureza radioquímica:	> 98%
Pureza radionuclídica:	> 99%

Para a determinação da pureza radionuclídica são realizados testes para identificação do radionuclídeo através de sua meia-vida ou pela natureza e energia de sua radiação, ou por ambos os métodos. Assim, neste trabalho, a meia-vida do ^{123}I , presente no radiofármaco Na^{123}I do IEN, é determinada através de uma Câmara de Ionização do tipo poço, como forma de se verificar a pureza radionuclídica do fármaco. Somado a isso, realiza-se a espectrometria gama em detector de Germânio, a qual permitirá a identificação dos nuclídeos em uma possível contaminação da amostra.

3.15 - APLICAÇÕES DO Na¹²³I

Além de suas aplicações médicas, o Na¹²³I é utilizado em diversas pesquisas, por exemplo, em produção de gases de iodo para avaliação de sistemas de retenção de iodo volatilizado, como ocorre em radiofarmácias e em diversas avaliações industriais. (PEREIRA, 2011)

4 - METODOLOGIA

Para a realização deste estudo foi utilizada uma amostra do radioisótopo ¹²³I, na forma do radiofármaco iodeto de sódio (solução aquosa, límpida e não injetável) produzido e fornecido pelo Instituto de Engenharia Nuclear – IEN.



Figura 6. Embalagem do radiofármaco Na¹²³I do IEN (REZENDE, 2011)

Os dados experimentais foram obtidos através de medições realizadas no Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes - LNMRI no Instituto de Radioproteção e Dosimetria. O LNMRI desde 1976 é reconhecido como Laboratório de Dosimetria Padrão Secundário (SSDL) pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA).

Este trabalho foi constituído em três etapas: revisão bibliográfica, estudo da meia vida do ¹²³I e verificação de possível impureza radionuclídica contida na amostra. Os procedimentos práticos foram de acordo com os protocolos do LNMRI.

4.1 - PREPARAÇÃO DA AMOSTRA

A amostra foi preparada pelo pessoal técnico do Laboratório de Preparação de Fontes do LNMRI. A amostra foi acondicionada em ampola de vidro, com capacidade para 5 g. Estas ampolas são usadas para a padronização e certificação de fontes em ampolas do SEMRA - Serviço de Metrologia de Radionuclídeos. A geometria adotada é de 2 cm de altura, com massa aproximada de 2,7 g. Esta amostra foi utilizada tanto para o estudo da meia-vida como também na determinação das impurezas radionuclídicas.

4.2 - ESTUDO DA MEIA-VIDA DO ^{123}I

Para o estudo da meia-vida do ^{123}I foi necessário o estabelecimento de radiação de fundo, a calibração do sistema de detecção de raios gama com câmara de ionização tipo poço e na seqüência foram realizadas as medições da ampola contendo o ^{123}I .

Durante o procedimento foram utilizados os seguintes equipamentos:

- ✓ Centrífuga
- ✓ Câmara de ionização – modelo IG-11CI-3
- ✓ Fonte de alta tensão (tensão + 600V)
- ✓ Eletrômetro (10^{-10} C a 20^{-9} C)
- ✓ Cronômetro eletrônico
- ✓ Balança eletrônica com 6 casas decimais. Peso máximo 5,1 g
- ✓ Programa de aquisição de dados em Labview
- ✓ Programa de Ajuste de Curvas ORIGIN 6

4.2.1 - Câmara de Ionização

A câmara de ionização tipo poço é um dos métodos mais utilizados por apresentar alta estabilidade, simplicidade de operação, precisão semelhante à dos métodos diretos, larga

faixa de medição da Atividade, baixo custo e rapidez. Para minimizar a radiação de fundo, durante as medições a câmara de ionização está localizada dentro de um castelo de chumbo. A solução radioativa selada em ampola de vidro é introduzida com o suporte de ampolas no poço da câmara para medida.

A câmara de ionização está acoplada a um eletrômetro com interface para microprocessador e cronômetro digital. Sua operação normal está baseada em coletar todas as cargas criadas por ionização direta através da aplicação de um campo elétrico. Neste estudo foi operada em modo de corrente, onde o que se mede é uma corrente média resultante de uma somatória de contribuições de um número n de interações.

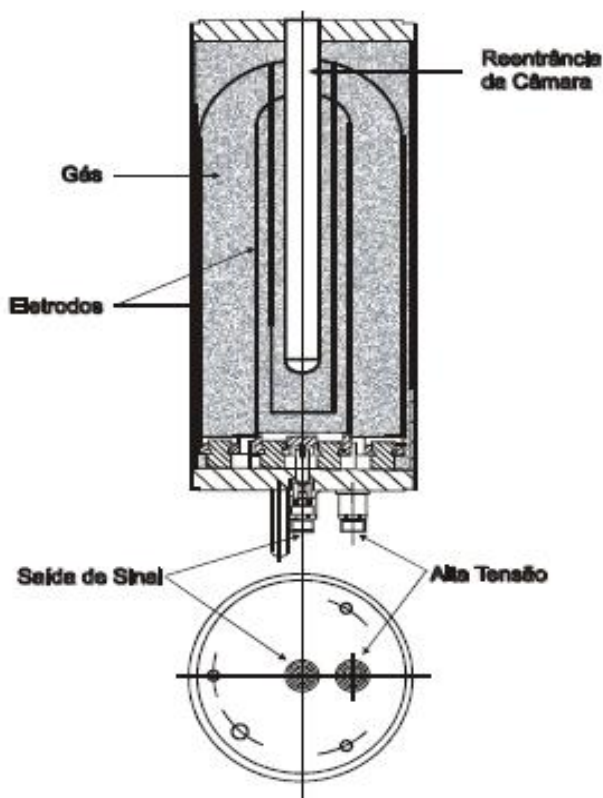


Figura 7. Esquema da câmara de ionização tipo poço. (TAUHATA, 2006)

4.2.2 - Calibração do sistema de detecção de raios gama com câmara de ionização tipo poço

Para a verificação da estabilidade do sistema de câmara de ionização, que opera no LNMRI desde 2006, foi utilizada uma amostra de referência padrão de ^{226}Ra . A

amostra referência é encapsulada em aço e para reproduzir a geometria da ampola foi utilizado um suporte em acrílico.

O método permite determinar a relação intensidade de corrente (I) e a Atividade (A) para radionuclídeo da amostra padrão. A intensidade de corrente (I) produzida pelo padrão radioativo na câmara de ionização é dada em ampere (A) e a Atividade da solução padrão é expressa em becquerel (Bq).

Durante a calibração foram realizadas medidas de modo a averiguar as respostas do sistema à radiação de fundo e à amostra referência de ^{226}Ra para normalização da resposta do sistema fornecendo uma precisão de 0,1%.

As medições foram registradas no programa de aquisição de dados Labview que permite a realização das contagens de forma semi-automática, em que são fixados o tempo de medição e o número de medidas. Ao final do tempo de contagem, o programa arquiva os dados com a identificação da fonte e demais dados em arquivo.txt.

Na análise de dados obtidos durante a calibração do Sistema foram considerados:

- Valor médio da intensidade de corrente devido à radiação de fundo;
- Desvio padrão da intensidade de corrente produzida pela radiação de fundo;
- Valor médio da intensidade de corrente devido à amostra de referência;
- Desvio padrão da intensidade de corrente produzida pela amostra de referência;
- Valor médio da intensidade de corrente produzida pelo padrão;
- Desvio padrão da intensidade de corrente produzida pelo padrão;
- Fator de normalização;
- Fator de calibração;
- Incerteza Categoria A - determinada por métodos estatísticos.

- Incerteza Categoria B - determinada por métodos não estatísticos.
- Incerteza combinada - obtida pela por meio da composição quadrática das incertezas de tipo A e B.

4.2.3 - Amostra de ^{123}I na Câmara de ionização

Após a calibração do sistema de detecção de raios gama na Câmara de ionização, se deram as medições da amostra estudada. Durante este procedimento, as contagens e Atividade serão determinadas por método indireto.

Nesse método é necessário o controle rigoroso do padrão (radionuclídeo de meia-vida longa) a ser utilizado para calibração do sistema de forma padronizada e que obedeça a certos requisitos como, rastreabilidade de medições e procedimentos à rede metrológica nacional e internacional e repetibilidade para poder realizar as medições da amostra, com a finalidade de determinar a Atividade para se chegar a meia-vida do radionuclídeo presente na solução de radiofármaco.

4.2.4 - Processamento de dados e ajuste de curvas

Para execução dos cálculos foi utilizada uma planilha de cálculo em Excel para determinação da Atividade. Ajustes de curva se deram no Excel 2010 e no ORIGIN 6.0, mas os valores utilizados neste trabalho são aqueles fornecidos pelo segundo.

4.3 - VERIFICAÇÃO DE IMPUREZA RADIONUCLÍDICA

A pureza radionuclídica é definida como a fração do total de radioatividade na forma do radionuclídeo desejado a partir da identificação da meia-vida física e das características das radiações emitidas pelos radionuclídeos (Zolle, 2007).

Neste trabalho a determinação qualitativa e quantitativa, dos contaminantes radionuclídicos da amostra do ^{123}I , foi realizada por espectrometria de radiação

gama constituído de um detector de germânio hiperpuro (GMX) que permite detectar radiações com energia de 10 keV a 10 MeV.

4.3.1 - Equipamentos

O sistema utilizado possui características satisfatórias quanto à rapidez de execução, versatilidade em relação à geometria da amostra, precisão e exatidão.

O típico sistema de espectrometria gama consiste de um detector de germânio com pré-amplificador embutido, refrigerado a nitrogênio líquido e com eletrônica associada, composta de bastidor NIM-BIN, fonte de alta tensão, amplificador linear, conversor analógico-digital (ADC), analisador multicanal para aquisição de espectros e equipamentos para processar os dados gerados.

O detector está contido em um castelo de chumbo de forma a atenuar a influência da radiação de fundo sobre as taxas de contagens.

4.3.2 - Aquisição de dados

A Atividade de uma amostra, contendo um determinado radionuclídeo é proporcional à área de um dos picos fotoelétricos do espectro de contagem das radiações gama, num determinado intervalo de tempo, levando-se em conta a eficiência do detector e a intensidade relativa de emissão da radiação gama que originou o pico fotoelétrico.

A partir da aquisição de dados espectrais dos fotopicos com energias características dos radionuclídeos foi feita a identificação de outros radionuclídeos presentes na amostra de ^{123}I . A obtenção dos espectros para amostra foi realizada utilizando-se programa de aquisição e análise de dados, *Maestro for Windows*. O tempo de contagem foi estabelecido de modo a se acumular, cerca de 10000 contagens, para cada fotopico.

5- RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 - Determinação da Meia-Vida do ^{123}I e verificação de impurezas radionuclídicas

Após a realização de 139 contagens (tabela em anexo) na câmara de ionização tipo poço do laboratório de radionuclídeos do IRD e tratamento estatístico dos dados obtidos, pode-se elaborar um gráfico (figura 8) tendo a variação de tempo (em dias) no eixo das abscissas e, o logaritmo da concentração de Atividade (Bq/g), no eixo das ordenadas, visando obter a constante de decaimento do ^{123}I . O gráfico de resíduos para esses dados encontra-se na seqüência.

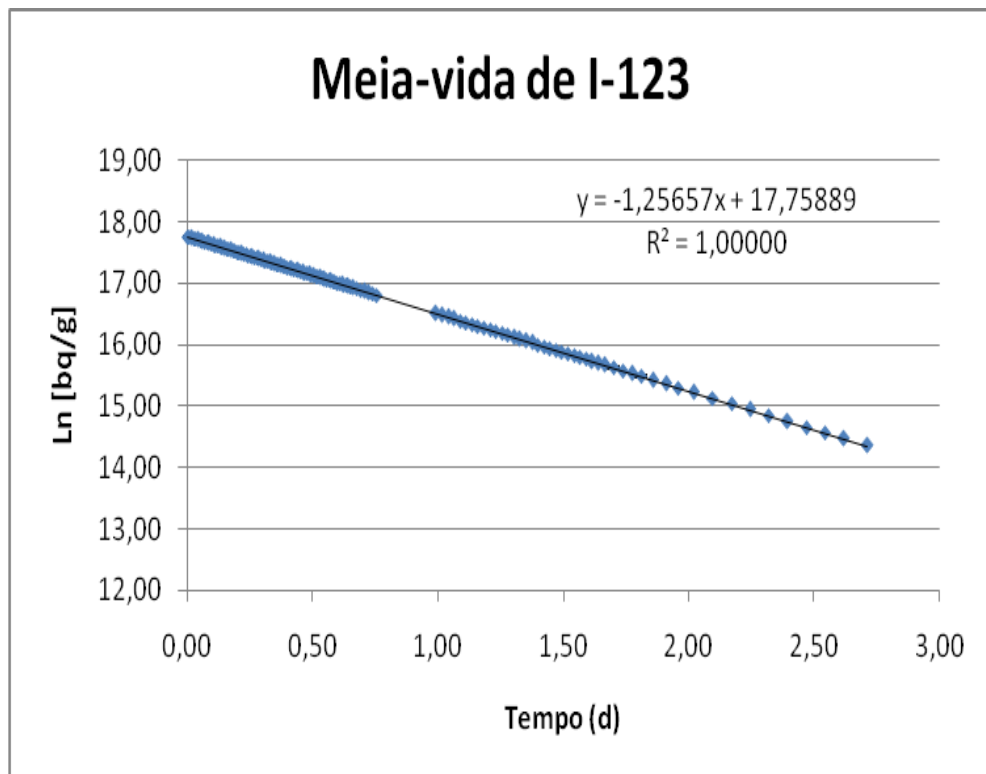


Figura 8. Curva de decaimento obtida para o ^{123}I

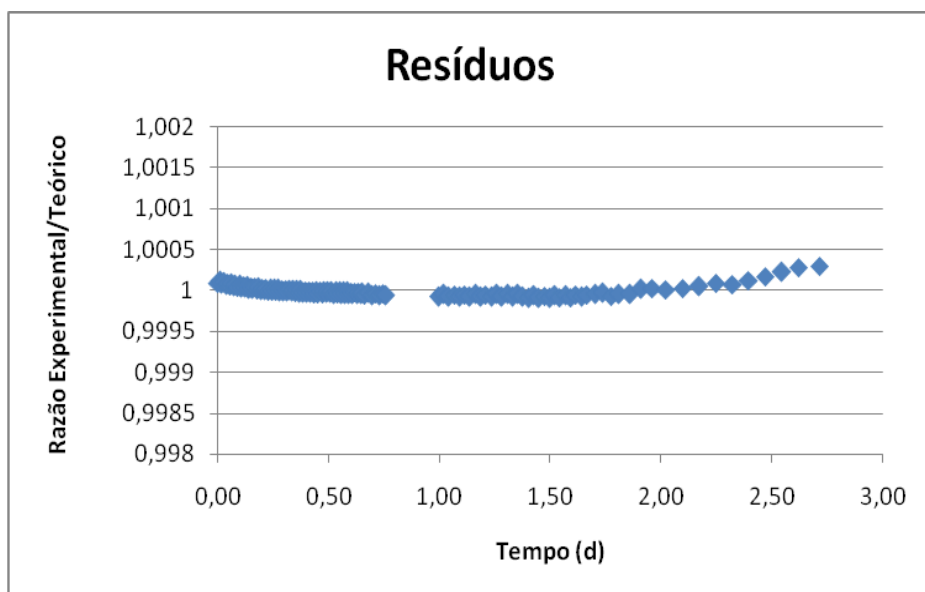


Figura 9. Gráfico de Resíduos

A partir da equação da curva de decaimento foi obtido o valor de λ , para o ^{123}I , igual a $1,25668 \text{ d}^{-1}$. Com este dado aplicado à equação 4 se calculou a meia-vida do radionuclídeo em valor igual a 13,2349 horas. As incertezas que compõem esses dados estão listadas nas tabelas 2 e 3.

Tabela 7. Incertezas estimadas para medidas de meia-vida do padrão, ^{226}Ra .

Incerteza tipo A		Incerteza tipo B	
Componente	%	Componente	%
Medida de Corrente	0,050	Medição do tempo	0,010
Último procedimento de ajuste	0,030	Reposição da ampola	0,010
		Radiação de fundo (BG)	0,010
		Estabilidade do sistema	0,015
		Geometria de medidas por longo período	0,010
		Desequilíbrio do ^{226}Ra	0,010
Soma quadrática	0,058	Soma quadrática	0,0269
Incerteza Combinada	0,064		

Tabela 8. Incertezas estimadas para medida de meia-vida do ^{123}I .

Incerteza tipo A		Incerteza tipo B	
Componente	%	Componente	%
Medida de Corrente	0,023	Medição do tempo	0,010
Último procedimento de ajuste	0,100	Reposição da ampola	0,010
		Radiação de fundo (BG)	0,010
		Estabilidade do sistema	0,015
		Geometria de medidas por longo período	0,010
		Desequilíbrio do ^{226}Ra	0,010
Soma quadrática	0,102	Soma quadrática	0,0269
Incerteza padrão combinada	0,106		

Considerando essas incertezas e um fator de abrangência, k , igual a 1, o resultado obtido para meia-vida do ^{123}I foi $(13,2349 \pm 0,0140)$ horas.

A meia-vida do ^{123}I obtida é ligeiramente maior que as citadas pela literatura (Tabela 4), devido à relação proporcional entre a radiação originada de impurezas e radiação do ^{123}I presentes na amostra.

Tabela 9. Valores de meia-vida para o ^{123}I e erros relativos do valor obtido.

Instituição	LNHB	NIST	ESTE TRABALHO
Meia-vida (h)	13,2234 (37)	13,2235(19)	13,2349(140)
Erro relativo (%)	0,0870	0,0862	-

Neste estudo, durante as contagens, menor Atividade do radionuclídeo de interesse foi detectada por ele possuir meia-vida curta, ou seja, menor concentração de Atividade poderia ser relacionada ao ^{123}I . Assim, seguida à determinação da meia-vida, realizou-se contagens da Atividade da amostra em detector de germânio hiperpuro, visando identificar quais os radionuclídeos teriam expressiva Atividade na amostra e, portanto, são componentes da impureza radionuclídica do radiofármaco Na^{123}I analisado. O espectro obtido com essas contagens é apresentado na figura 9.

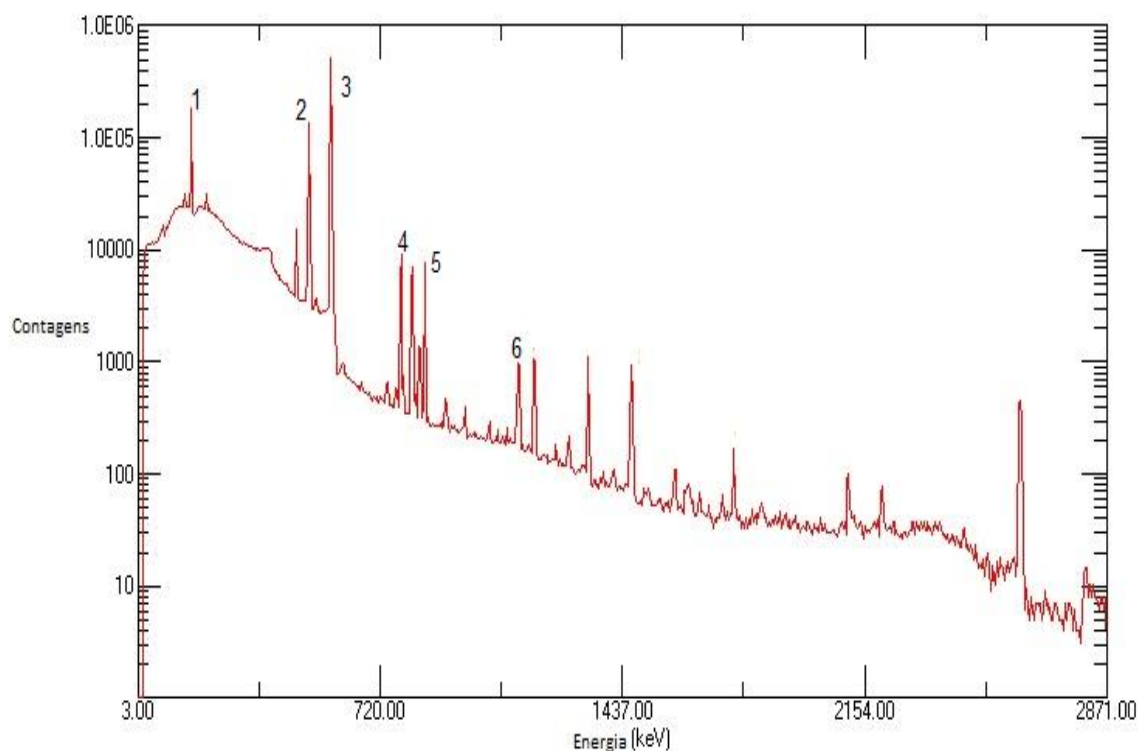


Figura 10. Espectro da contagem do ^{123}I no detector de germânio.

Verificando as energias dos picos expressivos, podem-se identificar os radionuclídeos presentes na amostra. Assim, na figura 9, estão assinalados alguns dos picos utilizados na identificação, numerados de 1 a 6. A relação das energias correspondentes a esses picos, por consulta no sítio LaraWeb, é apresentada na tabela 5. (LARAWEB, 2011)

Tabela 10. Picos de energia e radionuclídeos associados

Pico	Energia (KeV)	Radionuclídeo	Meia-Vida (d)
1	158,9	^{123}I	0,55
2	573,1	^{121}Te	19,2
3	582,5	$^{95\text{m}}\text{Tc}$	61,0
4	777,9	^{96}Tc	4,3
5	835,4	$^{95\text{m}}\text{Tc}$	61,0
6	1127,7	^{96}Tc	4,3

Assim, os radionuclídeos, identificados por seus picos de energia, são $^{95\text{m}}\text{Tc}$, ^{96}Tc e ^{121}Te . Eles compõem a impureza radionuclídica e suas origens podem estar na constituição do porta-alvo utilizado na produção do radiofármaco Na^{123}I , com elementos como o Molibdênio.

Esses elementos têm meia-vida maior que a do ^{123}I e, como a câmara de ionização não distingue em energia a origem da Atividade, suas emissões radioativas influenciam no resultado final das atividades, do λ e, conseqüentemente, no valor da meia-vida do radionuclídeo de interesse.

5 – CONCLUSÕES

Este trabalho permitiu determinar a meia vida do ^{123}I com desvio percentual em cerca de 0,08% dos valores da literatura, e incertezas compatíveis com os métodos clássicos utilizados para o mesmo tipo de determinação. Também proporcionou a identificação de elementos da impureza radionuclídica da amostra proveniente do IEN, como por exemplo: ^{121}Te , $^{95\text{m}}\text{Tc}$ e ^{96}Tc , com valores inferiores a 0,01% em 20/10/2011.

Devida a importância da meia-vida durante a produção de radiofármacos, o presente trabalho propõe que os centros produtores de radiofármacos adotem, rotineiramente, a determinação da meia-vida do radioisótopo, com Ativímetro, associada à verificação da presença de possíveis impurezas radionuclídicas, com um detector de Germânio, como mais uma etapa no controle de qualidade de radiofármacos.

Esses dois procedimentos sugeridos devem ser realizados simultaneamente, de modo a garantir que as amostras do lote não mudem suas características radionuclídicas ao passar do tempo, tendo em vista que a meia-vida do ^{123}I , assim como de outros radiofármacos, é curta.

Neste trabalho, a não simultaneidade das contagens em câmara de ionização e no detector de Germânio hiperpuro, deu margem a um maior número de decaimentos do ^{123}I , enquanto que para outros radionuclídeos esse número foi menor por terem maior meia-vida, de modo que estes sobressaíram no estudo por espectrometria gama.

O controle de qualidade proposto permite maior confiança dos SMNs no radiofármaco que estão recebendo do centro produtor. E ainda, opera como um instrumento eficaz auxiliar na redução da exposição dos pacientes à radiação, uma vez que os centros produtores só liberariam a produção que atendessem às especificações farmacopéicas de pureza radionuclídica, evitando que pacientes recebam radiação por radioisótopos de meia-vida maior.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Farmacopeia Brasileira.**

Volume 1 - 5ª edição, Brasília, ANVISA, 2010.

ATKINS, P. e JONES, L., **Princípios de Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente.** – 2001. 914p. Tradução: Ignez Caracelli, Porto Alegre: Bookman, 2001.

BIPM. **Table of Radionuclides (Vol. 1 – A = 1 to 150).** Disponível em:

http://www.bipm.org/utis/common/pdf/monographieRI/Monographie_BIPM-5_Tables_Vol1.pdf. Acesso em 01 novembro de 2011.

CHOPPIN, G.; LILJENZIN, J.O.; RYDBERG, J.; **Radiochemistry and nuclear chemistry** – 2001. 720p. Third Edition, Butterworth-Heinemann, United Kingdom, 2001.

IEN, **Radiofármacos.** Disponível em: <http://ien.gov.br/produtos/radiof.php>. Acesso em 23 de outubro de 2011.

LARAWEB, **Nucleide Gamma and Alpha Library.** Disponível em:

<http://laraweb.free.fr/>. Acesso em 02 de novembro de 2011.

LOWENTHAL, G. **PRACTICAL APPLICATIONS OF RADIOACTIVITY AND NUCLEAR RADIATIONS: An introductory text for engineers, scientists, teachers and students, University of New South Wales Australian Nuclear Science and Technology Organisation.** 2004. 368 p. Cambridge University Press, Cambridge, 2005.

PEREIRA, W.P., 2011, **Production of gaseous radiotracers CH₃I and I₂ through na¹²³I salt.**

PERES, S.S.; DA ROSA, L.A.R. **Occupational Dose Assessment in the Cyclotron Installations of IEN During Ultra Pure ^{123}I Production from ^{124}Xe** , P-6a-335, Instituto de Engenharia Nuclear (CNEN), Rio de Janeiro, 1999.

REZENDE, E. A. **Padronização Absoluta do ^{177}Lu e do ^{111}In** . 2011. 80 f. Dissertação (Mestrado em Metrologia das Radiações) – Instituto de Radioproteção e Dosimetria (CNEN), Rio de Janeiro, 2011

SAHA, G. B., **Fundamentals of nuclear pharmacy**. 1997. 358p. – 4th ed., New York: Springer, 1997.

SANT'ANNA, C. R. **Desenvolvimento de um sistema radiocromatográfico para avaliação do controle de qualidade radioquímico**. 2005. 68f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Nuclear) – COPPE-UFRJ, 2005.

SILVA, C.J. **Implantação de um Sistema de Anti-Coincidência 4π CL-Nal(Tl) com Cronometragem em Tempo Vivo e Tempo Morto Extendível**. 2008. 100f. Dissertação (Doutorado em Ciências em Engenharia Nuclear) – COPPE-UFRJ, 2008.

TAUHATA, L.; SALATI, Ivan P. A.; DI PRINZIO, Renato; DI PRINZIO, Antonieta. **Radioproteção e Dosimetria – Fundamentos**. 242p. Instituto de Radioproteção e Dosimetria (6^a edição), CNEN – 2006

USP 30 - **The United States Pharmacopeia**. 30th revision Rockville, United States Pharmacopeial Convention, Easton: Mack, 2007.

WIKIPÉDIA, **Decaimento Beta**. Disponível em: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/aa/Beta-inus_Decay.svg. Acesso em 25 de outubro de 2011.

TABELA DAS CONTAGENS DO IODO123 (INICIADAS EM 18/10/2011 AS 15:51 h)

I-123	A (Bq/g)	I-123	A (Bq/g)	I-123	A (Bq/g)	I-123	A (Bq/g)
1	5,168E+07	36	3,521E+07	71	2,403E+07	106	7,638E+06
2	5,112E+07	37	3,483E+07	72	2,376E+07	107	7,412E+06
3	5,056E+07	38	3,445E+07	73	2,351E+07	108	7,192E+06
4	5,000E+07	39	3,408E+07	74	2,325E+07	109	6,979E+06
5	4,945E+07	40	3,371E+07	75	2,300E+07	110	6,772E+06
6	4,892E+07	41	3,334E+07	76	2,275E+07	111	6,572E+06
7	4,838E+07	42	3,298E+07	77	2,250E+07	112	6,377E+06
8	4,785E+07	43	3,262E+07	78	2,204E+07	113	6,090E+06
9	4,733E+07	44	3,227E+07	79	2,160E+07	114	5,816E+06
10	4,681E+07	45	3,191E+07	80	2,116E+07	115	5,555E+06
11	4,630E+07	46	3,157E+07	81	2,073E+07	116	5,305E+06
12	4,580E+07	47	3,123E+07	82	2,031E+07	117	4,987E+06
13	4,530E+07	48	3,089E+07	83	1,989E+07	118	4,687E+06
14	4,480E+07	49	3,055E+07	84	1,481E+07	119	4,406E+06
15	4,432E+07	50	3,022E+07	85	1,437E+07	120	4,076E+06
16	4,383E+07	51	2,989E+07	86	1,394E+07	121	3,711E+06
17	4,335E+07	52	2,957E+07	87	1,353E+07	122	3,378E+06
18	4,288E+07	53	2,924E+07	88	1,313E+07	123	3,076E+06
19	4,241E+07	54	2,893E+07	89	1,274E+07	124	2,801E+06
20	4,195E+07	55	2,861E+07	90	1,236E+07	125	2,551E+06
21	4,149E+07	56	2,830E+07	91	1,200E+07	126	2,323E+06
22	4,104E+07	57	2,800E+07	92	1,164E+07	127	2,116E+06
23	4,059E+07	58	2,769E+07	93	1,129E+07	128	1,927E+06
24	4,015E+07	59	2,739E+07	94	1,096E+07	129	1,713E+06
25	3,972E+07	60	2,709E+07	95	1,063E+07	130	1,009E+06
26	3,928E+07	61	2,680E+07	96	1,032E+07	131	7,392E+05
27	3,885E+07	62	2,651E+07	97	1,001E+07	132	5,425E+05
28	3,843E+07	63	2,622E+07	98	9,716E+06	133	3,995E+05
29	3,801E+07	64	2,593E+07	99	9,428E+06	134	2,954E+05
30	3,760E+07	65	2,565E+07	100	9,149E+06	135	2,197E+05
31	3,719E+07	66	2,538E+07	101	8,878E+06	136	1,644E+05
32	3,679E+07	67	2,510E+07	102	8,615E+06	137	1,243E+05
33	3,639E+07	68	2,483E+07	103	8,359E+06	138	9,508E+04
34	3,599E+07	69	2,456E+07	104	8,112E+06	139	7,367E+04
35	3,560E+07	70	2,429E+07	105	7,872E+06		