

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADEMICO DE ENGENHARIA CIVIL
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO

EDUARDO BETEZEK MONTEIRO

**MAPEAMENTO DOS LOCAIS ONDE SÃO DISTRIBUÍDOS OS
RADIOISÓTOPOS UTILIZADOS NA MEDICINA NUCLEAR NO PARANÁ**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2017

EDUARDO BETEZEK MONTEIRO

**MAPEAMENTO DOS LOCAIS ONDE SÃO DISTRIBUÍDOS OS
RADIOISÓTOPOS UTILIZADOS NA MEDICINA NUCLEAR NO PARANÁ**

Monografia da Pós-Graduação em Engenharia e Segurança do Trabalho do Departamento de Engenharia Civil Da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito à obtenção do título de Engenheiro de Segurança do Trabalho.

Orientadora: Prof.^a Janine Nicolosi Corrêa, Dra.

CURITIBA

2017

EDUARDO BETEZEK MONTEIRO

**MAPEAMENTO DOS LOCAIS ONDE SÃO DISTRIBUÍDOS OS
RADIOISÓTOPOS UTILIZADOS NA MEDICINA NUCLEAR NO PARANÁ**

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista no Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, pela comissão formada pelos professores:

Orientadora:

Profa. Dra. Janine Nicolosi Corrêa
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Banca:

Prof. Dr. Rodrigo Eduardo Catai
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Prof. Dr. Adalberto Matoski
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Prof. M.Eng. Massayuki Mário Hara
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Curitiba
2017

“O termo de aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso”

AGRADECIMENTOS

A Deus, por todas as bênçãos que foram concedidas a mim.

A minha família, Claudia, Letícia, Renato, pelo apoio em todas as horas difíceis que obtive no curso.

A Professora Janine Nicolosi Corrêa, pelo apoio, motivação e orientação na condução deste trabalho.

Aos meus amigos, pelo apoio e motivação com o curso, incluindo os que participaram desta minha jornada neste curso da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Ao Curso de Pós-Graduação de Engenharia de Segurança do Trabalho, do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

A todos que ajudaram na minha formação acadêmica e na composição deste trabalho.

Procure ser uma pessoa de valor, em vez de procurar ser uma pessoa de sucesso. O sucesso é consequência.

ALBERT EINSTEIN

RESUMO

MONTEIRO, Eduardo Betezek. **Mapeamento dos Locais onde são Distribuídos os Radioisótopos utilizados na Medicina Nuclear do Paraná.** 2017. 33 folhas. Monografia do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

A presente monografia, no âmbito de contribuir com a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), no quesito logística da distribuição de dados referentes aos radioisótopos utilizados na Medicina Nuclear, se propõe produzir um *software*, que contemple um mapeamento inteligente dos locais onde são distribuídos esses radionuclídeos, para o curso de Engenharia de Segurança do trabalho da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Nele, foi desenvolvido um mecanismo que contabiliza, classifica e mapeia a distribuição desses elementos a partir de um banco de dados construído pelas informações disponíveis no *site* da CNEN referente as instalações autorizadas dessa área medicinal. Além do desenvolvimento desse programa, o trabalho contempla uma comparação entre a logística de distribuição dessas informações disponíveis na página dessa instituição com a maneira com que este novo sistema a faz. O novo mecanismo tem como finalidade auxiliar na fiscalização, na segurança individual e coletiva, na logística de distribuição de informações e no atendimento das normas cabíveis na área da Medicina Nuclear. Assim, conclui-se que o trabalho poderá trazer grandes contribuições para a sociedade brasileira no quesito radiação e saúde da população implementando o cadastro da CNEN.

Palavras-Chave: Medicina Nuclear. Radioisótopos. Mapeamento. CNEN. Segurança.

ABSTRACT

MONTEIRO, Eduardo Betezek. **Mapping of the Locations where the Radioisotopes used in the Nuclear Medicine of Paraná are Distributed.** 2017. 33 sheets. Monograph of the Post-Graduation Course in Work Safety Engineering - Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2017.

This monograph, in the context of contributing to the Brazilians National Nuclear Energy Commission (CNEN), in the logistical aspect of data distribution concerning the radioisotopes used in Nuclear Medicine, intends to produce a software, that contemplates an intelligent mapping of the locations where the radioisotopes of the Paraná Nuclear Medicine are distributed in, for the Safety Engineering course of the Federal Technological University of Paraná. In it, a mechanism was developed that counts, classifies and maps the distribution of radionuclides from a database constructed by the information available on the website of this institution which is regarding to the authorized facilities of this medicinal area. In addition to the development of this program, the work contemplates a comparison between the logistics of distributing these informations from CNEN's website and the way this new system does it. The new mechanism aims at assisting in surveillance, individual and collective security, logistics of the informations distribution and compliance with applicable standards rules in the area of Nuclear Medicine. Thus, it is concluded that the work can bring great contributions to the Brazilian society in the area of radiation and health of the population by implementing the CNEN register.

Keywords: Nuclear Medicine. Radioisotopes. Mapping. CNEN. Safety.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Espectro de Frequências	18
Figura 2 - Diagrama simplificado de um tubo de raios X.....	19
Figura 3 – Raio X de uma fratura de clavícula	20
Figura 4 - Radio dermite.....	21
Figura 5 – Máquina de Rádio terapia para tratamento de câncer	23
Figura 6 - Radiação Beta sendo emitida pelo Núcleo Atômico.....	24
Figura 7 - Radiação Alfa sendo emitida pelo Núcleo Atômico.....	26
Figura 8 – Parte do cadastro dos Radioisótopos utilizados na Medicina Nuclear	32
Figura 9 - Os Radioisótopos distribuídos conforme as instituições autorizadas.....	33
Figura 10 – Metodologia.....	34
Figura 11 – Parte do Banco de Dados dos radioisótopos em Excel.....	35
Figura 12 - Layout do programa desenvolvido	36
Figura 13 - Menu principal do software	37
Figura 14 - Janela que altera a planilha em Excel lida pelo programa	37
Figura 15 - Aba que contém os elementos classificados por município	38
Figura 16 - Contabilização dos elementos distribuídos na Medicina Nuclear do Paraná.....	39
Figura 17 - Mapeamento Inteligente zoom 7	40
Figura 18 - Mapeamento Inteligente zoom 13 – Curitiba.....	40
Figura 19 - Mapeamento Inteligente zoom 18	41
Figura 20 - Mapeamento Inteligente opção de satélite.....	41
Figura 21 - Tabela e Gráficos de Arapongas - Instalações Autorizadas - CNEN	44
Figura 22 - Mapa de Arapongas - Instalações Autorizadas - CNEN	45
Figura 23 -Mapa de Curitiba - Instalações Autorizadas - CNEN	46
Figura 24 - Tabela e Gráficos de Curitiba - Instalações Autorizadas - CNEN	46
Figura 25 - Tabela e Gráficos de Cascavel - Instalações Autorizadas - CNEN.....	47
Figura 26 - Mapa de Cascavel - Instalações Autorizadas - CNEN	48
Figura 27 - Mapa de Maringá - Instalações Autorizadas – CNEN.....	49
Figura 28 - Tabela e Gráficos de Maringá - Instalações Autorizadas - CNEN.....	49

Figura 29 - Mapa de Campina Grande do Sul - Instalações Autorizadas – CNEN.....	50
Figura 30 - Tabela e Gráficos de Campina Grande do Sul - Instalações Autorizadas - CNEN.....	51
Figura 31 - Mapa de Londrina - Instalações Autorizadas - CNEN.....	52
Figura 32 - Tabela e Gráficos de Londrina - Instalações Autorizadas - CNEN.....	52
Figura 33 - Mapa de Ponta Grossa - Instalações Autorizadas – CNEN	53
Figura 34 - Tabela e Gráficos de Ponta Grossa - Instalações Autorizadas - CNEN.....	54
Figura 35 - Mapa de Foz do Iguaçu - Instalações Autorizadas – CNEN	55
Figura 36 - Tabela e Gráficos de Foz do Iguaçu - Instalações Autorizadas - CNEN.....	55
Figura 37 - Mapa de Pato Branco - Instalações Autorizadas – CNEN	56
Figura 38 - Tabela e Gráficos de Pato Branco - Instalações Autorizadas – CNEN	57
Figura 39 - Mapa de Umuarama - Instalações Autorizadas – CNEN	58
Figura 40 - Tabela e Gráficos de Umuarama - Instalações Autorizadas - CNEN.....	58

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Quantidade de radioisótopos por cidade da Medicina Nuclear do Paraná janeiro de 2017.....	42
Gráfico 2 - Quantidade de Radioisótopos utilizados na Medicina Nuclear do Paraná Janeiro 2017.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Radioisótopos utilizados na Medicina Nuclear - Radioterapia.....	27
Tabela 2 - Alguns dos radiofármacos utilizados	28
Tabela 3 - Quantidade de radioisótopos da Medicina Nuclear do Paraná por cidades ..	42
Tabela 4 - Radioisótopos utilizados na Medicina Nuclear no Paraná.....	43
Tabela 5 - Tabela comparativa Software desenvolvido e o cadastro do site da CNEN..	59

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	15
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	15
1.3 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO.....	16
1.4 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA	16
1.5 OBJETIVOS	17
1.5.1 Objetivo geral	17
1.5.2 Objetivos específicos.....	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 RADIAÇÕES IONIZANTES.....	18
2.1.1 Raios X.....	19
2.1.2 Decaimento Gama (γ).....	22
2.1.3 Decaimento Beta (β)	24
2.1.4 Decaimento Alfa (α).....	25
2.2 RADIOISÓTOPOS E RADIOFÁRMACOS	26
2.3 LEGISLAÇÃO.....	29
2.3.1 NR 32	29
2.3.2 NR-15 e a CNEN-NN-3.01	30
2.3.3 CNEN-NN-3.05.....	31
2.4 CADASTRO DO SITE DA CNEN REFERENTE AOS RADIOISÓTOPOS	31
3 METODOLOGIA	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
4.1 O PROGRAMA DESENVOLVIDO	36
4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DO PROGRAMA	42
4.2.1 Instalações Autorizadas de Arapongas	44
4.2.2 Instalações Autorizadas de Curitiba	45
4.2.3 Instalações Autorizadas de Cascavel.....	47
4.2.4 Instalações Autorizadas de Maringá	48
4.2.5 Instalações Autorizadas de Campina Grande Do Sul	50
4.2.6 Instalações Autorizadas de Londrina	51

4.2.7 Instalações Autorizadas de Ponta Grossa.....	53
4.2.8 Instalações Autorizadas de Foz Do Iguaçu	54
4.2.9 Instalações Autorizadas de Pato Branco.....	56
4.2.10 Instalações Autorizadas de Umuarama.....	57
4.3 CONTRIBUIÇÕES E COMPARAÇÕES DO SISTEMA DESENVOLVIDO.....	59
4.4 CONSIDERAÇÕES GERAIS	60
4.5 CONTRIBUIÇÕES DO ESTUDO	60
5 CONCLUSÃO	61
REFERÊNCIAS.....	63

1 INTRODUÇÃO

Segundo o *site Nobel Prize* (2017) a descoberta dos raios X em 1895 foi concedida à Wilhelm Conrad Röntgen, que era professor de Física da Universidade de Würzburg localizada na Alemanha. Ao analisar o experimento que se denominou raios X, o cientista observou que era possível ver o interior do corpo sem cortá-lo o que implicou na escrita de um artigo chamado de *On a new kind of rays*, publicado no *Proceedings of the Physical-Medical Society* de Würzburg. Nesse artigo, Röntgen também acerta ao citar que a essa nova técnica seria a ferramenta futura no que se refere à diagnóstico médico (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

Ainda no final do século XIX, como eram desconhecidos os reais riscos referentes à exposição dos seres vivos aos raios X, os mesmos passaram a ser utilizados para fins fotográficos, onde a moda da época era de ter um retrato do corpo radiografado, além disso, as mulheres exibiam raios X de suas mãos com alianças para mostrar que eram definitivamente comprometidas com os respectivos maridos (ALESSANDRA, 2010).

Em 29 de março de 1896, o jornal *The St.Lous Globe-Democrat Journal* já havia publicado uma reportagem referente aos riscos de exposição aos raios X para os olhos, porém a elevada curiosidade das pessoas ignoravam esses alertas. Os primeiros equipamentos de raios X emitiam enormes taxas de radiação e sem controle, o que gerou úlceras nos vários pesquisadores envolvidos devido as altas doses de radiação recebidas. No Brasil, os primeiros raios X foram feitos em 1896 pelo catedrático Henrique Morize (1860-1930), os quais hoje estão no acervo do Museu da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Além disso, o país naquela época, contribuiu mundialmente nos estudos dos ossos, de problemas de cálculos (aglomeração de minerais de sais de cálcio, fósforo, amônio, ou matérias orgânicas que se formam em alguns órgãos internos) e na localização de corpos estranhos introduzidos ao corpo. Álvaro Alvim (1863-1928), brasileiro e o primeiro a radiografar um caso de xipófagas (bebês nascidos unidos pelo corpo), morreu de radiodermite (reação da pele à exposição à radiação), que implicou na amputação de suas mãos e antebraços naquela época (LIMA, AFONSO e PIMENTEL, 2008).

Os efeitos da radiação derivada dos raios X nos tecidos biológicos estão relacionados a ionização propriamente conforme comprovado por Hermann Joseph Müller (que descobriu, por pesquisas, que os raios X provocam mutação genética). Ainda as radiações ionizantes advindas de produtos radioativos têm um uso muito extenso que se estende até a Medicina Nuclear.

O incentivo ao avanço na área nuclear no Brasil iniciou-se em 1956 com o plano de metas (50 anos em cinco), do recém-eleito Presidente da República Juscelino Kubitschek, o qual contemplava inúmeros avanços tecnológicos inclusive na área nuclear como a fabricação de combustíveis nucleares (urânio natural e enriquecido) e a formação de pessoal especializado. Esse projeto foi baseado em diversos estudos desde a década de 40, inclusive, o último, foi feito por uma parceria Brasil-Estados Unidos (1951-1953) (ANDRADE, 2006).

O plano de metas de Juscelino aqueceu o cenário político de sua época a ponto de ser instaurada, pela Câmara dos Deputados, uma CPI (Comissão Parlamentar de Inquérito) para investigar sobre o problema da energia atômica no Brasil no que diz respeito aos acordos secretos entre Brasil e Estados Unidos e a mesma provocou a elaboração de um Projeto de Lei (n. 944) do deputado Dagoberto Salles (PSD-SP) que propunha a criação e a regulamentação da Comissão Nacional de Energia Atômica no país e nessa esfera política, Kubitschek, propôs em 30 de agosto de 1956 as Diretrizes para a Política de Energia Atômica, a qual contemplava a proposta da criação da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) que foi realmente criada em 10 de outubro do mesmo ano e é até hoje responsável pelas medidas de segurança e proteção quando o assunto é radiação (ANDRADE, 2006).

Hoje, observa-se que após a criação da Comissão Nacional de Energia Nuclear algumas Normas Regulamentadoras (NRs) que tratam de radiação transferem grande parte da responsabilidade à CNEN no quesito radioproteção como o anexo V da NR-15 (BRASIL, 2014) (Atividades e Operações Insalubres) e a NR-32 (BRASIL, 2011) (Segurança e Saúde no Trabalho em Estabelecimentos de Saúde).

Na área da Medicina Nuclear, os radioisótopos são utilizados em inúmeras áreas como os raios X, na Radioterapia (tratamento para câncer), nos exames de Mamografia (detecção de câncer de mama), Cintilografia (verificar órgãos internos com a presença

de radiofármacos), a Tomografia por Emissão de Póstrons (utilizada para elaborar imagens dos órgãos internos) entre outros que serão comentados neste trabalho.

1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

A NR-32 (BRASIL, 2011), Segurança e saúde no trabalho em serviços de saúde, aborda sobre os procedimentos de segurança frente a utilização de elementos radioativos durante a jornada de trabalho das pessoas envolvidas nesta área, como medidas de proteção coletivas e individuais. No quesito tempo de exposição aos elementos radioativos a NR-15 (BRASIL, 2014), ANEXO V, Radiações Ionizantes, compete toda responsabilidade à norma da CNEN-NN 3.01 (COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, 2014) Diretrizes Básicas de Radioproteção. Para a Medicina Nuclear a norma CNEN-NN 3.05 (COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, 2013), Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Medicina Nuclear, também é referência.

Tendo em vista a grande variedade de elementos radioativos utilizados na Medicina Nuclear e as exigências das normas regulamentadoras, há uma dificuldade da CNEN na logística de divulgação dos dados referentes aos elementos radioativos, no que diz respeito a riqueza dos detalhes e a classificação por região dos mesmos. Assim, a população fica refém às notícias não oficiais da mídia o que ocasiona grandes desencontros de informações.

Desta forma, a proposta de elaborar um mapeamento dos elementos radioativos utilizados na Medicina Nuclear acaba auxiliando no quesito divulgação das informações referentes aos radioisótopos utilizados para fins medicinais.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Este trabalho será delimitado a todos os Radioisótopos utilizados pela Medicina Nuclear no estado do Paraná em 2017. No mesmo, será considerado e utilizado apenas

as informações referentes aos elementos radioativos disponíveis no banco de dados da página da CNEN.

Desta forma, fica excluído os radioisótopos utilizados para outros fins, que não seja a Medicina Nuclear e também não será levado em consideração os elementos radioativos que não estão cadastrados no banco de dados da página da CNEN.

1.3 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

Tendo em vista a complexidade da organização dos dados divulgados pela CNEN, referentes aos radioisótopos utilizados na Medicina Nuclear, há a necessidade da elaboração de um mapeamento que relacione e classifique as cidades e locais que fazem o uso destes radionuclídeos. O mesmo, auxiliaria em inúmeras situações, no que diz respeito ao enriquecimento das informações divulgadas para a população e a logística de proteções individuais e coletivas em uma determina região ou local de trabalho. Ainda, ajudaria na questão de informar as autoridades competentes em situações de emergências no que diz respeito a facilidade de identificar possíveis incidentes envolvendo rejeitos radioativos hospitalares e contribuiria também na questão dos acidentes radiológicos permitindo uma maior agilidade em identificar os radioisótopos envolvidos.

1.4 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA

Esta monografia está dividida em cinco capítulos conforme a seguinte descrição.

No primeiro, será abordado a introdução ao assunto do trabalho, contemplando a formulação do problema, as restrições e delimitações do tema, a justificativa do trabalho e os objetivos do mesmo.

O segundo será destinado ao desenvolvimento do mesmo, que contempla as informações teóricas básicas exigidas para o bom entendimento desta monografia.

O terceiro, será referente a metodologia utilizada na monografia, sendo esta as etapas que foram adotadas para a elaboração deste trabalho.

O quarto, será destinado aos resultados obtidos no trabalho, como a demonstração do mapeamento e do *software* proposto na monografia e alguns estudos estatísticos utilizando as ferramentas elaboradas no mesmo.

O quinto, refere-se as conclusões obtidas na monografia, alguns estudos futuros, contribuições para o autor, para a sociedade e a conclusão propriamente dita.

1.5 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho foram subdivididos conforme os subtítulos desde índice.

1.5.1 Objetivo geral

Elaborar um *software* que contemple um mapeamento inteligente dos locais em que são distribuídos os elementos radioativos da Medicina Nuclear no estado do Paraná visando auxiliar a fiscalização e o atendimento das normas cabíveis pelas instituições de maneira regional.

1.5.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta monografia foram os seguintes:

- a) classificar os radioisótopos utilizados pela Medicina Nuclear no Paraná contendo algumas das medidas cautelares recomendadas pelas CNEN e pelas NRs;
- b) contabilizar a quantidade utilizada de cada radioisótopo;
- c) elaborar um mapa inteligente com os elementos radioativos utilizados por região;
- d) comparar a logística e a distribuição das informações presentes no cadastro do *site* da CNEN referentes aos radioisótopos utilizados na Medicina Nuclear do Paraná com o mapeamento e *software* elaborado neste trabalho.

Para os seguintes objetivos específicos mencionados serão considerados apenas os radioisótopos referentes a Medicina Nuclear do estado do Paraná.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Dada a importância de tomar as devidas cautelas com os elementos radioativos, para essa monografia faz-se necessária uma introdução aos temas como os raios X, as partículas α (alpha), β (Beta), a radiação γ (Gama) e algumas normas de segurança.

2.1 RADIAÇÕES IONIZANTES

A radiação eletromagnética ou energia eletromagnética é constituída por um campo magnético e elétrico oscilantes e a mesma recebe denominações diferentes conforme a sua respectiva frequência, sendo algumas dessas ilustradas pela Figura 1 (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

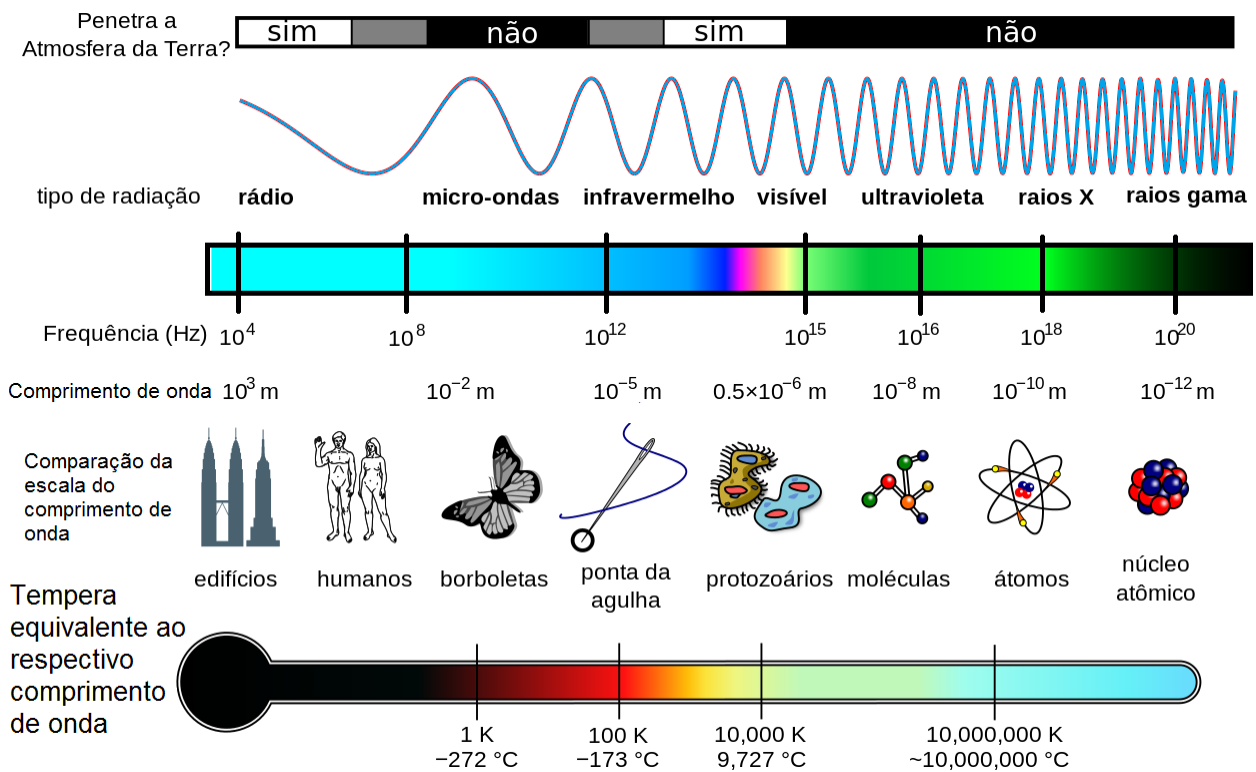


Figura 1 - Espectro de Frequências
 Fonte: Adaptado de (KHEMIS, 2015)

A radiação pode ser definida como energia em trânsito, tanto no ar, no vácuo e em outros meios materiais sendo esta gerada por uma fonte radioativa. Quando são classificadas como ionizantes (que são capazes de retirar elétrons de uma molécula ou átomo) são divididas em raios X, partículas α , β e γ (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

As ondas eletromagnéticas ionizantes, oriundas dos raios X e gama, apresentam como características principais frequências acima de 3 peta hertz (10^{15} Hz), comprimento de onda menor que 100nm (nano metros 10^{-9} m) e a energia do fóton é superior a 12 eV (elétron volt) (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

2.1.1 Raios X

Os raios X são definidos como ondas eletromagnéticas criadas por uma colisão entre elétrons e um alvo sólido, como uma placa de cobre, tungstênio ou molibdênio. A energia cinética necessária para que ocorra esse fenômeno é da ordem de quiloelétrons-volts conforme a Figura 2, que ilustra o funcionamento de um tubo de raios X (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009).

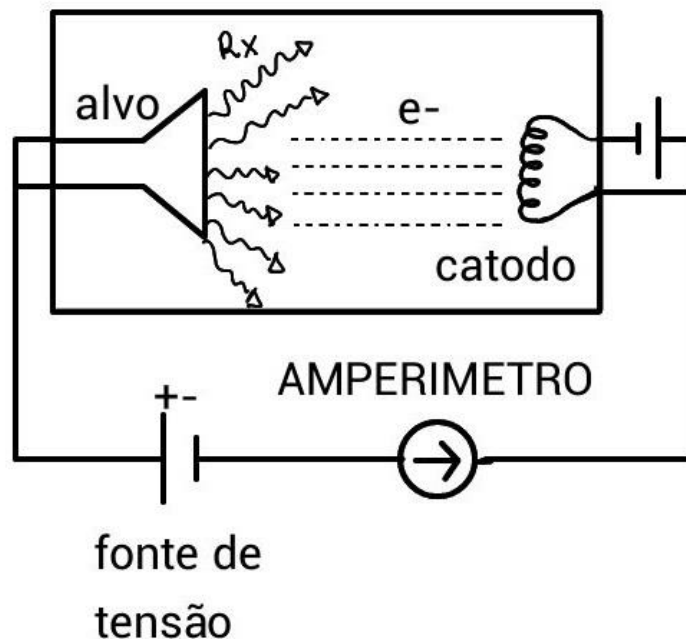


Figura 2 - Diagrama simplificado de um tubo de raios X
Fonte: Adaptado de (OKUNO e YOSHIMURA, 2010)

Nas inúmeras colisões dos elétrons com o anteparo, há uma perda de energia cinética dos mesmos, implicando em um aquecimento do anteparo que por esse motivo precisa ser um material com alto ponto de fusão (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

Sabendo que a quantidade elementar de luz é conhecida como fóton, a radiografia dos corpos baseia-se na absorção dos fótons de raios X que, dependendo do tecido, varia no quesito intensidade e assim gera o contraste que vemos nas imagens dos exames de raios X. O cálcio, que apresenta alto número atômico ($z = 20$), absorvem mais desses raios se comparados com outros de menor massa, explicando o porquê os ossos (que contem mais cálcio) apresentarem um contraste maior nos exames realizados se comparado aos tecidos musculares (com bastante água em sua composição) conforme a Figura 3. Vale ressaltar também que tumores, gordura, músculos e o sangue absorvem os raios X de maneira semelhante, assim, faz-se o uso de elementos (contraste) para obter melhores imagens e destacar o que deseja ser examinado (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).



Figura 3 – Raio X de uma fratura de clavícula
Fonte: Hospital Vita (2016)

Os efeitos da exposição excessiva aos raios X partem dos seguintes estágios:

- a) irritação da pele (vermelhidão);
- b) úlcera;
- c) empolamento (bolhas de queimadura);

- d) lesões cancerígenas;
- e) leucemia;

No Brasil, na década de 90 em Camaçari (Bahia), houve um acidente no qual três trabalhadores receberam uma dose elevada de raios X de um difratômetro defeituoso (equipamento para realizar medições de diâmetro na escala microscópica) e foram diagnosticados como radiodermite aguda (reação da pele à radiação) conforme a Figura 4 (VALVERDE, *et al.*, 2000).

Nesse caso sabe-se que, o equipamento em questão estava desativado por cerca de um ano e sem as devidas manutenções, porém, com a demanda industrial da época, houve a necessidade de reativá-lo, o que implicou em trabalhos de manutenção eletro-eletrônica que foram o pressuposto das falhas dos sistemas de proteção do dispositivo resultando no acidente (VALVERDE, *et al.*, 2000).

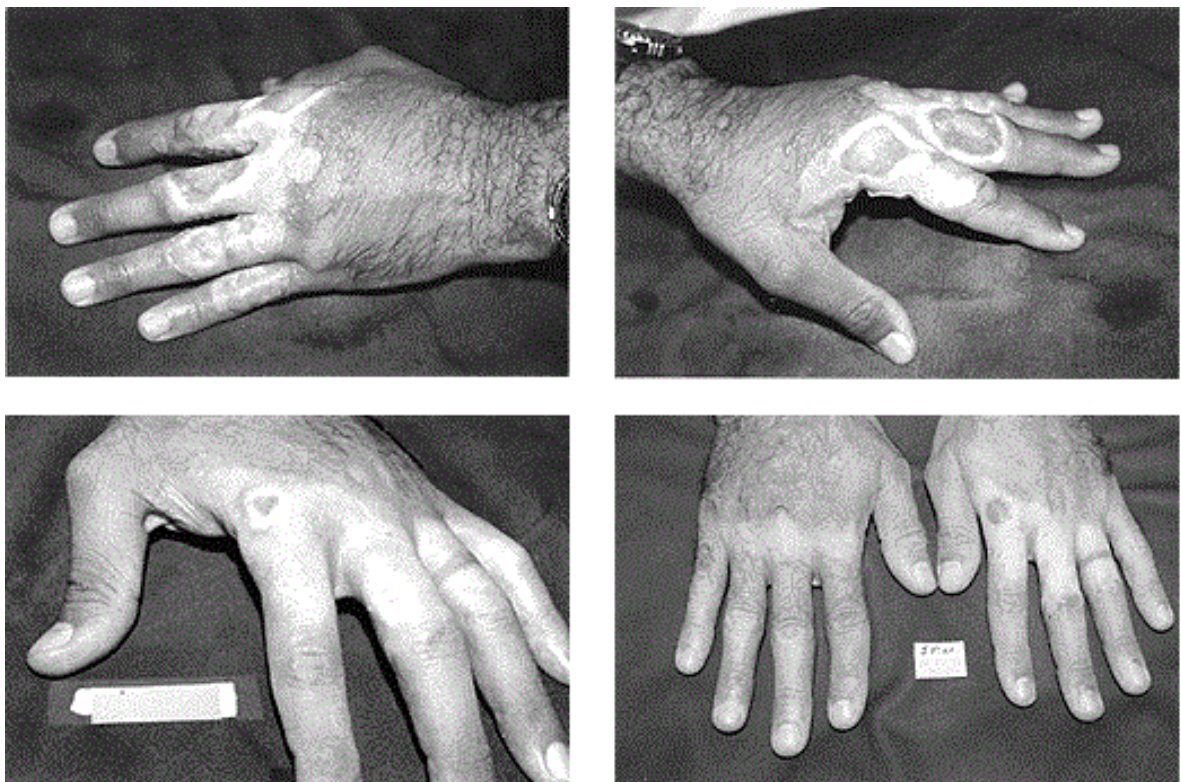


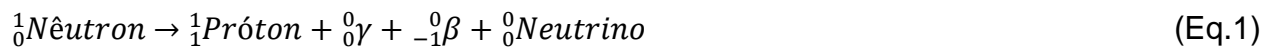
Figura 4 - Radio dermite
Fonte: VALVERDE, *et al.*, 2000

2.1.2 Decaimento Gama (γ)

Decaimento ou radiação gama ocorre quando um fóton é emitido de um núcleo de um átomo (unidade básica de matéria) no estado excitado e é considerado também como uma onda eletromagnética-magnética conforme exemplificado pela Figura 1, em que a mesma não é visível e apresenta uma frequência acima dos raios X, sendo está na casa dos 10^{20} Hz (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

Sabe-se que a ciência classifica os átomos por número atômico (Z) definida como a classificação dos elementos pelo número de prótons (carga positiva do átomo) e é escrita como ${}^A_Z X$, onde X é um elemento qualquer e A é a massa do elemento, definida como a soma dos prótons e nêutrons (parte neutra – carga zero do átomo).

Segundo as Leis da Radioatividade, a hipótese de Enrico Fermi (cientista que recebeu o prêmio Nobel em 1938 referente a radiação) explica mais detalhadamente como são gerados os raios gama em uma reação nuclear. Nela, essas ondas eletromagnéticas são geradas quando um nêutron instável (excitado) se desintegra para buscar a estabilidade atômica e transforma-se em um próton, tendo como subproduto um neutrino (partícula subatômica de carga elétrica igual a zero e massa desprezível) e uma partícula radioativa beta conforme a equação 1 (CESAR, 2010).



O núcleo atômico em um nível excitado de energia é conhecido como metaestável (sigla m) como ocorre com um isótopo (mesmo número de prótons) ${}^{99m}_{43}\text{Tc}$ do elemento Tecnécio. Em busca do estado fundamental (estado estável) este elemento obedece a hipótese de Fermi e emite radiação gama no momento em que há uma transição para um nível mais baixo de energia, conhecido como estado não excitado, resultando na equação 2 (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).



Observando um dos decaimentos do $^{137}_{55}\text{Cs}$ (isótopo do Césio), elemento utilizado em máquinas de raios X, tem-se como produto a radiação beta e o elemento Bário no estado metaestável ($^{137m}_{56}\text{Ba}$), conforme a equação 3, na qual a massa total do elemento produto é de 82 nêutrons adicionados à 55 prótons (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).



Visando buscar a estabilidade, o átomo metaestável do Bário irá produzir a radiação gama conforme a equação 4, que se comparado com a equação 3, um nêutron transformou-se em um próton conforme a hipótese de Fermi. No caso em questão, esse decaimento de energia ocorre em 2,55 minutos (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).



A radiação gama tem grandes aplicações na área medicinal, conforme ilustrado pela Figura 5, quando dosada corretamente, uma vez que a mesma apresenta um alto poder de penetração, passando com facilidade pelo corpo humano. A mesma apresenta massa desprezível, atinge a velocidade da Luz e possibilita alcançar grandes quantidades de energia na sua emissão o que a torna perigosa quando não controlada. Por essas características esse tipo de radiação, atravessam facilmente os obstáculos e, para detê-la, somente uma parede de chumbo ou um grande bloco de concreto (CESAR, 2010).



Figura 5 – Máquina de Rádio terapia para tratamento de câncer
Fonte: ONG MULHER CONSCIENTE, 2016

A radiação gama, na Medicina Nuclear, é utilizada para tratamento de câncer, pois a mesma consegue atingir e eliminar as células cancerígenas do interior do corpo do paciente doente como mostra a Figura 5. Além disso, esses raios, ainda são utilizados para esterilização de equipamentos médicos, acervos históricos e alguns tipos de alimentos.

2.1.3 Decaimento Beta (β)

A emissão das partículas Beta é originada quando um núcleo (instável) de um átomo sofre uma transformação em outro diferente emitindo um elétron ou um pósitron (partícula de carga positiva e massa semelhante à do elétron), sendo classificado com decaimento Beta negativo (β^-) e positivo (β^+) respectivamente conforme a Figura 6 (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009).

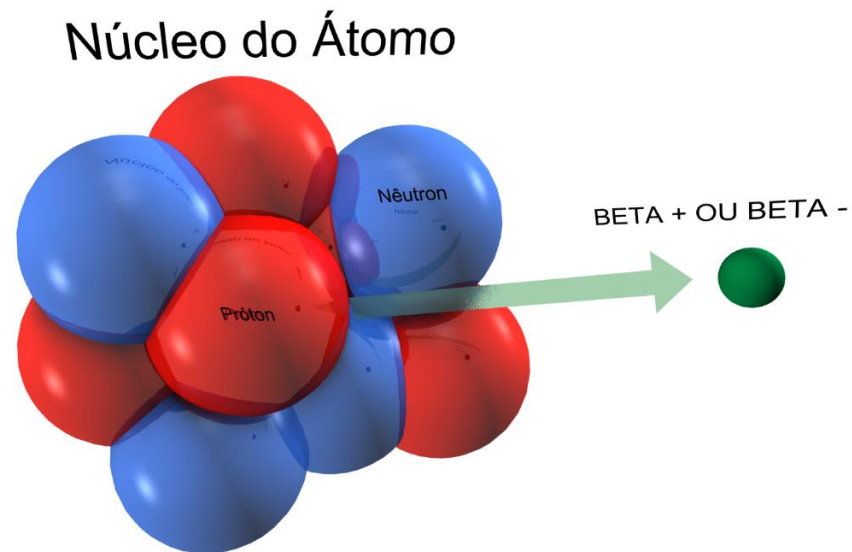


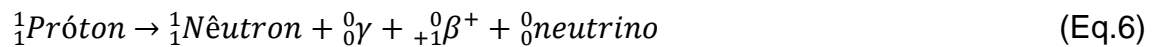
Figura 6 - Radiação Beta sendo emitida pelo Núcleo Atômico
Fonte: Adaptado de (OKUNO e YOSHIMURA, 2010)

No decaimento Beta negativo, o núcleo do átomo contém uma falta de prótons em relação ao número de nêutrons, assim, conforme a hipótese de Fermi, os nêutrons em excesso se transformam em prótons emitindo uma partícula β^- conforme a equação

1 e exemplificado abaixo em que o Fósforo radioativo (P) se transforma em Enxofre (S) (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).



No decaimento Beta positivo, o núcleo do átomo contém um excesso de prótons em relação ao número de nêutrons e para buscar a estabilidade, o mesmo, sofre uma transformação a qual os prótons em excesso emitem pósitrons e transformam-se em nêutrons conforme a equação 6 (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).



A radiação oriunda das partículas Beta atinge 95% da velocidade da Luz e possui um poder de penetração um pouco menor que os raios X e Gama. Assim, a mesma, quando em contato com o corpo humano em intensidades elevadas, atravessa a camada da pele podendo gerar queimaduras localizadas, mas sem atingir órgãos internos. As mesmas são as responsáveis por possibilitar o cálculo da datação por carbono (datação arqueológica) (CESAR, 2010).

2.1.4 Decaimento Alfa (α)

Decaimento Alfa é caracterizado quando um elemento radioativo sofre uma transformação na qual o resultado é uma partícula de menor massa (reduzido em 4 unidades de massa atômica) somada a emissão de uma partícula alfa ($\frac{4}{2}\alpha$) que é semelhante à um núcleo de Hélio ($\frac{4}{2}\text{He}$) conforme a Figura 7 (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009).

Os núcleos radioativos, de maneira espontânea, principalmente os mais pesados (número atômico $Z \geq 83$), emitem partículas alfa como, por exemplo, o isótopo do urânio ${}_{92}^{238}\text{U}$ que com este tipo de decaimento origina um átomo de tório (${}_{90}^{234}\text{Th}$) e uma partícula de hélio conforme a equação 7 (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).



As partículas alfas, por serem pesadas e maiores, são mais lentas se comparados aos outros tipos de decaimento, apenas 20mil quilômetros por segundo. Por esse motivo, as mesmas são facilmente blindadas e quando em contato com o corpo humano, por uma fonte externa, são barradas pela pele, mas podem causar queimaduras na mesma. Porém, os efeitos da radiação α podem ser agravados quando a fonte emissora situa-se dentro do organismo de um indivíduo. Esse caso pode acontecer quando se inala um gás ionizado, como o radônio (gás nobre, radioativo e pesado) causando a ionização dos átomos dos brônquios e alvéolos pulmonares (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

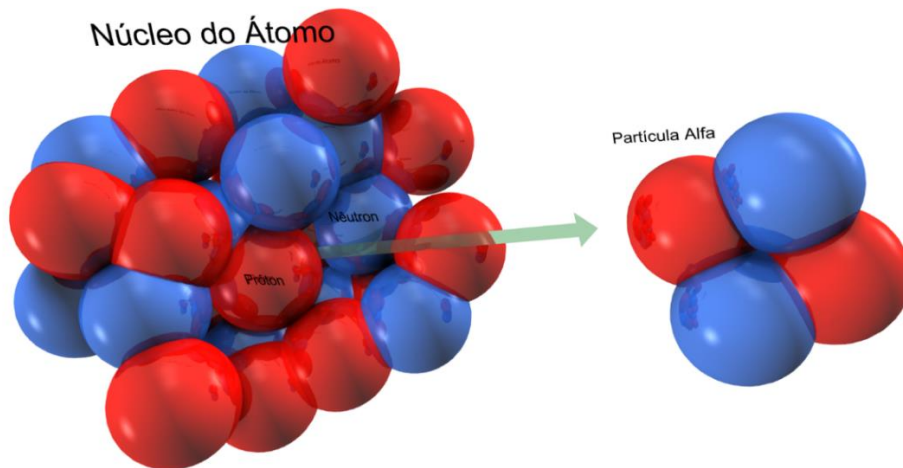


Figura 7 - Radiação Alfa sendo emitida pelo Núcleo Atômico
 Fonte: Adaptado de (OKUNO e YOSHIMURA, 2010)

2.2 RADIOISÓTOPOS E RADIOFÁRMACOS

Os radioisótopos são utilizados na Medicina Nuclear em tratamento de câncer por meio da radioterapia, a qual, remove do corpo humano parte do tecido cancerígeno por indução de morte celular causada pela radiação emitida na área problemática (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

A Radioterapia se divide em dois tipos específicos de funcionamento. A primeira, conhecida como Teleterapia, quando uma fonte radioativa, selada, é colocada longe do corpo do paciente e a segunda, a Braquiterapia, que é quando a fonte de radiação é colocada muito perto do corpo ou até mesmo dentro do paciente (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

Na Medicina Nuclear, é definido como tempo de meia-vida ($T_{1/2}$) o tempo que um radioisótopo leva para reduzir a intensidade da emissão radioativa a metade. Assim são utilizados os radionuclídeos da Tabela 1 para o tratamento por radioterapia.

Tabela 1 - Radioisótopos utilizados na Medicina Nuclear - Radioterapia

Radionuclídeo	Radiação	$T_{1/2}$	Uso
$^{60}_{27}Co$ (Cobalto) *	γ	5,26 anos	Tele e Braquiterapia de baixa taxa de dose
$^{137}_{55}Cs$ (Césio) *	γ	30 anos	Braquiterapia de baixa taxa de dose
$^{198}_{79}Au$ (Ouro)	γ e β	2,7 dias	Implante permanente
$^{192}_{77}Ir$ (Iridio) *	γ	73,8 dias	Braquiterapia de alta taxa de dose
$^{125}_{53}I$ (Iodo)	γ	60 dias	Implante permanente
$^{103}_{46}Pd$ (Paládio)	γ	17 dias	Implante permanente
$^{90}_{38}Sr$ (Estrôncio)	β	28,2 anos	Braquiterapia em pele e olhos
$^{90}_{39}Y$ (Ítrio)	β	28,2 anos	Braquiterapia em pele e olhos
$^{106}_{45}Ru$ (Rutênio)	γ e β	373 dias	Braquiterapia em pele e olhos
$^{106}_{45}Rh$ (Ródio)	γ e β	373 dias	Braquiterapia em pele e olhos

*Também são Betaemissores, mas como são fontes isoladas apenas os raios gama são utilizados

Fonte: OKUNO e YOSHIMURA, 2010

Na Medicina Nuclear diagnóstica são utilizadas fontes radioativas não seladas que são introduzidas dentro do corpo do paciente (por inalação, ingestão ou injeção). Esses radiofármacos, em conjunto com contrastes (substâncias químicas introduzidas no corpo do paciente para destacar tumores, e problemas internos) são rastreadas por sensores externos ao corpo do paciente. Essas fontes radioativas, emitem raios gama ou pósitrons que facilmente atravessam o corpo humano, porém apresentam tempo de

meia-vida baixo e são eliminadas pelo corpo logo em seguida do exame ser realizado (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

Os radiofármacos são reconhecidos pelo corpo humano como idênticos a algum elemento que será processada por algum determinado tecido ou órgão. Assim, um elemento radioativo que simule o iodo também é processado pela tireoide (glândula endócrina responsável por controlar hormônios do corpo humano) e assim pode-se realizar um diagnóstico por um detector externo. A Tabela 2 apresenta alguns dos radionuclídeos utilizados para esse fim (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

Tabela 2 - Alguns dos radiofármacos utilizados

Tipo	Radionuclídeo	$T_{1/2}$	Radiação
Fótons emissores	$^{99m}_{43}Tc$ (Tecnécio)	6 horas	γ e β^+
	$^{201}_{81}Tl$ (Tálio)	73 horas	raio X e β^+
	$^{67}_{31}Ga$ (Gálio)	78 horas	raio X e β^+
	$^{123}_{53}I$ (Iodo)	13,2 horas	raio X e β^+
	$^{111}_{49}In$ (Índio)	67 horas	raio X e β^+
	$^{131}_{53}I$ (Iodo)	8 dias	γ e β^-
Beta emissores	$^{11}_6C$ (Carbono)	20,4 minutos	γ e β^-
	$^{13}_7N$ (Nitrogênio)	9,96 minutos	γ e β^-
	$^{15}_8O$ (Oxigênio)	2,07 minutos	γ e β^-
	$^{18}_9F$ (Flúor)	109,8 minutos	γ e β^-
	$^{68}_{31}Ga$ (Gálio)	68 minutos	γ e β^-
	$^{82}_{37}Rb$ (Rubídio)	1,3 minutos	γ e β^-

Fonte: OKUNO e YOSHIMURA, 2010

A tomografia por emissão de pósitron é exame que faz a utilização de radiofármacos com emissão de β^+ para analisar órgãos internos, assim, o mesmo tem contribuído para a identificação precoce de vários tumores (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

Já no caso da medicina terapêutica, que também utiliza radioisótopos para tratar um determinado órgão interno, utiliza, no tratamento de tumores de tireoide, o iodo 131

e funciona de maneira semelhante a uma braquiterapia, com a diferença do material radioativo estar em contato com as células do corpo humano (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

2.3 LEGISLAÇÃO

Tendo em vista, na Medicina Nuclear, o poder de penetração, a capacidade de alterar as células e todos os riscos apresentados na utilização dos radioisótopos e dos fótons radioativos a legislação brasileira tem como objetivo guardar a segurança da população por meio das normas que são utilizadas para regulamentar e estabelecer diretrizes na questão da radiação.

2.3.1 NR 32

A Norma Regulamentadora NR-32 (segurança e saúde no trabalho em serviços de saúde), em seu primeiro item, se caracteriza por ter a finalidade de definir as diretrizes básicas para a implementação de medidas de proteção à segurança e à saúde dos trabalhadores dos serviços de saúde, tanto dos que exercem atividades de promoção e assistência à saúde em geral (BRASIL, 2011).

Como a Medicina Nuclear faz a utilização de elementos que emitem radiação e radionuclídeos, a Nr-32, em seu item 32.4, trata a respeito das radiações ionizantes em serviços relacionados a saúde, tanto na área hospitalar quanto na área de radiofármacos. Nele, a norma trata dos seguintes assuntos (BRASIL, 2011).

- a) plano de proteção radiológico aprovado pela CNEN;
- b) instruções para os trabalhadores e empregadores envolvidos com radioisótopos na área da Medicina Nuclear;
- c) monitoração e sinalização das áreas que possam estar envolvidas com os radioisótopos;
- d) registro individual e monitorização das atividades e doses recebidas pelos trabalhadores com os respectivos prontuários clínicos;
- e) serviços de proteção radiológico;

f) áreas classificadas e as suas respectivas características de construção e restrições;

g) exames de radioterapia, braquiterapia e raios X;

h) medidas cautelares com os locais dos rejeitos radioativos;

i) blindagem dos locais em que possam ser utilizados radioisótopos.

A Nr-32 ainda afirma que é obrigatório seguir as exigências estabelecidas pelas normas da CNEN e da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, do Ministério da Saúde) (BRASIL, 2011).

2.3.2 NR-15 e a CNEN-NN-3.01

A Norma Regulamentado 15, que trata a respeito de atividades e operações insalubres, e também sobre dose e tempo de exposição dos trabalhadores a perturbações sonoras, agentes químicos e físicos. Quando o assunto é referente a radiação, a mesma, no seu anexo cinco, transfere toda a responsabilidade a norma da CNEN-NN-3.01 (Diretrizes Básicas de Radioproteção) (BRASIL, 2014).

A CNEN-NN-3.01 tem como objetivo estabelecer os requisitos básicos de proteção radiológica das pessoas em relação à exposição à radiação ionizante a qual também se aplica as exposições referentes à Medicina Nuclear. Ainda, essa norma estabelece os Limites Primários Anuais de Doses Equivalentes, que são os valores normativos que uma pessoa pode receber de radiação ionizante durante o período de um ano e a unidade de medida no sistema internacional é o joule por quilograma (J/kg), denominado sievert (Sv) (COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, 2014).

A CNEN, por esta norma, ainda trata dos seguintes assuntos.

a) controle institucional, que se traduz em limitar a dose recebida para a população local considerando a manutenção de registros, delimitação de áreas, restrições para o uso da terra, programas de monitoração radiológica ambiental, inspeções periódicas e ações corretivas;

b) intervenção no âmbito de definir as ações tomadas quando há uma exposição a fontes que não façam parte de uma prática controlada ou fora de controle sendo um acidente ou um ato terrorista.

- c) Plano de Proteção Radiológico;
- d) monitoração, no sentido de realizar medições de grandezas e parâmetros para controle ou avaliação da exposição à radiação, incluindo os resultados.

2.3.3 CNEN-NN-3.05

A norma CNEN-NN-3.05 (Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Medicina Nuclear) tem como objetivo regulamentar e estabelecer diretrizes específicas à Medicina Nuclear sendo dividida nos seguintes assuntos (COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, 2013).

a) deveres de um serviço de Medicina Nuclear, que trata dos recursos humanos mínimos e das responsabilidades de cada indivíduo envolvido na Medicina Nuclear conforme o cargo e função no estabelecimento;

b) requisitos operacionais de um serviço de Medicina Nuclear, que especifica as instalações físicas necessárias, instrumentação de medição, testes de aceitação e controle de qualidade;

c) requisitos de proteção radiológica em um serviço de Medicina Nuclear, que aborda assuntos como o recebimento das fontes radioativas, manipulação e administração de radiofármacos, monitoração individual e dos níveis de notificação para o indivíduo ocupacionalmente exposto, exposições médicas, radiofármacos para terapia e internações de pacientes com radioisótopos injetados para terapia;

d) gerenciamento de rejeitos radioativos, no que diz respeito aos locais de armazenamento provisórios e definitivos, dispensa de rejeitos radioativos e dos registros e inventários desses elementos descartados;

e) disposições transitórias e finais, que trata do parte documental quando um serviço de Medicina Nuclear entra em operação e a necessidade da documentação ser aprovada e acessível a CNEN.

2.4 CADASTRO DO *SITE* DA CNEN REFERENTE AOS RADIOISÓTOPOS

Para atender a legislação, no quesito fiscalização e documentação, a CNEN apresenta, em seu *site*, um cadastro das instalações autorizadas a utilizar alguns dos

radioisótopos distribuídos no Brasil incluindo os mesmos referentes a Medicina Nuclear. Esses dados são classificados pelo número de matrícula (em laranja) das instituições conforme a Figura 8 (COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, 2017).

Medicina Nuclear - Posição em 24/03/2017 retorna

As instalações que não constarem da relação abaixo deverão solicitar a renovação de suas respectivas autorizações através do formulário **SCRA** e **TLC**.

Matrícula	Instituição	Cidade	UF	Autorização
15478	A + MEDICINA DIAGNÓSTICA	SAO PAULO	SP	06/09/2018
15475	A+ MEDICINA DIAGNÓSTICA	SAO PAULO	SP	14/05/2018
14924	APESC - HOSPITAL SANTA CRUZ	SANTA CRUZ DO SUL	RS	19/05/2019
14169	ARANUCLEAR - MEDICINA NUCLEAR	ARARAQUARA	SP	16/02/2018
15798	ARARAS MEDICINA DIAGNÓSTICA POR IMAGEM LTDA	ARARAS	SP	08/06/2017
11625	ASSOC DO SANATORIO SIRIO - HOSPITAL DO CORACAO	SAO PAULO	SP	10/10/2018
11567	ASSOC. DE COMB. CANCER DO BRASIL CENTRAL - HOSR. HELIO ANGIOTTI	UBERABA	MG	03/03/2018
13909	ASSOCIACAO DE CARIDADE SANTA CASA DO RIO GRANDE	RIO GRANDE	RS	08/04/2019
15523	ASSOCIAÇÃO DO SANATÓRIO SÍRIO - HOSPITAL DO CORAÇÃO - UACJ	SAO PAULO	SP	14/06/2018
14927	ASSOCIAÇÃO EDUCADORA SÃO CARLOS - HOSPITAL MÃE DE DEUS	PORTO ALEGRE	RS	20/05/2017
15430	ASSOCIAÇÃO HOSPITAL DE CARIDADE DE IJUÍ	IJUI	RS	26/10/2018
14285	ASSOCIAÇÃO HOSPITALAR MOINHOS DE VENTO	PORTO ALEGRE	RS	16/11/2019
15271	ASSOCIAÇÃO NORTE PARANAENSE DE COMBATE AO CÂNCER	ARAPONGAS	PR	23/10/2019
13833	BIO CIÊNCIA LAVOISIER ANÁLISES CLÍNICAS S/A	SAO PAULO	SP	14/08/2019
15776	BIOCARDIOS INSTITUTO DE CARDIOLOGIA LTDA	BRASILIA	DF	04/10/2019
13195	BIOCOR HOSPITAL DE DOENCAS CARDIOVASCULARES LTDA	NOVA LIMA	MG	14/07/2019
14176	BIOCORDIS CENTRO DIAGNOSTICO CLINICO CARDIOLOGICO LTDA	UBA	MG	25/05/2017
14540	BIOLABOR LABORATÓRIO DE ANÁLISES CLÍNICAS S/C LTDA/SOROCABA/UN.VERGUEIRO	SOROCABA	SP	07/12/2018
14170	BIONUCLEAR - SERVICOS DE MEDICINA NUCLEAR S/C LTDA	FLORIANOPOLIS	SC	13/07/2019
15505	BMX - VALE IMAGEM SOCIEDADE EMPRESARIA LTDA	BARRA MANSÁ	RJ	06/04/2017
11685	CAMP - IMAGEM NUCLEAR SC LTDA	CAMPINAS	SP	05/07/2017
15864	CARDIOMOBILE CARDIOLOGIA MÓVEL LTDA	UBERLANDIA	MG	30/04/2017
13054	CARDIONUCLEAR - CARDIOLOGIA NUCLEAR S/S LTDA.	PORTO ALEGRE	RS	03/09/2018
14825	CARDIONUCLEAR NATAL LTDA	NATAL	RN	07/06/2017
14692	CARDIOPRIME S/S	BLUMENAU	SC	08/05/2019
15860	CASA DE CARIDADE DE CARANGOLA	CARANGOLA	MG	03/11/2019
11758	CASA DE SAUDE SANTA MARCELINA	SAO PAULO	SP	20/08/2017
15803	CDC NUCLEAR S/S	CAMPO GRANDE	MS	12/09/2019
15900	CDIP SUL CLINICA DE DIAGNOSTICO POR IMAGEM DO SUL LTDA.	CHAPECO	SC	20/03/2020
16399	CEDIMAGEM CENTRO DE DIAGNOSTICO MEDICO POR IMAGEM	CUIABA	MT	20/05/2017
11647	CEDIMEN - CENTRO DE DIAG EM MEDICINA NUCLEAR SC LTDA	SAO PAULO	SP	08/12/2019

Figura 8 – Parte do cadastro dos Radioisótopos utilizados na Medicina Nuclear
Fonte: Adaptado de (COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, 2017)

Ao clicar sobre o número de matrícula de uma instituição autorizada da página do *site* da Comissão Nacional de Energia Nuclear têm-se as informações mais detalhadas no que diz respeito aos radioisótopos utilizados com as respectivas quantidades e

periodicidades das inspeções conforme a Figura 9. Ainda, a unidade de atividade radioativa que a CNEN utiliza é a *curie* (Ci), que não pertence ao Sistema Internacional de Unidades, sendo está, definida como o número de desintegrações por segundo de uma amostra de uma grama de Rádio-226 (COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, 2017).

Radioisótopo	Quantidade	Unidade	Periodicidade
Cr(51)	10	mCi	Semanal
Ga(67)	40	mCi	Semanal
I(123)	50	mCi	Semanal
I(131)	100	mCi	Semanal
In(111)	20	mCi	Semanal
Ra(223)	5	mCi	Semanal
Tc(99m)	4000	mCi	Semanal
Tl(201)	60	mCi	Semanal

Identificação	Instituição	Estado	Data
15931	CENTRO DE ONCOLOGIA CASCAVEL SOCIEDADE SIMPLES LIMITADA	CASCAVEL	PR 27/07/2019
15791	CENTRO DE RADIOIMUNOENSAIO E MEDICINA NUCLEAR DO PARANA LTDA	CURITIBA	PR 26/03/2018
15791 - Fontes Não Seladas Autorizadas			
	E.U.D.	SANTANA DO LIVRAMENTO	RS 03/11/2019
		RONDONOPOLIS	MT 01/07/2019
		ARAPIRACA	AL 24/08/2018
		CAMPINAS	SP 26/03/2019
	RU LTDA	BAURU	SP 28/06/2018
		GOVERNADOR VALADARES	MG 25/11/2018
		VILA VELHA	ES 19/04/2019
		SOROCABA	SP 01/06/2017
	LTDA	VOLTA REDONDA	RJ 22/12/2017
		MONTE CLAROS	MG 27/03/2017
		SINOP	MT 10/08/2018
		NOVA FRIBURGO	RJ 04/07/2019

Figura 9 - Os Radioisótopos distribuídos conforme as instituições autorizadas
 Fonte: Fonte: Adaptado de (COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, 2017)

3 METODOLOGIA

A metodologia empregada nesta monografia é referente aos radioisótopos utilizados na medicina nuclear do Paraná, nas instalações autorizadas pela CNEN no ano de 2017, cujos dados foram coletados do *site* da Comissão Nacional de Energia Nuclear.

Ainda, esse método utilizado destina-se a elaboração de um *software* que visa auxiliar a logística de distribuição das informações disponíveis pela CNEN, por meio de um mapeamento, referentes aos elementos registrados na medicina nuclear do Paraná.

Ilustrado pela Figura 10, a metodologia deste trabalho está dividida em quatro etapas, Anteprojeto, Pesquisa Experimental, Projeto e o desenvolvimento da parte escrita propriamente dita.

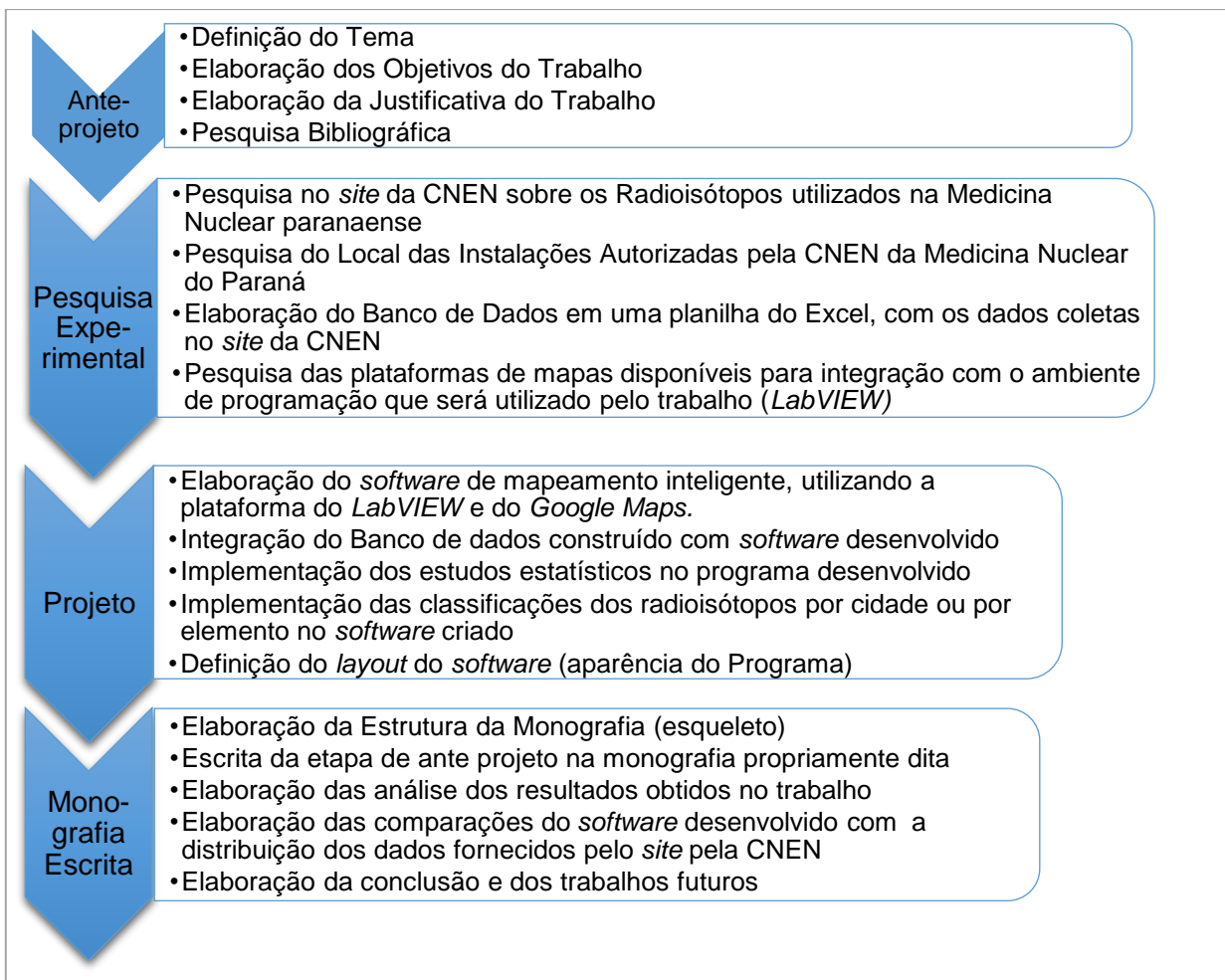


Figura 10 – Metodologia
Fonte: Autoria própria

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Sabe-se que a CNEN disponibiliza em seu *site* algumas informações referentes aos radioisótopos utilizados por cada empresa no que diz respeito à medicina nuclear. Assim, para esta monografia, foi necessário realizar uma busca da localização de cada uma dessas instalações autorizadas e assim elaborar o banco de dados utilizados neste trabalho em uma planilha no formato Excel (.xlsx) conforme a Figura 11.

Medicina Nuclear		FONTE: http://www.cnen.gov.br/instalacoes-autorizadas				Total pr: 23	Total: 431		
Matricula	Instituição	Cidade	UF	Autorização	Radioisótopo	Quantidade	Unidade	Periodicidade	
15271	ASSOCIAÇÃO NORTE PARANAENSE DE COMBATE AO CÂNCER -23.3902545,-51.4545863 fonte não selada autorizada	ARAPONGAS	PR	06/03/2017					
					Ga(67)	10	mCi	Semanal	
					I(131)	100	mCi	Semanal	
					Sm(153)	70	mCi	Semanal	
					Tc(99)m	1500	mCi	Semanal	
					Tl(201)	5	mCi	Semanal	
15390	CENTRO DE MEDICINA NUCLEAR DO PARANÁ S/S LTDA -25.4331925,-49.2891939 fonte não selada autorizada	CURITIBA	PR	22/08/2017					
					Ga(67)	15	mCi	Semanal	
					I(131)	1000	mCi	Semanal	
					Lu(177)	450	mCi	Semanal	
					Ra(223)	1,62	mCi	Semanal	
					Sm(153)	100	mCi	Semanal	
					Tc(99)m	4000	mCi	Semanal	
					Tl(201)	15	mCi	Semanal	
15791	CENTRO DE RADIOIMUNOENSAIO E MEDICINA NUCLEAR DO PARANÁ LTDA -25.4343242,-49.2900883 fonte não selada autorizada	CURITIBA	PR	26/03/2018					
					Cr(51)	10	mCi	Semanal	
					Ga(67)	40	mCi	Semanal	
					I(123)	50	mCi	Semanal	
					I(131)	100	mCi	Semanal	
					In(111)	20	mCi	Semanal	
					Ra(223)	5	mCi	Semanal	
					Tc(99)m	4000	mCi	Semanal	
					Tl(201)	60	mCi	Semanal	

Figura 11 – Parte do Banco de Dados dos radioisótopos em Excel
Fonte: Autoria própria

Para atender os objetivos propostos desta monografia, foi elaborado um programa de computador cuja a função é analisar os dados coletados pela CNEN e elaborar o mapeamento inteligente da distribuição dos radioisótopos da Medicina Nuclear.

O programa desenvolvido, na área de mapeamento inteligente, necessita de conexão com a internet e da planilha no formato Excel (.xlsx) para funcionar, sendo esta elaborado conforme ilustrado pela Figura 11.

4.1 O PROGRAMA DESENVOLVIDO

A plataforma de programação utilizado para o desenvolvimento deste programa foi a do *LabVIEW* obtendo o *layout* (aparência) conforme a Figura 12. Essa plataforma de programação possibilitou fazer as análises dos resultados e o mapeamento proposto por este trabalho.

Medicina Nuclear		Cidade		UF	Autorização	Radioisótopo	Quantidade	Unidade	Periodicidade
Matricula	Instituição								
15271	ASSOCIAÇÃO NORTE PARANAENSE DE COMBATE AO CÂNCER -23.3902545,-51.4545863 fonte não selada autorizada	ARAPONGAS	PR	42800	Ga(67)	10	mCi	Semanal	
					I(131)	100	mCi	Semanal	
					Sm(153)	70	mCi	Semanal	
					Tc(99m)	1500	mCi	Semanal	
					Th(201)	5	mCi	Semanal	
Matricula	Instituição								
15390	CENTRO DE MEDICINA NUCLEAR DO PARANÁ S/S LTDA -25.4331925,-49.2891939 fonte não selada autorizada	CURITIBA	PR	42969	Ga(67)	15	mCi	Semanal	
					I(131)	1000	mCi	Semanal	
					Lu(177)	450	mCi	Semanal	
					Ra(223)	1,62	mCi	Semanal	
					Sm(153)	100	mCi	Semanal	
					Tc(99m)	4000	mCi	Semanal	
					Th(201)	15	mCi	Semanal	
Matricula	Instituição								
15791	CENTRO DE RADIOIMUNOENSAIO E MEDICINA NUCLEAR DO PARANÁ LTDA -25.4343242,-49.2900883 fonte não selada autorizada	CURITIBA	PR	43185	Cr(51)	10	mCi	Semanal	
					Ga(67)	40	mCi	Semanal	
					I(123)	50	mCi	Semanal	
					I(131)	100	mCi	Semanal	
					In(111)	20	mCi	Semanal	
					Ra(223)	5	mCi	Semanal	
					Tc(99m)	4000	mCi	Semanal	
					Th(201)	60	mCi	Semanal	

Figura 12 - Layout do programa desenvolvido
Fonte: Autoria própria

O *software* (programa) coleta as informações do banco de dados criados no Excel, conforme as informações do *site* da CNEN, as classifica e contabiliza da seguinte maneira:

- por matrícula (de cada instalação autorizada);
- por região das instalações autorizadas;
- pelos radioisótopo distribuídos por município;
- pelos radionuclídeos distribuídos no estado do Paraná;

Ainda o programa apresenta o mapeamento inteligente mostrando o local e os radioisótopos distribuídos no Paraná na aba denominada Mapa no *software*.

A maneira com que se seleciona o tipo de função (classificação) apresentado pelo programa é conforme a Figura 13.



Figura 13 - Menu principal do software
Fonte: Autoria própria

Conforme a Figura 13, o programa apresenta os seguintes comandos por meio de botões:

- botão atualizar, usar quando fazer qualquer alteração no programa, tanto nos mapas quanto nas tabelas do Excel;
- abas do menu principal, utiliza-las para mudar o tipo de informação que é exibida pelo software (conforme as classificações detalhadas acima);
- parar o programa, utiliza-lo para encerrar o programa;
- botão de abrir/alterar, utilizar para alterar a planilha em formato Excel.

Para alterar os dados lidos pelo programa (botão abrir/alterar) o software abrirá uma nova janela específica para a função e ilustrada pela Figura 14.

Matrícula	Instituição	Cidade	UF	Autorização	Radioisótopo	Quantidade	Unidade	Periodicidade
15271	ASSOCIAÇÃO NORTE PARANAENSE DE COMBATE AO CÂNCER	ARAPONGAS	PR	42800	Ga(67)	10	mCi	Semanal
	-23.3902545 -51.4545863				I(131)	100	mCi	Semanal
	fonte não selada autorizada				Sm(153)	70	mCi	Semanal
					Tc(99m)	1500	mCi	Semanal
					Tl(201)	5	mCi	Semanal
15390	CENTRO DE MEDICINA NUCLEAR DO PARANÁ S/S LTDA	CURITIBA	PR	42969	Ga(67)	15	mCi	Semanal
	-25.4331925 -49.2891939				I(131)	1000	mCi	Semanal
	fonte não selada autorizada				Lu(177)	450	mCi	Semanal
					Ra(223)	1,62	mCi	Semanal
					Sm(153)	100	mCi	Semanal

Figura 14 - Janela que altera a planilha em Excel lida pelo programa
Fonte: Autoria própria

Ilustrado pela Figura 14, na janela que altera os dados lido, o programa contempla quatro botões com as seguintes funções:

- destacado pela cor laranja, esse botão tem a finalidade de selecionar o local da planilha base para o *software*;
- na cor verde, o botão abrir serve para carregar os dados da planilha na janela;
- em roxo, o botão tem a finalidade de transferir os dados para o programa principal;
- em vermelho, o botão encerra esta janela aberta.

Ao selecionar a aba que apresenta a classificação dos radioisótopos de cada município (verde), ilustrado pela Figura 15, tem-se as opções de alterar a cidade (amarelo), o tamanho da legenda e tipo da mesma (azul) permitindo a escolha entre percentual ou nome do radioisótopo.

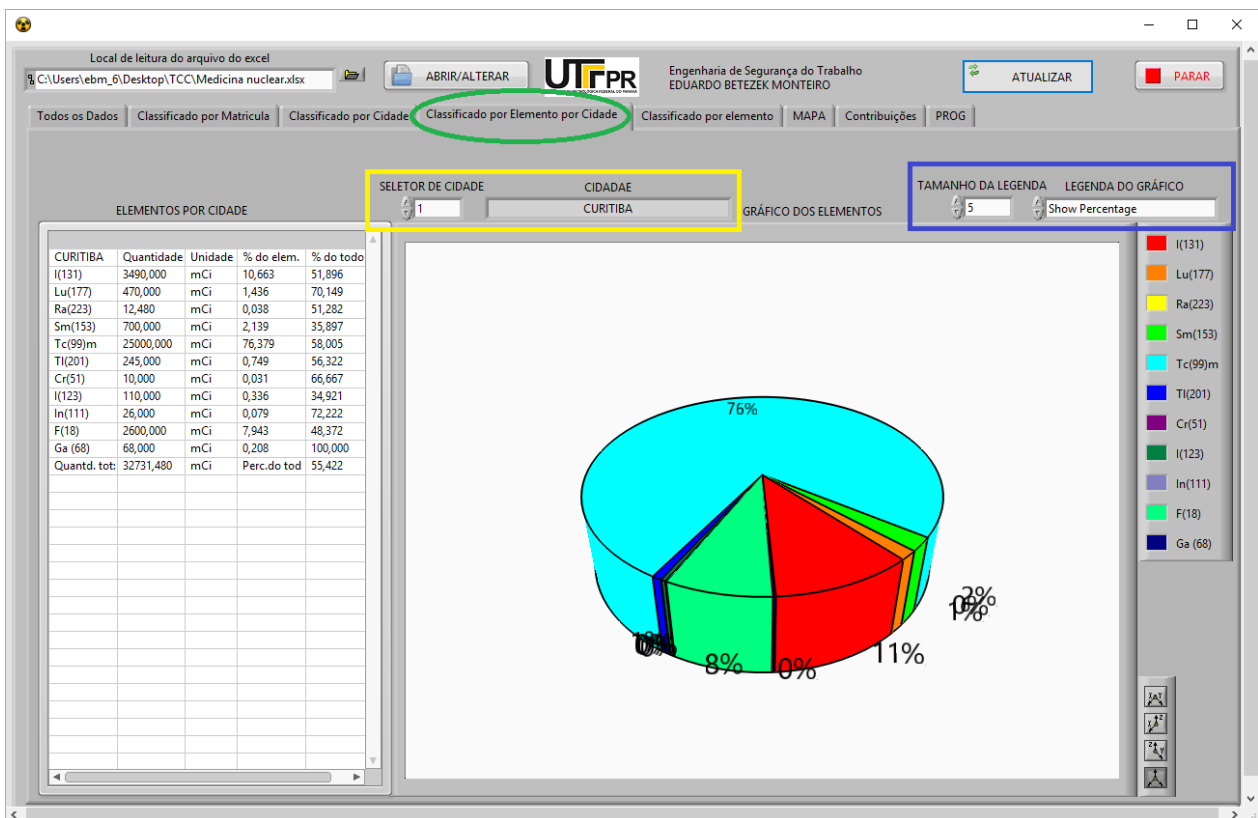


Figura 15 - Aba que contém os elementos classificados por município
Fonte: Autoria própria

Na aba seguinte, a que contabiliza os radionuclídeos utilizados no Paraná apresenta as mesmas opções que a anterior e é exibida conforme a Figura 16.

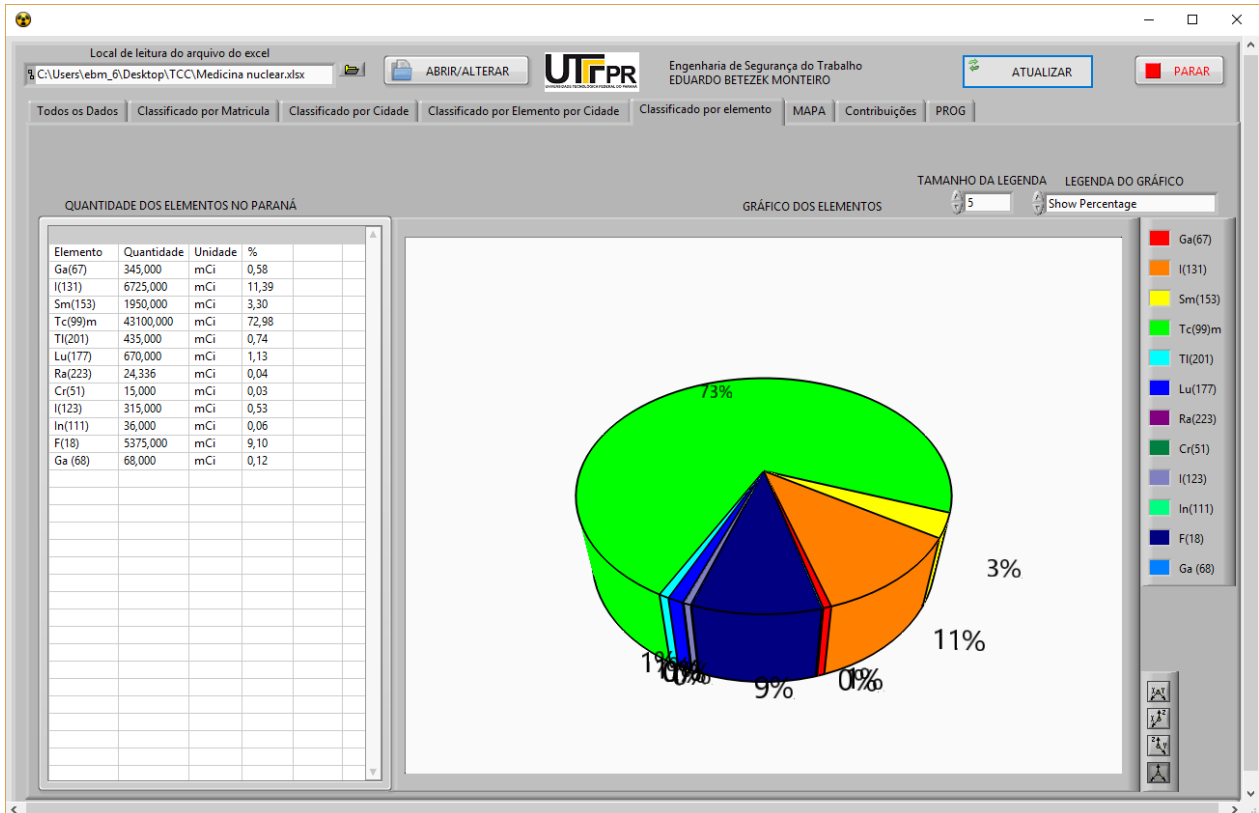


Figura 16 - Contabilização dos elementos distribuídos na Medicina Nuclear do Paraná
Fonte: Autoria própria

A aba seguinte do *software*, é destinada ao mapeamento inteligente propriamente dito conforme ilustrado pela Figura 17 e apresenta as seguintes opções:

- zoom, em verde, que altera a escala do mapa conforme a necessidade;
- tipo do mapa, em vermelho, que seleciona entre as opções de satélite e mapa padrão (com apenas as ruas);
- em laranja, tem-se a opção de selecionar uma instalação autorizada, centraliza-la no mapa e exibir os radioisótopos que nela estão distribuídos.

O sistema utiliza a plataforma de busca e mapeamento do *Google maps* (plataforma livre disponível à desenvolvedores de aplicativos e programas), por isso, faz-se necessário uma conexão com a internet para o funcionamento integral do *software*.

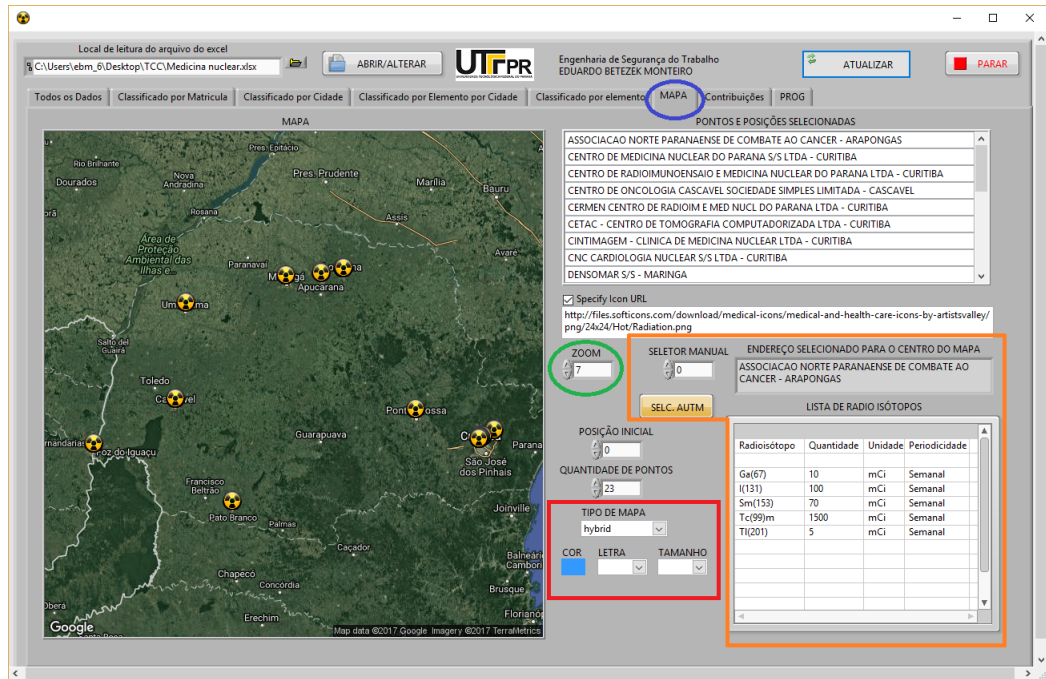


Figura 17 - Mapeamento Inteligente zoom 7
Fonte: A autoria própria

Na sequência, Figura 18, tem-se a ilustração dos radioisótopos distribuídos nas instalações autorizadas de Curitiba, com a opção zoom em 13.

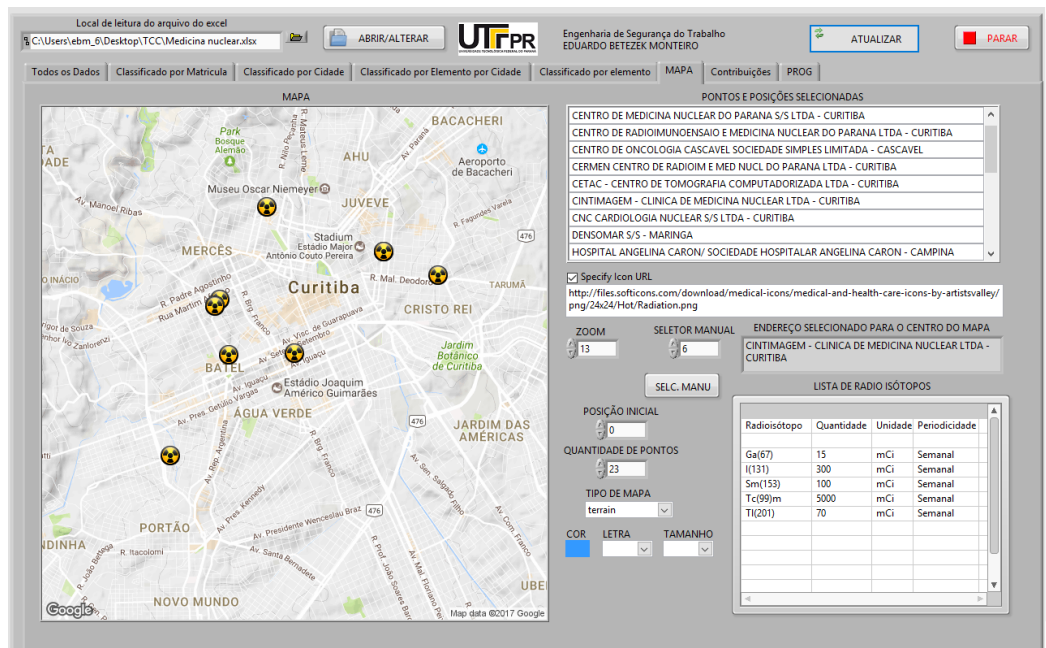


Figura 18 - Mapeamento Inteligente zoom 13 – Curitiba
Fonte: A autoria própria

Ainda, com um zoom maior, disponível no programa, pode-se ver detalhadamente o local onde estão distribuídos os radionuclídeos da Medicina Nuclear, conforme a Figura 19.

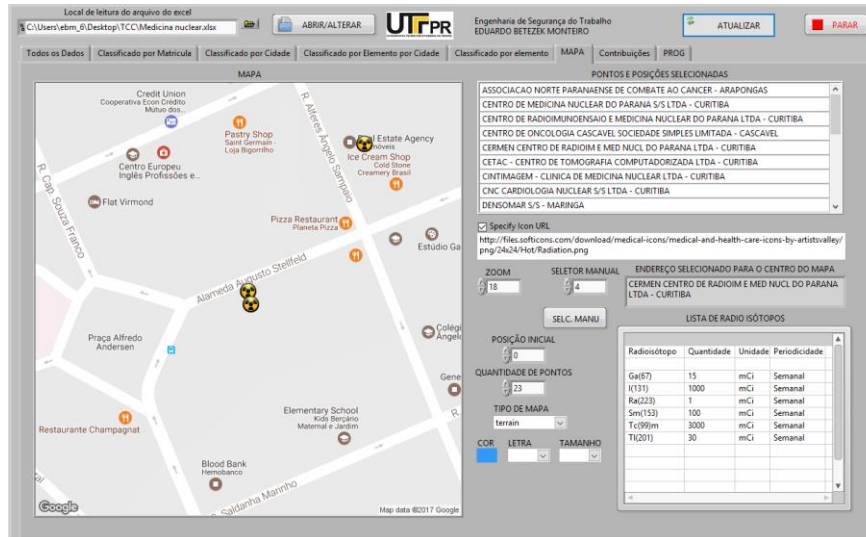


Figura 19 - Mapeamento Inteligente zoom 18
Fonte: Autoria própria

Por fim, ao selecionar a opção para exibir o mapa conforme a imagem disponível em satélite tem-se um resultado ilustrado pela Figura 20.

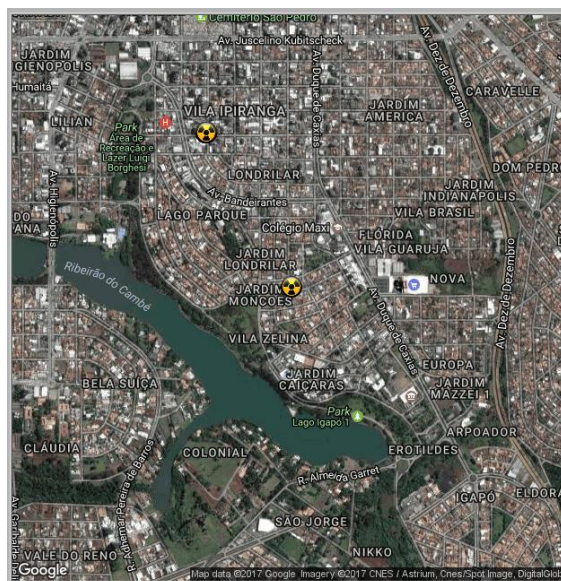


Figura 20 - Mapeamento Inteligente opção de satélite
Fonte: Autoria própria

4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DO PROGRAMA

A partir do programa desenvolvido e nos dados fornecidos pela CNEN, observa-se que, na Medicina Nuclear do estado do Paraná, temos dez cidades com instalações autorizadas a manusear certos radioisótopos, conforme a Tabela 3 e o Gráfico 1.

Tabela 3 - Quantidade de radioisótopos da Medicina Nuclear do Paraná por cidades

Cidade	Quantidade	Unidade	%	Elemento Predominante
Arapongas	1.685,00	mCi	2,85	$^{99m}_{43}\text{Tc}$ (Tecnécio)
Curitiba	32.886,48	mCi	55,69	$^{99m}_{43}\text{Tc}$ (Tecnécio)
Cascavel	3.706,62	mCi	6,28	$^{99m}_{43}\text{Tc}$ (Tecnécio)
Maringá	2.330,48	mCi	3,95	$^{99m}_{43}\text{Tc}$ (Tecnécio)
Campina Grande do Sul	2.595,00	mCi	4,40	$^{99m}_{43}\text{Tc}$ (Tecnécio)
Londrina	9.509,89	mCi	16,10	$^{99m}_{43}\text{Tc}$ (Tecnécio)
Ponta Grossa	671,62	mCi	1,14	$^{99m}_{43}\text{Tc}$ (Tecnécio)
Foz do Iguaçu	2.336,62	mCi	3,95	$^{99m}_{43}\text{Tc}$ (Tecnécio)
Pato Branco	1.741,62	mCi	2,94	$^{99m}_{43}\text{Tc}$ (Tecnécio)
Umuarama	1.595,00	mCi	2,70	$^{99m}_{43}\text{Tc}$ (Tecnécio)

Fonte: COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, 2017

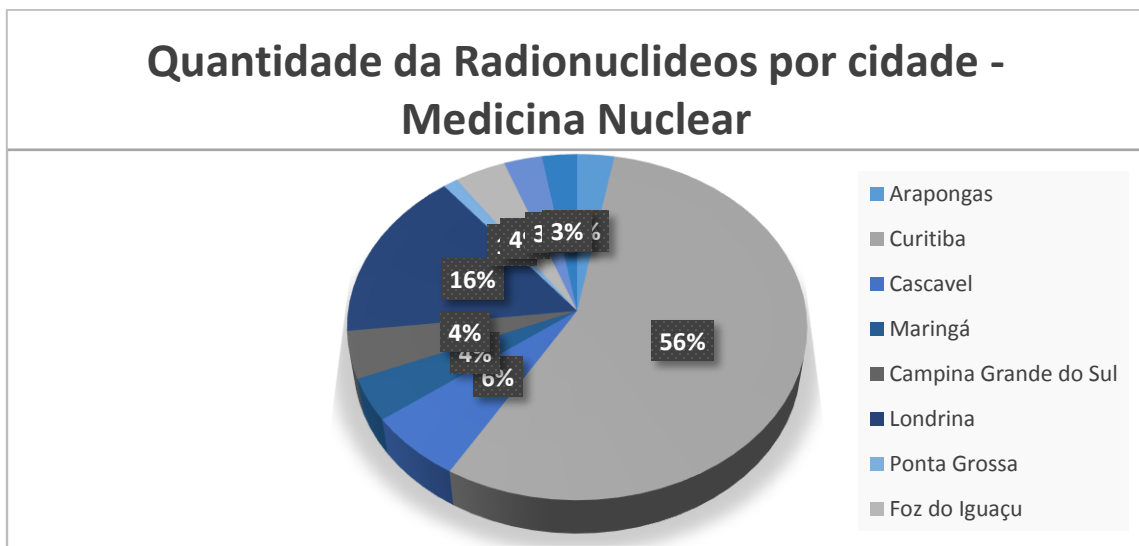


Gráfico 1 - Quantidade de radioisótopos por cidade da Medicina Nuclear do Paraná janeiro de 2017
Fonte: COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, 2017

Observando os radioisótopos utilizados na Medicina Nuclear do Paraná, tem se a contabilização dos mesmo pelo *software* desenvolvido que é demonstrado pelo Gráfico 2 e pela Tabela 4, com as recomendações de operação e medidas cautelares da CNEN.

Tabela 4 - Radioisótopos utilizados na Medicina Nuclear no Paraná

Elemento	Quantidade	Unidade	%	Algumas Medidas Cautelares
$^{67}_{31}Ga$ (Gálio)	345	mCi	0,58	a) Utilização de Luvas descartáveis; b) Jaleco de Manga longa; c) Transportadores blindados de frascos e seringas; d) Blindagem para manipulação, transporte e armazenamento de fontes radioativas; e) Treinamentos periódicos em proteção radiológica; f) Monitores individuais de corpo externo e interno.
$^{131}_{53}I$ (Iodo)	6725	mCi	11,39	
$^{153}_{162}Sm$ (Samário)	1950	mCi	3,30	
$^{99m}_{43}Tc$ (Tecnécio)	43100	mCi	72,98	
$^{201}_{22}Ti$ (Titânio)	435	mCi	0,74	
$^{177}_{71}Lu$ (Lutécio)	670	mCi	1,13	
$^{223}_{88}Ra$ (Rádio)	24,336	mCi	0,04	
$^{51}_{24}Cr$ (Cromo)	15	mCi	0,03	
$^{123}_{53}I$ (Iodo)	315	mCi	0,53	
$^{111}_{49}In$ (Índio)	36	mCi	0,06	
$^{18}_{9}F$ (Flúor)	5375	mCi	9,10	
$^{68}_{31}Ga$ (Gálio)	68	mCi	0,12	

Fonte: COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, 2017

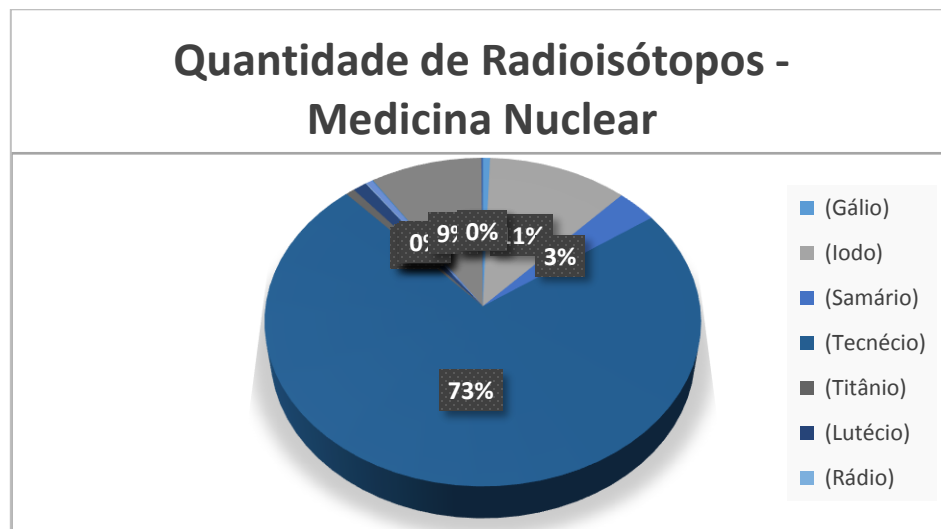


Gráfico 2 - Quantidade de Radioisótopos utilizados na Medicina Nuclear do Paraná Janeiro 2017
 Fonte: COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, 2017

Segundo a CNEN, o Paraná apresenta dez cidades com instalações autorizadas a utilizar os radioisótopos da Medicina Nuclear. Assim, utilizando o *software* desenvolvido, estes municípios serão tratados separadamente na sequencia deste trabalho.

4.2.1 Instalações Autorizadas de Arapongas

Arapongas que contém uma instalação autorizada, no que diz respeito a Medicina Nuclear, apresenta 2,9 % de todos os radioisótopo autorizado do estado do Paraná sendo o Tecnécio metaestável o radionuclídeo mais utilizado (89% de todos os elementos radioativos autorizados na Medicina Nuclear do município) conforme ilustrado pela Figura 21 e Figura 22 , sendo os elementos $^{67}_{31}\text{Ga}$ (Gálio), $^{131}_{53}\text{I}$ (Iodo), $^{153}_{62}\text{Sm}$ (Samário), $^{99m}_{43}\text{Tc}$ (Tecnécio) e $^{201}_{22}\text{Ti}$ (Titânio). Assim, estes são os elementos autorizados e com inspeção semanal.

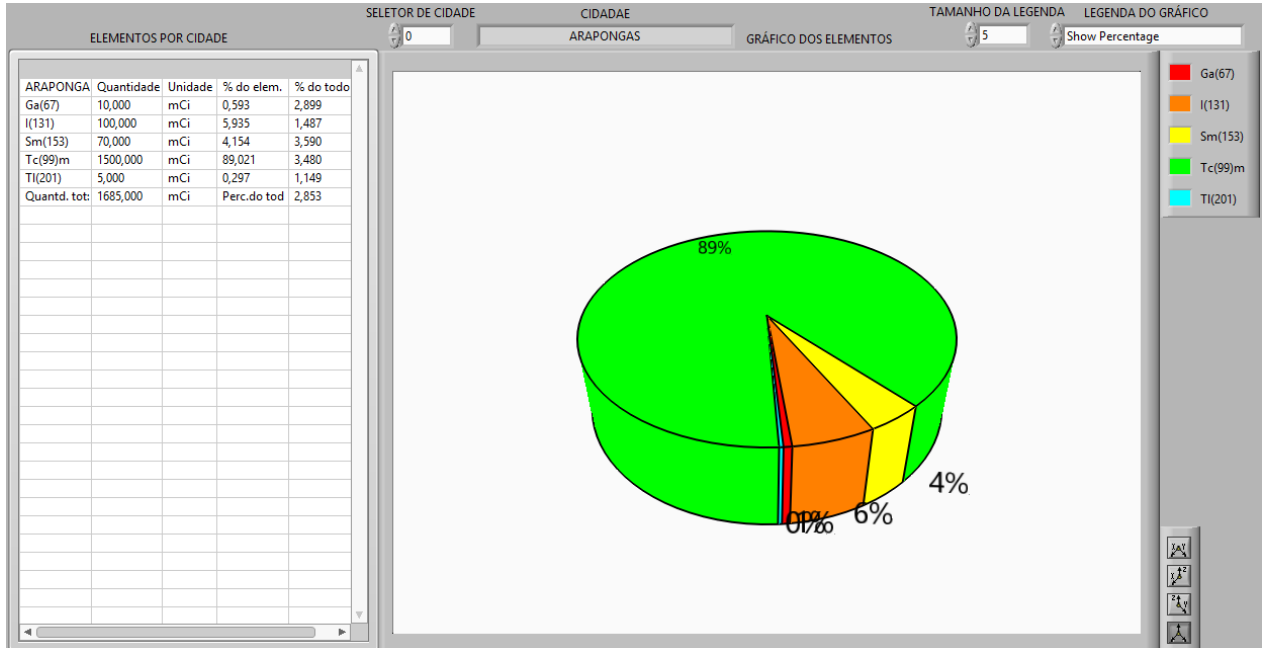


Figura 21 - Tabela e Gráficos de Arapongas - Instalações Autorizadas - CNEN
Fonte: Autoria própria

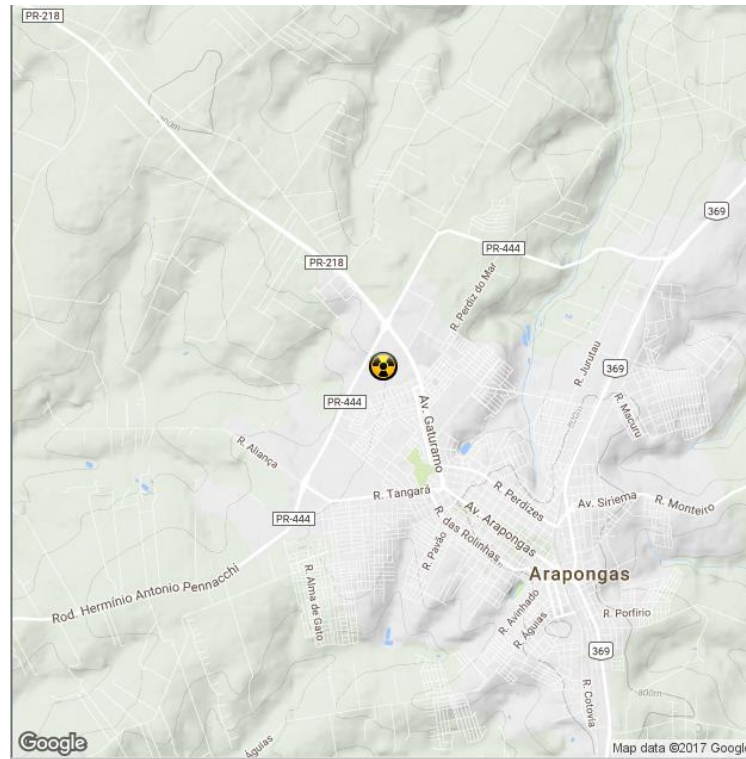


Figura 22 - Mapa de Arapongas - Instalações Autorizadas - CNEN
Fonte: Autoria própria

4.2.2 Instalações Autorizadas de Curitiba

Curitiba que contém dez instalações autorizadas, no que diz respeito a Medicina Nuclear, apresenta 55,7 % de todos os radioisótopos, da Medicina Nuclear, autorizados do estado do Paraná sendo o Tecnécio metaestável o radionuclídeo mais utilizado (76% de todos os elementos radioativos autorizados na Medicina Nuclear do município) conforme ilustrado pela Figura 23 e Figura 24, sendo os elementos ${}^{67}_{31}\text{Ga}$ (Gálio), ${}^{131}_{53}\text{I}$ (Iodo), ${}^{177}_{71}\text{Lu}$ (Lutécio), ${}^{153}_{62}\text{Sm}$ (Samário), ${}^{99m}_{43}\text{Tc}$ (Tecnécio), ${}^{201}_{22}\text{Ti}$ (Titânio), ${}^{223}_{88}\text{Ra}$ (Rádio), ${}^{51}_{24}\text{Cr}$ (Cromo), ${}^{123}_{53}\text{I}$ (Iodo), ${}^{111}_{49}\text{In}$ (Índio), ${}^{18}_{9}\text{F}$ (Flúor) e ${}^{68}_{31}\text{Ga}$ (Gálio) disponíveis. Ainda, a CNEN exige inspeção semanal destes elementos autorizados.

Ainda, Curitiba, por ser a capital do estado, é a que mais apresenta instalações autorizadas referentes a Medicina Nuclear no estado do Paraná segundo a CNEN.

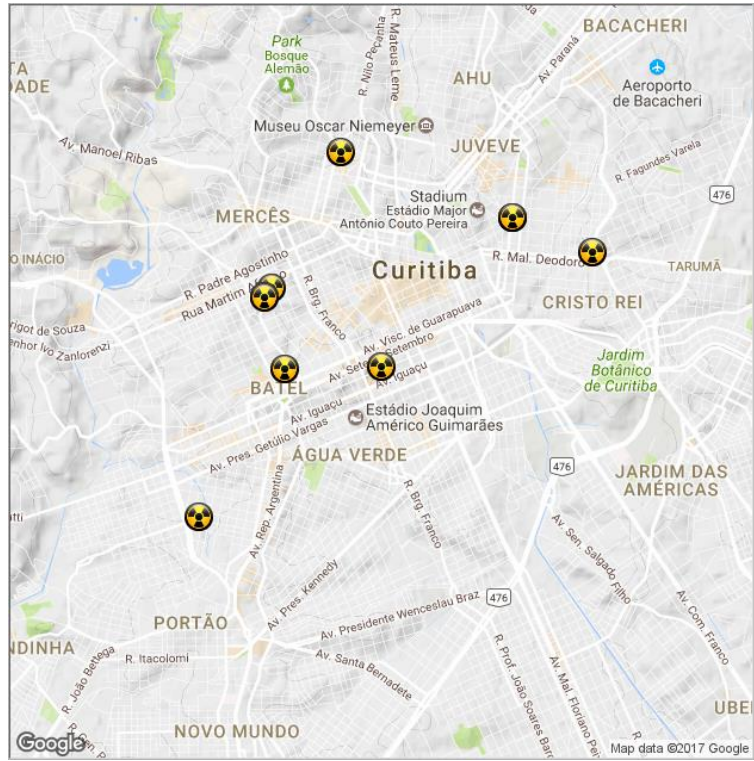


Figura 23 -Mapa de Curitiba - Instalações Autorizadas - CNEN
Fonte: Autoria própria

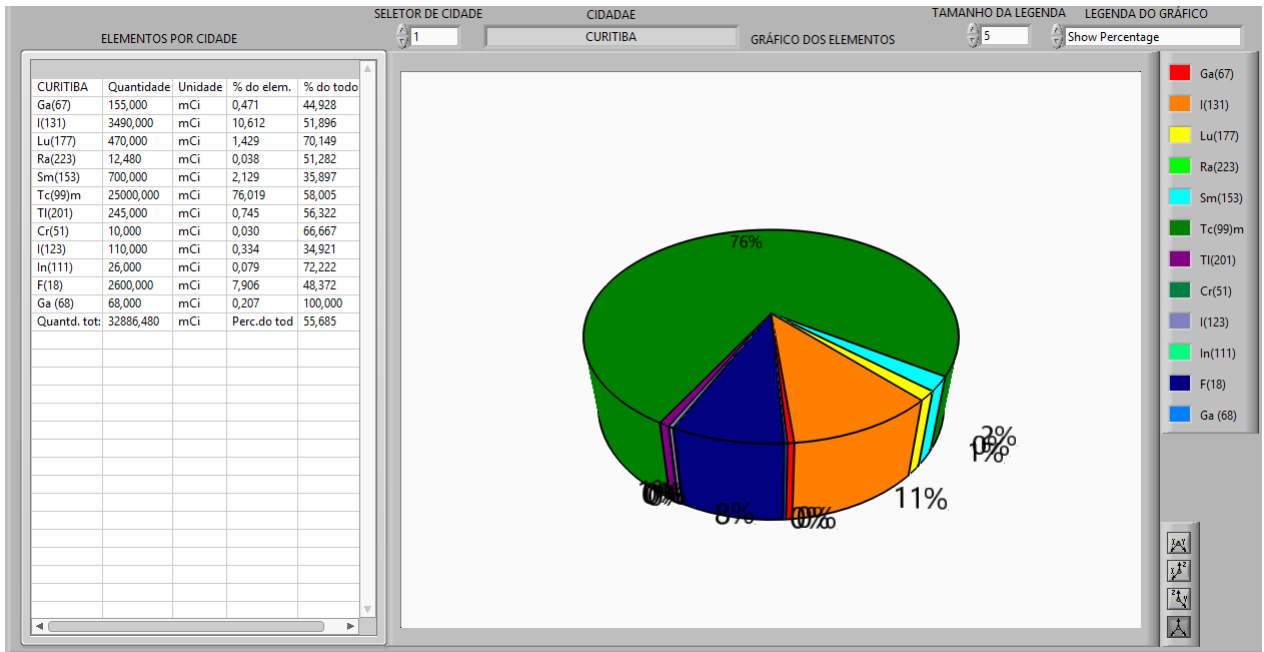


Figura 24 - Tabela e Gráficos de Curitiba - Instalações Autorizadas - CNEN
Fonte: Autoria própria

4.2.3 Instalações Autorizadas de Cascavel

Cascavel que contém duas instalações autorizadas, no que diz respeito a Medicina Nuclear, apresenta 6,3 % de todos os radioisótopo autorizado do estado do Paraná sendo o Tecnécio metaestável o radionuclídeo mais utilizado (54% de todos os elementos radioativos autorizados na Medicina Nuclear do município) conforme ilustrado pela Figura 26 e Figura 25 , sendo os elementos $^{67}_{31}\text{Ga}$ (Gálio), $^{131}_{53}\text{I}$ (Iodo), $^{153}_{62}\text{Sm}$ (Samário), $^{99m}_{43}\text{Tc}$ (Tecnécio), $^{201}_{82}\text{TI}$ (Titânio), $^{223}_{88}\text{Ra}$ (Rádio) e $^{18}_{9}\text{F}$ (Flúor) disponíveis. Ainda, a CNEN exige inspeção semanal para estes elementos autorizados.

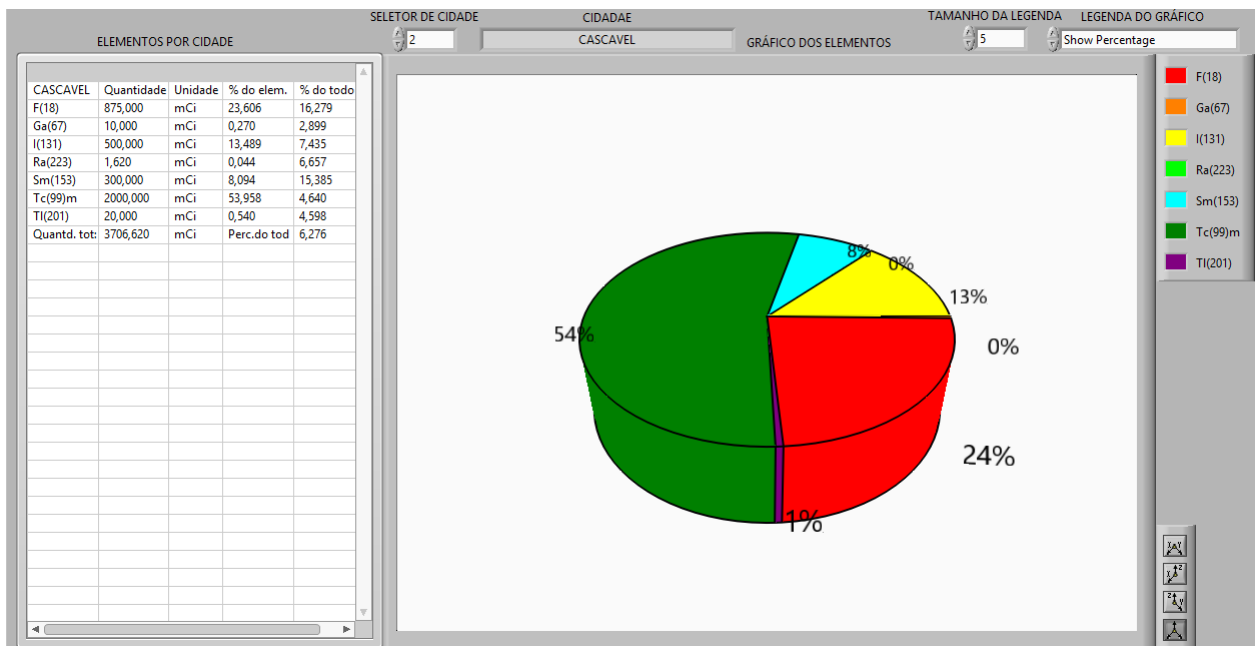


Figura 25 - Tabela e Gráficos de Cascavel - Instalações Autorizadas - CNEN
Fonte: Autoria própria

Observando a Tabela 4, que contabiliza os radioisótopos utilizados pela Medicina Nuclear no estado do Paraná, em Cascavel contempla um percentual menor do elemento Tecnécio do que a média no estado. Em contrapartida, o Flúor, está acima da média das instalações autorizadas desta cidade.

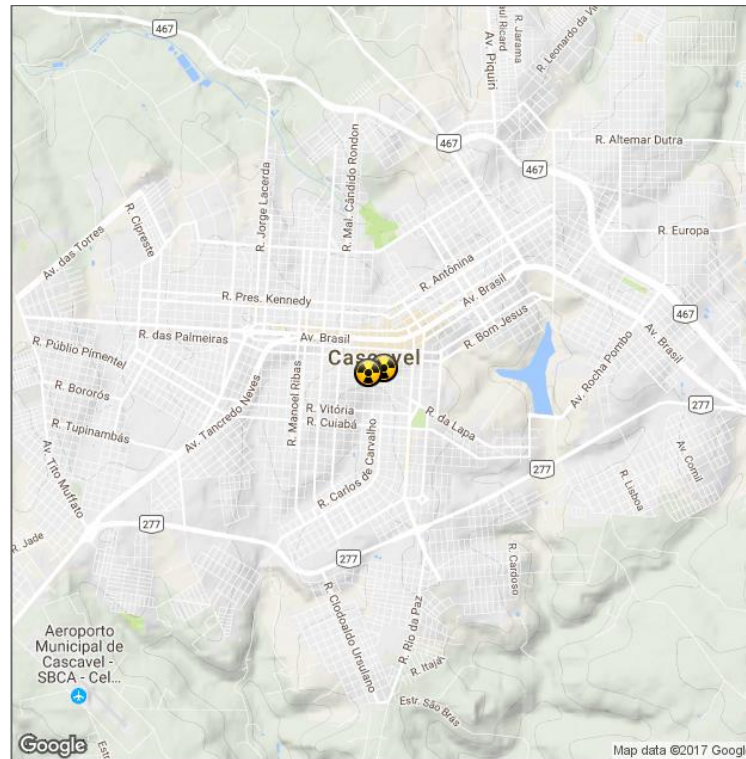


Figura 26 - Mapa de Cascavel - Instalações Autorizadas - CNEN
Fonte: Autoria própria

4.2.4 Instalações Autorizadas de Maringá

A cidade de Maringá, que contém uma instalação autorizada, no que diz respeito a Medicina Nuclear, apresenta 3,95 % de todos os radioisótopos, da Medicina Nuclear, autorizados do estado do Paraná sendo o Tecnécio metaestável o radionuclídeo mais utilizado (86% de todos os elementos radioativos autorizados na Medicina Nuclear do município) conforme ilustrado pela Figura 27 e Figura 28, sendo os elementos $^{67}_{31}\text{Ga}$ (Gálio), $^{131}_{53}\text{I}$ (Iodo), $^{153}_{62}\text{Sm}$ (Samário), $^{99m}_{43}\text{Tc}$ (Tecnécio) e $^{201}_{82}\text{Tl}$ (Titânio) disponíveis. Ainda, a CNEN exige inspeção semanal destes elementos autorizados.

Observando a Tabela 4, que contabiliza os radioisótopos utilizados pela Medicina Nuclear no estado do Paraná, em Maringá contempla um percentual levemente superior do elemento Tecnécio no que diz respeito a média no estado. Os outros elementos estão próximos à média das instalações autorizadas do estado.

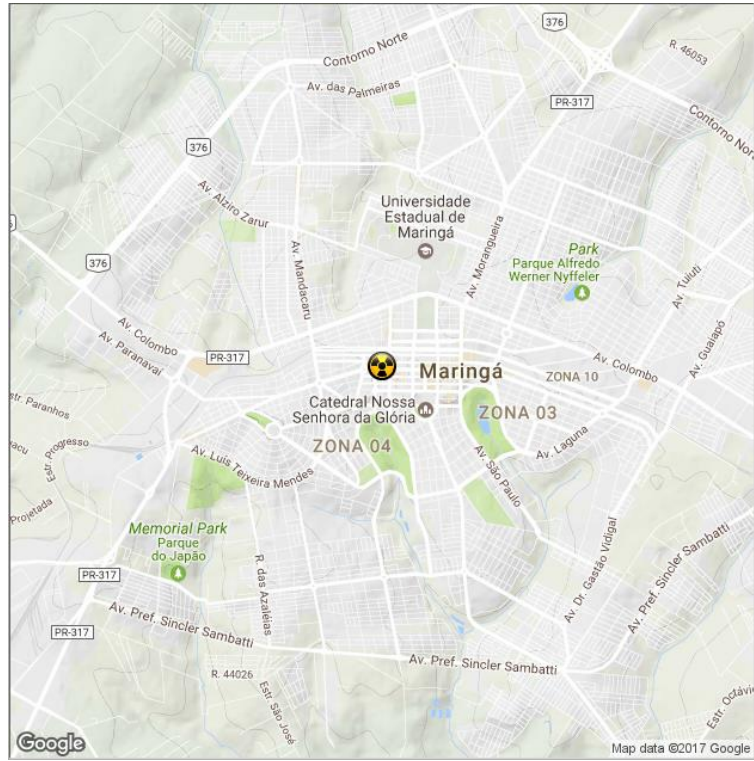


Figura 27 - Mapa de Maringá - Instalações Autorizadas – CNEN
Fonte: Autoria própria

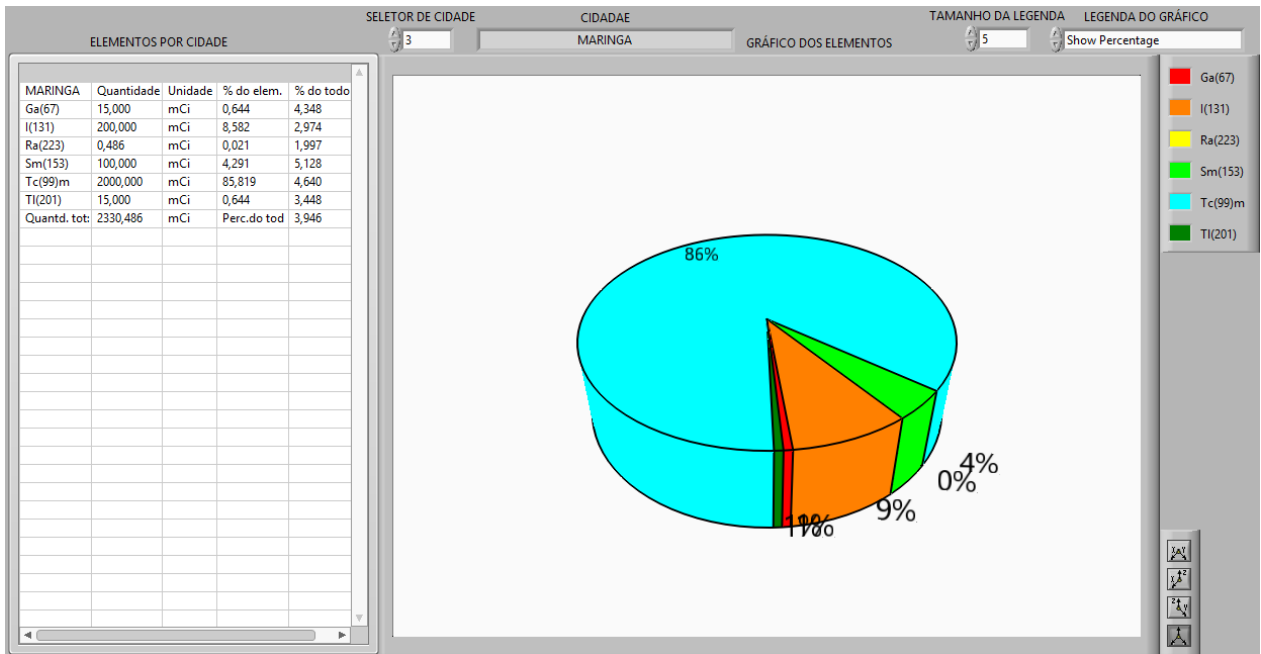


Figura 28 - Tabela e Gráficos de Maringá - Instalações Autorizadas - CNEN
Fonte: Autoria própria

4.2.5 Instalações Autorizadas de Campina Grande Do Sul

Campina Grande do Sul, que contém uma instalação autorizada, no que diz respeito a Medicina Nuclear, apresenta 4,4 % de todos os radioisótopo, da Medicina Nuclear, autorizados do estado do Paraná sendo o Tecnécio metaestável o radionuclídeo mais utilizado (48% de todos os elementos radioativos autorizados na Medicina Nuclear do município) conforme ilustrado pela Figura 23 e Figura 24 , sendo os elementos $^{67}_{31}\text{Ga}$ (Gálio), $^{131}_{53}\text{I}$ (Iodo), $^{153}_{62}\text{Sm}$ (Samário), $^{99m}_{43}\text{Tc}$ (Tecnécio), $^{201}_{22}\text{Ti}$ (Titânio), $^{123}_{53}\text{I}$ (Iodo) e $^{18}_{9}\text{F}$ (Flúor) disponíveis. Ainda, a CNEN exige inspeção semanal destes elementos autorizados.

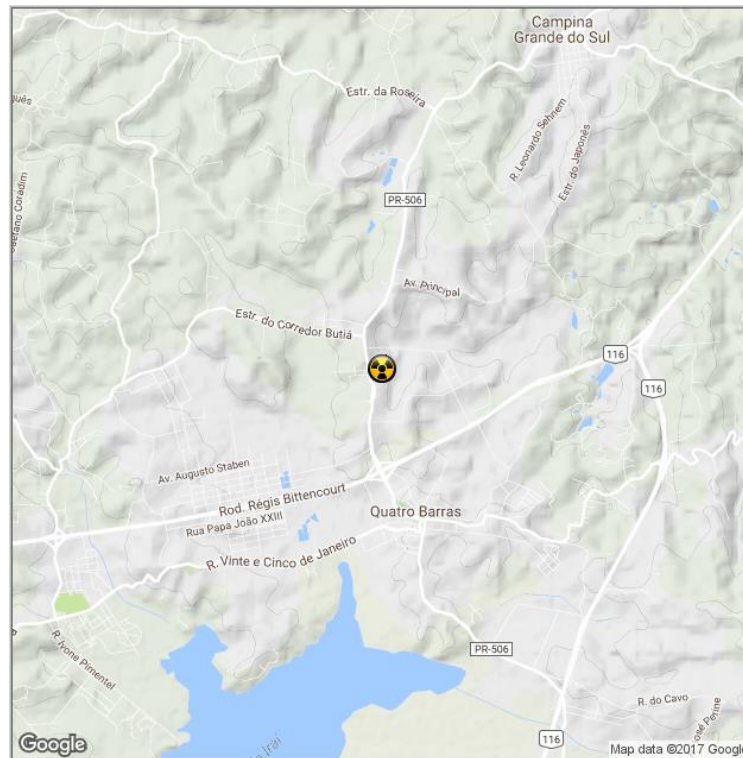


Figura 29 - Mapa de Campina Grande do Sul - Instalações Autorizadas – CNEN
Fonte: Autoria própria

Observando a Tabela 4, que contabiliza os radioisótopos utilizados pela Medicina Nuclear no estado do Paraná, em Campina Grande do Sul contempla um percentual abaixo da média do elemento Tecnécio no que diz respeito a média estadual. Os outros

elementos estão próximos à média das instalações autorizadas do estado. Em contrapartida, o Flúor, está acima da média das instalações autorizadas desta cidade.

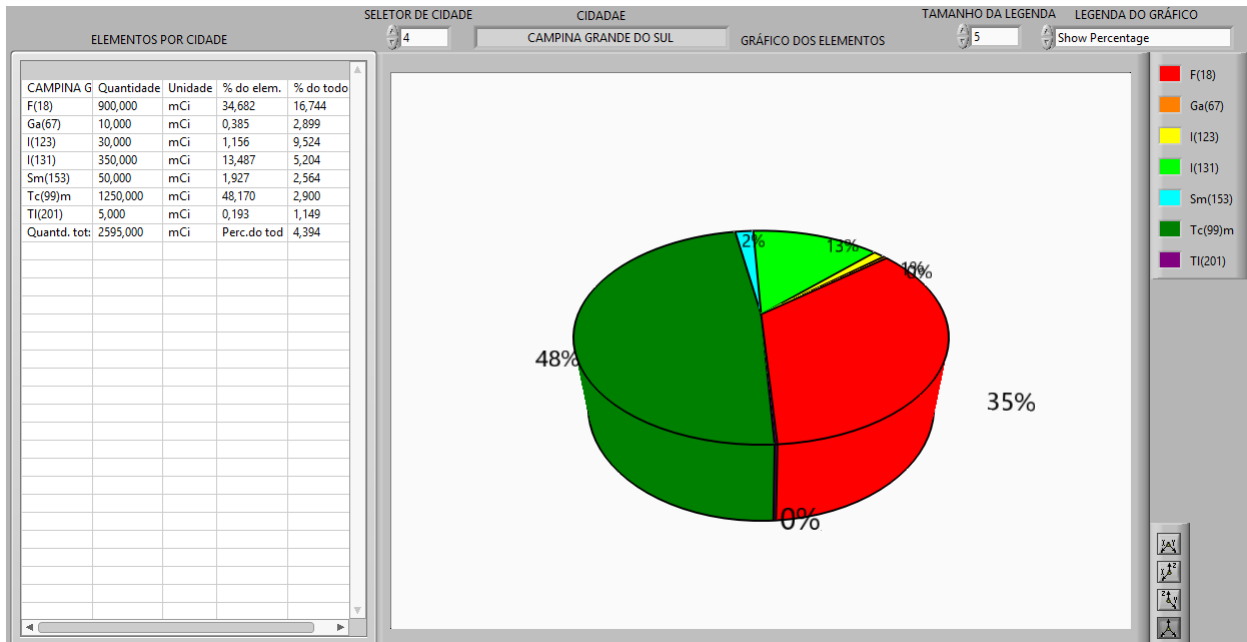


Figura 30 - Tabela e Gráficos de Campina Grande do Sul - Instalações Autorizadas - CNEN
Fonte: Autoria própria

4.2.6 Instalações Autorizadas de Londrina

A cidade de Londrina, que contém quatro instalações autorizadas, no que diz respeito a Medicina Nuclear, apresenta 16,1 % de todos os radioisótopo, da Medicina Nuclear, autorizado do estado do Paraná sendo o Tecnécio metaestável o radionuclídeo mais utilizado (64% de todos os elementos radioativos autorizados na Medicina Nuclear do município) conforme ilustrado pela Figura 31 e Figura 32, sendo os elementos $^{67}_{31}\text{Ga}$ (Gálio), $^{131}_{53}\text{I}$ (Iodo), $^{177}_{71}\text{Lu}$ (Lutécio), $^{153}_{62}\text{Sm}$ (Samário), $^{99m}_{43}\text{Tc}$ (Tecnécio), $^{201}_{88}\text{Tl}$ (Titânio), $^{223}_{88}\text{Ra}$ (Rádio), $^{51}_{24}\text{Cr}$ (Cromo), $^{123}_{53}\text{I}$ (Iodo), $^{111}_{49}\text{In}$ (Índio) e $^{18}_{9}\text{F}$ (Flúor) disponíveis. Ainda, a CNEN exige inspeção semanal destes elementos autorizados.

Se comparado com a capital do estado, Curitiba, a cidade de Londrina sendo a segunda maior do Paraná em instalações autorizadas da Medicina Nuclear, fica devendo apenas na falta do isótopo do Gálio ($^{67}_{31}\text{Ga}$) e um percentual menor que a média de Tecnécio 99m.

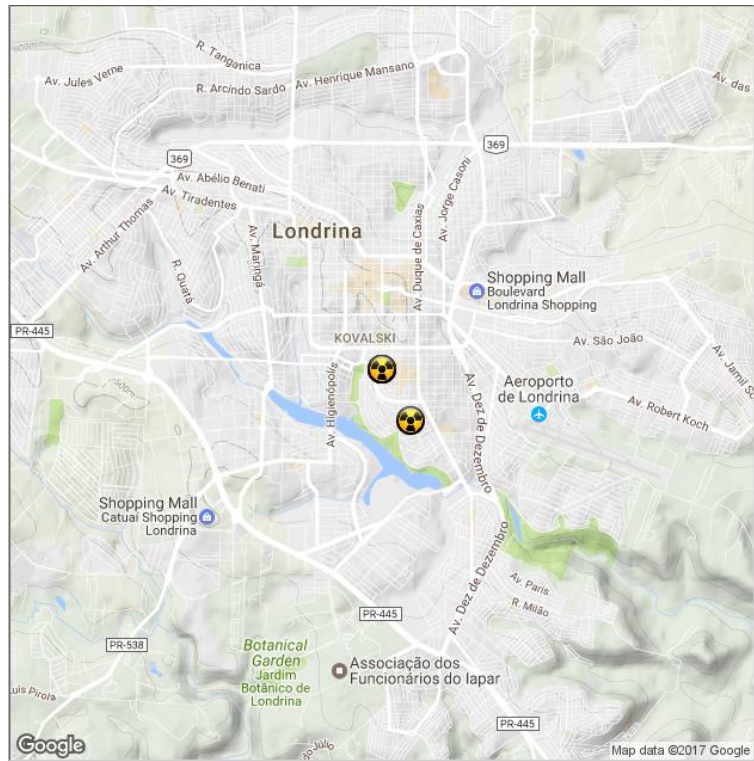


Figura 31 - Mapa de Londrina - Instalações Autorizadas - CNEN
Fonte: Autoria própria

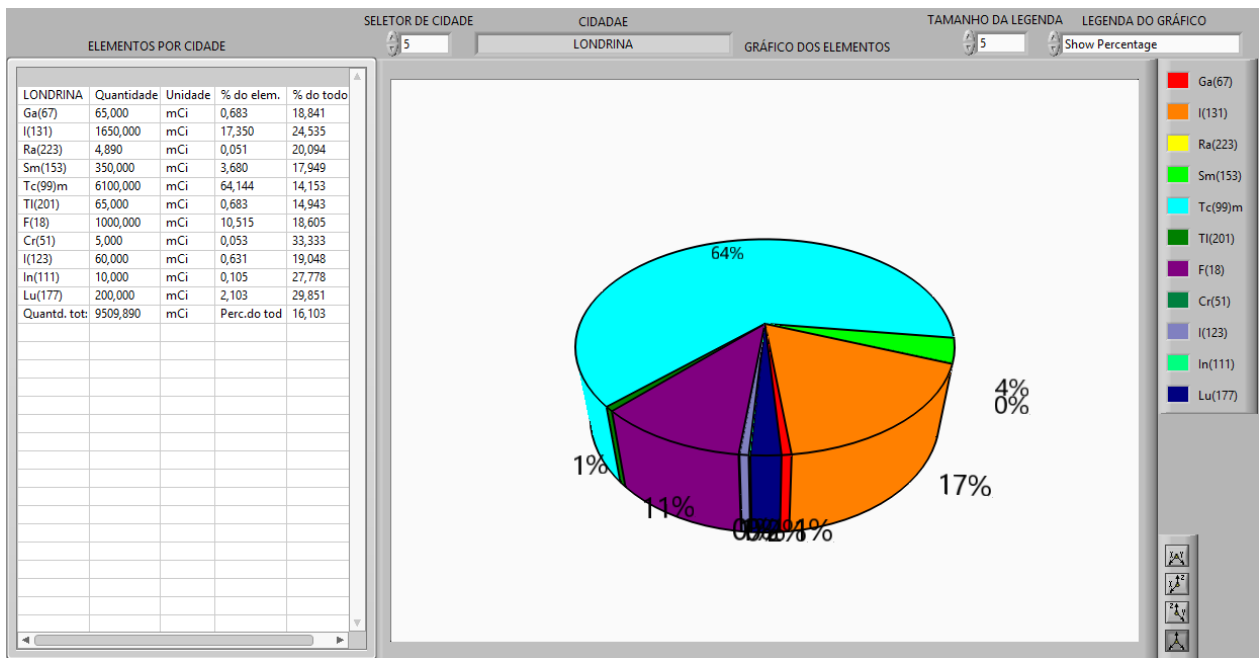


Figura 32 - Tabela e Gráficos de Londrina - Instalações Autorizadas - CNEN
Fonte: Autoria própria

4.2.7 Instalações Autorizadas de Ponta Grossa

Ponta Grossa, que contém uma instalação autorizada, no que diz respeito a Medicina Nuclear, apresenta 1,13 % de todos os radioisótopos, da Medicina Nuclear, autorizado do estado do Paraná sendo o Tecnécio metaestável o radionuclídeo mais utilizado (74% de todos os elementos radioativos autorizados na Medicina Nuclear do município) conforme ilustrado pela Figura 33 e Figura 34, sendo os elementos $^{67}_{31}\text{Ga}$ (Gálio), $^{131}_{53}\text{I}$ (Iodo), $^{153}_{62}\text{Sm}$ (Samário), $^{99m}_{43}\text{Tc}$ (Tecnécio), $^{201}_{82}\text{Tl}$ (Tlânio), $^{223}_{88}\text{Ra}$ (Rádio) e $^{123}_{53}\text{I}$ (Iodo) disponíveis. Ainda, a CNEN exige inspeção semanal destes elementos autorizados.

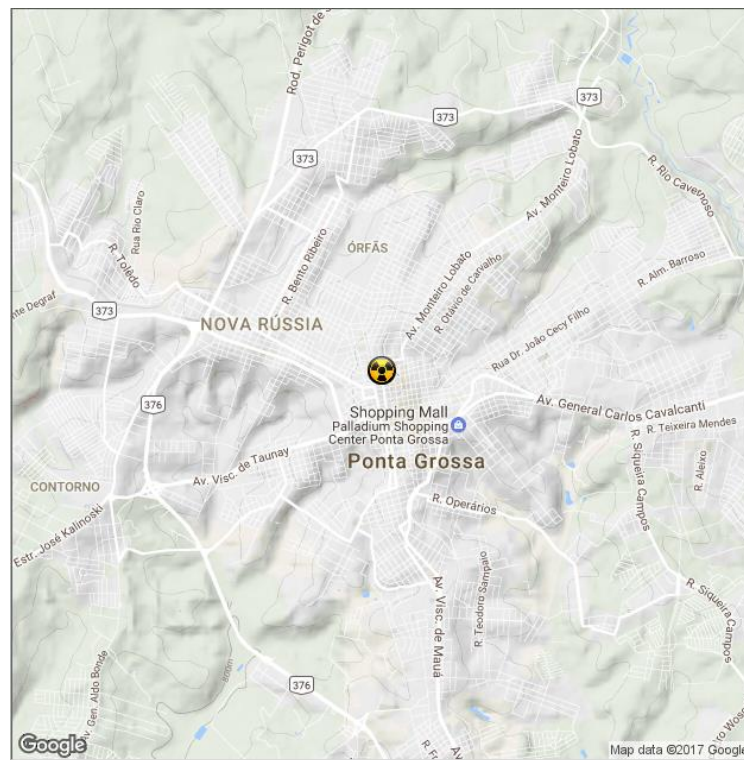


Figura 33 - Mapa de Ponta Grossa - Instalações Autorizadas – CNEN
Fonte: Autoria própria

Observando a Tabela 4, que contabiliza os radioisótopos utilizados pela Medicina Nuclear no estado do Paraná, Ponta Grossa é a cidade que menos tem radionuclídeos sendo apenas uma instalação autorizada, entretanto, a proporção dos elementos distribuídos está próxima a média estadual.

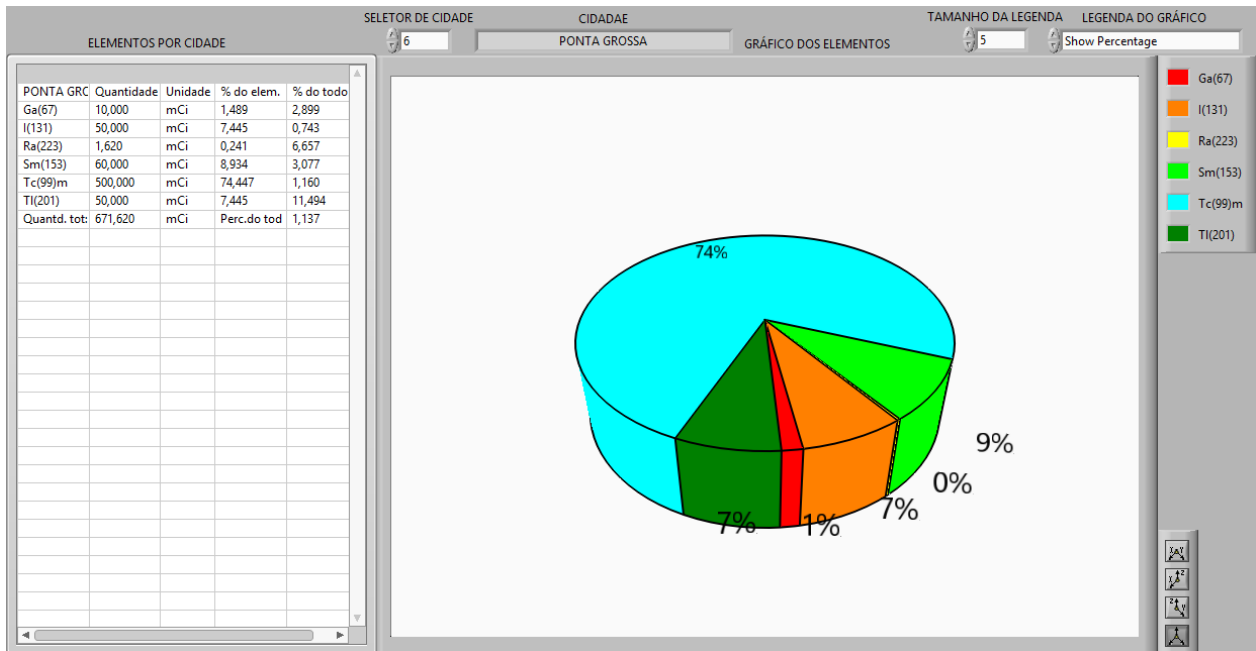


Figura 34 - Tabela e Gráficos de Ponta Grossa - Instalações Autorizadas - CNEN
Fonte: Autoria própria

4.2.8 Instalações Autorizadas de Foz Do Iguaçu

A cidade de Foz do Iguaçu, que contém uma instalação autorizada, no que diz respeito a Medicina Nuclear, apresenta 3,96 % de todos os radioisótopo, da Medicina Nuclear, autorizado do estado do Paraná sendo o Tecnécio metaestável o radionuclídeo mais utilizado (86% de todos os elementos radioativos autorizados na Medicina Nuclear do município) conforme ilustrado pela Figura 35 e Figura 36, sendo os elementos $^{67}_{31}\text{Ga}$ (Gálio), $^{131}_{53}\text{I}$ (Iodo), $^{153}_{62}\text{Sm}$ (Samário), $^{99m}_{43}\text{Tc}$ (Tecnécio), $^{201}_{22}\text{Ti}$ (Titânio), $^{223}_{88}\text{Ra}$ (Rádio) e $^{123}_{53}\text{I}$ (Iodo) disponíveis. Ainda, a CNEN exige inspeção semanal destes elementos autorizados.

Observando a Tabela 4, que contabiliza os radioisótopos utilizados pela Medicina Nuclear no estado do Paraná, Foz do Iguaçu têm um percentual superior dos elementos Tecnécio, Gálio-67 e Samário-153 no que diz respeito a média no estado, sendo o Iodo-131 abaixo da média estadual. Os outros elementos estão próximos à média das instalações autorizadas do estado.

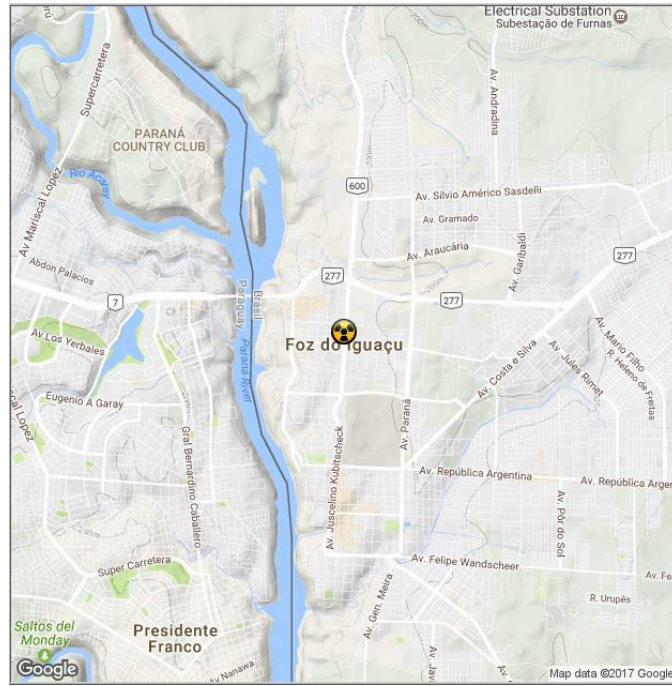


Figura 35 - Mapa de Foz do Iguaçu - Instalações Autorizadas – CNEN
Fonte: Autoria própria

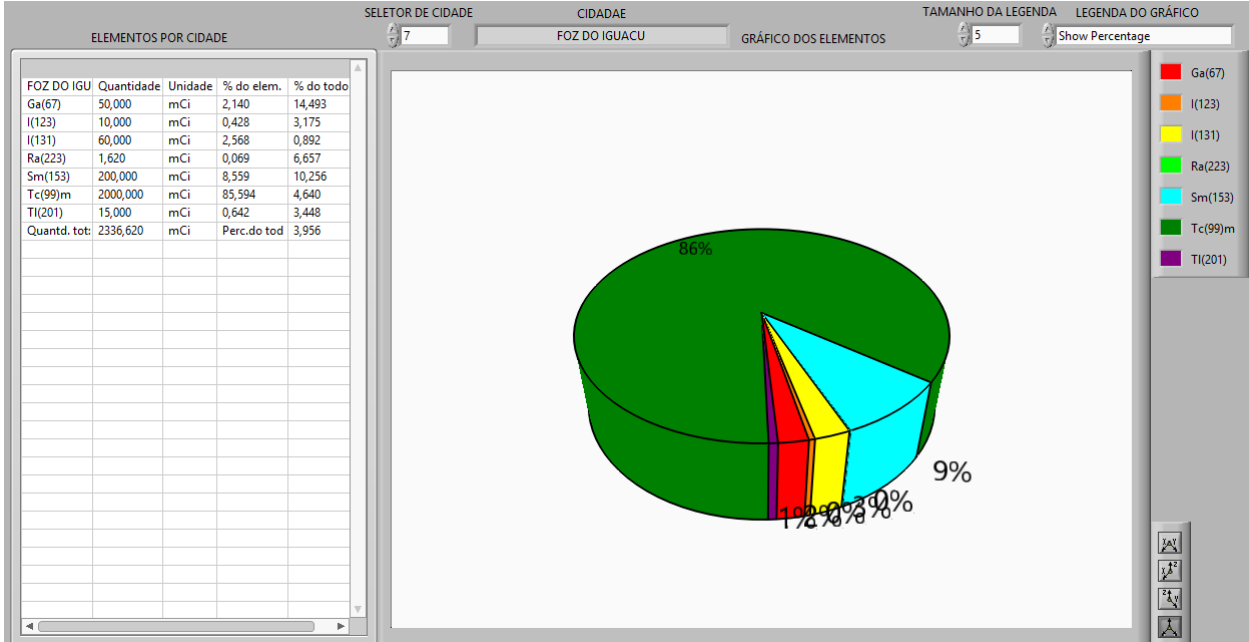


Figura 36 - Tabela e Gráficos de Foz do Iguaçu - Instalações Autorizadas - CNEN
Fonte: Autoria própria

4.2.9 Instalações Autorizadas de Pato Branco

Pato Branco, que contém uma instalação autorizada, no que diz respeito a Medicina Nuclear, apresenta 2.95 % de todos os radioisótopos, da Medicina Nuclear, autorizado do estado do Paraná sendo o Tecnécio metaestável o radionuclídeo mais utilizado (86% de todos os elementos radioativos autorizados na Medicina Nuclear do município) conforme ilustrado pela Figura 37 e Figura 38, sendo os elementos $^{67}_{31}\text{Ga}$ (Gálio), $^{131}_{53}\text{I}$ (Iodo), $^{153}_{62}\text{Sm}$ (Samário), $^{99m}_{43}\text{Tc}$ (Tecnécio), $^{201}_{80}\text{Tl}$ (Tlâmio), $^{223}_{88}\text{Ra}$ (Rádio) e $^{123}_{53}\text{I}$ (Iodo) disponíveis. Ainda, a CNEN exige inspeção semanal destes elementos autorizados.

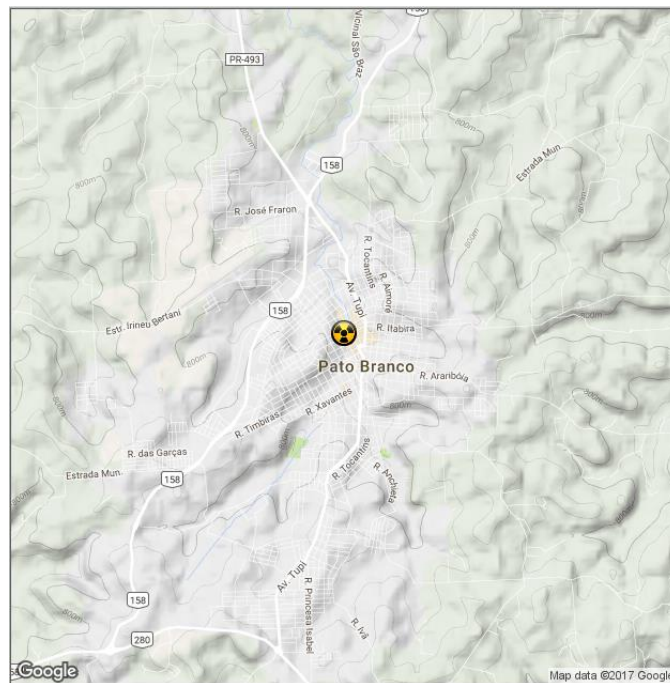


Figura 37 - Mapa de Pato Branco - Instalações Autorizadas – CNEN
Fonte: Autoria própria

De maneira semelhante a Foz do Iguaçu, observando a Tabela 4, que contabiliza os radioisótopos utilizados pela Medicina Nuclear no estado do Paraná, Pato Branco têm um percentual superior do elemento Tecnécio no que diz respeito a média no estado, sendo o Iodo-131 abaixo da média estadual. Os outros elementos estão próximos à média das instalações autorizadas do estado.

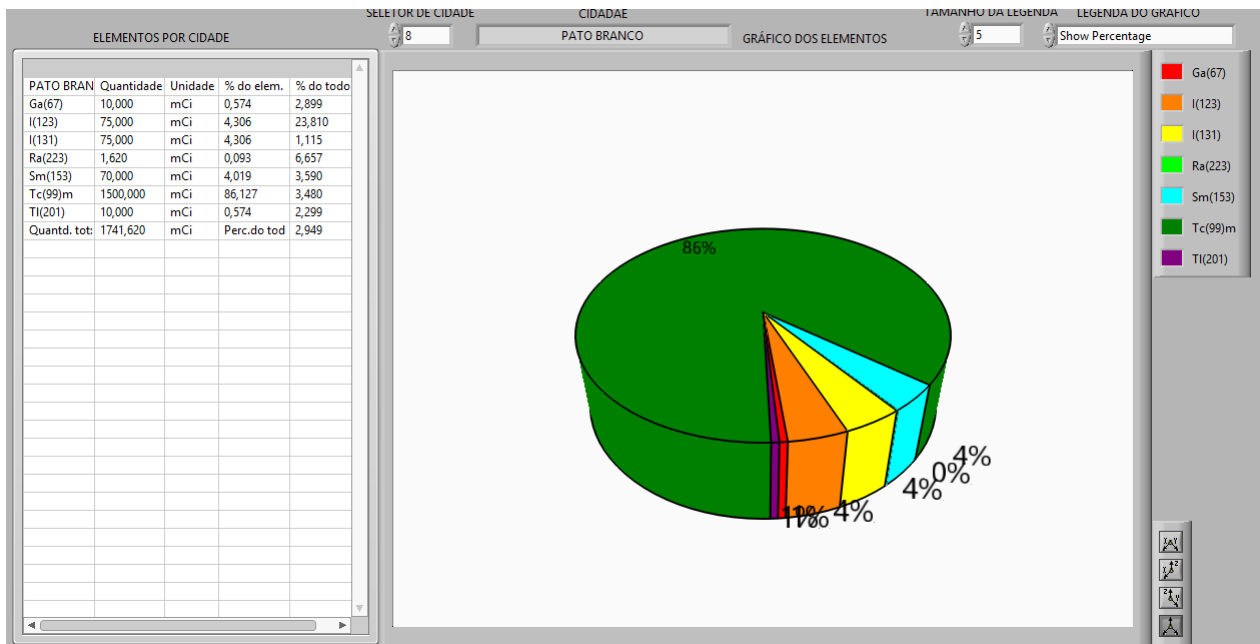


Figura 38 - Tabela e Gráficos de Pató Branco - Instalações Autorizadas – CNEN
Fonte: Autoria própria

4.2.10 Instalações Autorizadas de Umuarama

A cidade de Umuarama, que contém uma instalação autorizada, no que diz respeito a Medicina Nuclear, apresenta 2,7 % de todos os radioisótopo, da Medicina Nuclear, autorizado do estado do Paraná sendo o Tecnécio metaestável o radionuclídeo mais utilizado (78% de todos os elementos radioativos autorizados na Medicina Nuclear do município) conforme ilustrado pela Figura 39 e Figura 40, sendo os elementos $^{67}_{31}\text{Ga}$ (Gálio), $^{131}_{53}\text{I}$ (Iodo), $^{153}_{62}\text{Sm}$ (Samário), $^{99m}_{43}\text{Tc}$ (Tecnécio), $^{201}_{22}\text{Ti}$ (Titânio) e $^{123}_{53}\text{I}$ (Iodo) disponíveis. Ainda, a CNEN exige inspeção semanal destes elementos autorizados.

Observando a Tabela 4, que contabiliza os radioisótopos utilizados pela Medicina Nuclear no estado do Paraná, Umuarama apresenta uma distribuição dos radionuclídeos semelhante à média das instalações autorizadas do estado.

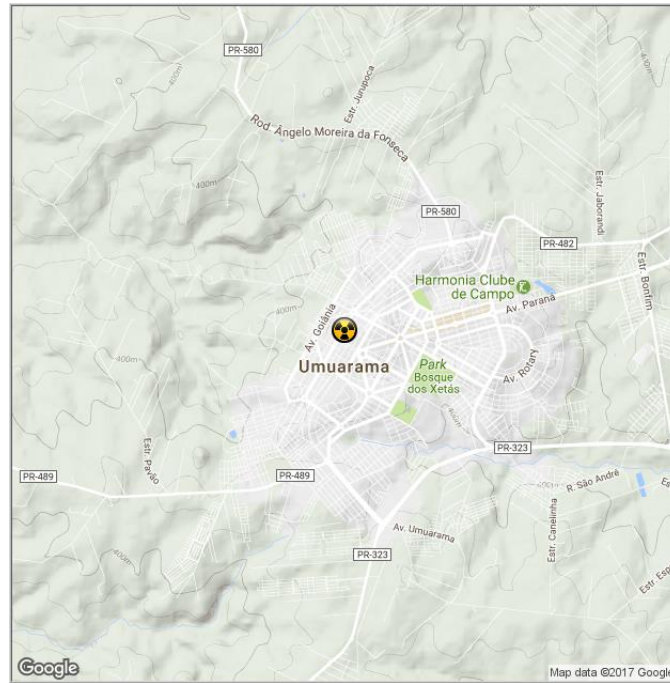


Figura 39 - Mapa de Umuarama - Instalações Autorizadas – CNEN
Fonte: Autoria própria

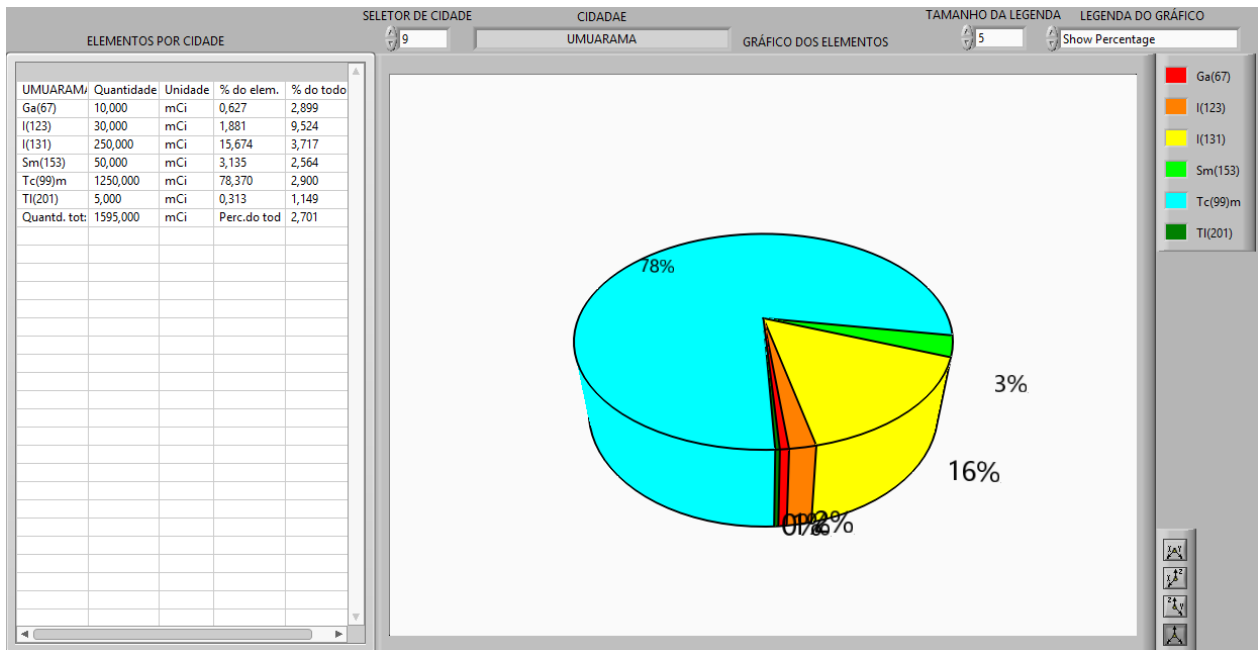


Figura 40 - Tabela e Gráficos de Umuarama - Instalações Autorizadas - CNEN
Fonte: Autoria própria

4.3 CONTRIBUIÇÕES E COMPARAÇÕES DO SISTEMA DESENVOLVIDO

Para mostrar a maneira em que o *software* e o mapeamento desenvolvidos podem contribuir com a sociedade faz-se a Tabela 5, que traz uma comparação entre o programa e os dados divulgados no *site* da CNEN, no que tange a logística de distribuição das informações referente aos radioisótopos utilizados na Medicina Nuclear do Paraná presentes no cadastro da página da *web* da CNEN.

Tabela 5 - Tabela comparativa *Software* desenvolvido e o cadastro do *site* da CNEN

	<i>Software</i> Desenvolvido	Cadastro do <i>Site</i> da CNEN
Localização geográfica dos Radioisótopos	SIM	NÃO
Localização geográfica das Instalações Autorizadas	SIM	NÃO
Contabilização dos radioisótopos utilizados no Paraná	SIM	NÃO
Contabilização dos radioisótopos utilizados em cada cidade do Paraná	SIM	NÃO
Classificação por matrícula das Instalações autorizadas	SIM	SIM
Rapidez em localizar uma Instalação Autorizada	ALTA	BAIXA
Logística de distribuição de Informações	ACESSÍVEL	COMPLEXA

Fonte: Autoria própria

Ao analisar a tabela acima, nota-se que com o *software* desenvolvido há uma acessibilidade maior às informações referentes aos radioisótopos utilizados na Medicina Nuclear paranaense, no que se refere as instalações autorizadas. Por tanto, toda a sociedade envolvida neste assunto, ao explorar este programa, poderá sair ganhando nos quesitos já listados na Tabela 5.

4.4 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O desenvolvimento do trabalho ocorreu de forma satisfatória, com um *software* bem elaborado e de fácil manuseio, porém o autor encontrou algumas dificuldades que serão listadas a seguir com suas respectivas soluções.

a) localizar as informações referentes aos radioisótopos da medicina nuclear no *site* da CNEN. Foi sanado com uma busca mais avançada no mapa do *site* da CNEN;

b) coletar os dados referentes ao estado do Paraná somente. Foi solucionado, utilizando o localizador rápido do navegador de *internet*;

c) elaborar a revisão bibliográfica do trabalho, tendo em vista a complexidade de alguns assuntos abordados. Foi sanado com a ajuda da professora orientadora, que forneceu o material de apoio necessário;

d) desenvolver um *software* que permita a elaboração de um mapeamento inteligente com os dados coletados do *site* da CNEN. Resolvido utilizando o sistema de mapeamento livre disponível pelo Google em conjunto com o ambiente de programação *LabVIEW*;

4.5 CONTRIBUIÇÕES DO ESTUDO

Além de contribuir para a formação acadêmica do autor e a obtenção do título de Engenheiro de Segurança do Trabalho, este estudo ajudou nos seguintes aspectos.

a) aprimoramento das noções sobre os raios X, radiações alfa, beta e gama;

b) aprimoramento referente às noções da história da radioatividade do Brasil e no mundo;

c) conhecimento da localização dos radioisótopos no Paraná;

d) noções de funcionamento de alguns exames que usam os radiofármacos e radioisótopos;

e) melhora dos conhecimentos das normas brasileiras referentes à medicina nuclear e dos elementos radioativos envolvidos;

f) incremento do conhecimento em programação envolvendo o sistema de mapas disponível pelo Google.

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos pelo *software* desenvolvido, tanto no mapeamento inteligente da distribuição dos radioisótopos referentes a Medicina Nuclear, quanto na parte de contabilização desses elementos radioativos, este trabalho atendeu a todos os seus objetivos, no que diz respeito ao geral e aos específicos.

O primeiro dos objetivos específicos, o de classificar os radioisótopos utilizados pela Medicina Nuclear no Paraná apresentando algumas medidas cautelares, foi atendido com sucesso, tendo em vista que nesta monografia obteve-se os detalhes de cada radioisótopo, como o seu número atômico, número de massa, tempo de meia-vida (da maioria deles presente na revisão bibliográfica) e uma tabela com as medidas cautelares recomendadas pela CNEN.

O segundo, o de contabilizar a quantidade utilizada de cada radioisótopo da Medicina Nuclear do Paraná (referentes as instalações autorizadas), foi atendido por meio do *software* desenvolvido propriamente dito, no qual há as opções estatísticas referentes aos dados inseridos no programa, que, no caso em questão, são os radionuclídeos das instalações autorizadas pela CNEN referentes a Medicina Nuclear do Paraná.

O terceiro, referente a elaboração de um mapa inteligente com os elementos radioativos utilizados por região da Medicina Nuclear paranaense, foi concluído com o programa propriamente dito, uma vez que o mesmo contempla a plataforma de mapeamento para desenvolvimento de aplicativos gratuita do Google *maps*.

O quarto, que destina a montagem de uma comparação entre o *software* em conjunto com o mapeamento desenvolvido com a logística e a distribuição das informações presentes no cadastro do *site* da CNEN, referentes aos radioisótopos utilizados na Medicina Nuclear do Paraná, foi atendido completamente, uma vez que neste trabalho elaborou-se uma tabela contendo esta comparação propriamente dita.

No que tange o objetivo geral desta monografia, o de elaborar um *software* que apresente um mapeamento inteligente dos locais em que são distribuídos os elementos radioativos na Medicina Nuclear paranaense visando auxiliar a fiscalização e o atendimento das normas cabíveis pelas instituições de maneira geral, foi atendido conforme as expectativas, uma vez que, com a ferramenta desenvolvida há uma

facilidade em localizar as instalações autorizadas e saber o tipo de proteção individual e coletiva dos locais em questão.

No que diz respeito aos trabalhos futuros, sobre este sistema de mapeamento por meio de um software, apresentado nesta monografia, surge algumas ideias, que serão listadas a seguir.

a) implementação do sistema do *software* desenvolvido e do mapeamento presente no mesmo para todo território brasileiro;

b) avanço deste estudo para a área industrial;

c) aprimoramento do sistema desenvolvido, utilizando o *software* do Google *Earth*.

Por fim, esta monografia foi de grande importância para o autor, uma vez que, permitiu a criação de alguns trabalhos futuros que possam vir a se tornar uma dissertação de mestrado. Além disso, o sistema desenvolvido poderá trazer grandes contribuições para a sociedade brasileira no quesito segurança no trabalho, fiscalização das normas, e transparência de informações referentes aos radioisótopos utilizados na Medicina Nuclear.

REFERÊNCIAS

- ALESSANDRA, N. Imagens que mudaram o mundo: os primeiros raios-X. **hype.science**, 2010. Disponível em: <<http://hypescience.com/27195-primeiros-raios-x/>>. Acesso em: 28 fev. 2017.
- ANDRADE, A. M. R. **A operação nuclear 50 anos rumo à autonomia**. Rio de Janeiro: Mast, 2006.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR-32. **Segurança e Saúde no Trabalho em Serviços de Saúde**, 2011. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR32.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2017.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR-15. **Atividades e Operações Insalubres**, 2014. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR15/NR15-ANEXO15.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2017.
- CESAR, P. Portal de Estudos em Química - radioatividade. **Radioatividade**, 2010. Disponível em: <<http://www.profpc.com.br/radioatividade.htm>>. Acesso em: 15 mar. 2017.
- COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. CNEN NN 3.05. **Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Medicina Nuclear**, 2013. Disponível em: <<http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm305.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2017.
- COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. CNEN NN 3.01. **Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica**, 2014. Disponível em: <<http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm301.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2017.
- COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Instalações autorizadas. **Cnen**, 2017. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/instalacoes-autorizadas>>. Acesso em: 23 jan. 2017.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos da Física**. 8. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., v. 4 óptica da física moderna, 2009.

KHEMIS. Espectro EM. **Wikimedia Commons**, 2015. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Espectro_EM_pt.svg>. Acesso em: 25 mar. 2017.

LIMA, R. D. S.; AFONSO, J. C.; PIMENTEL, L. C. F. Raios-x: fascinação, medo e ciência. **Scielo**, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422009000100044>. Acesso em: 28 fev. 2017.

NOBELPRIZE. The Nobel Prize in Physics 1901. **Nobel prize**, 2017. Disponível em: <http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1901/index.html>. Acesso em: 28 fev. 2017.

OKUNO, E.; YOSHIMURA, E. **Física das Radiações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

ONG MULHER CONSCIENTE. Radioterapia para o cancer de colo de utero. **Mulher Consciente**, 2016. Disponível em: <<http://www.mulherconsciente.com.br/noticias/radioterapia-para-o-cancer-de-colo-de-utero/>>. Acesso em: 15 mar. 2017.

VALVERDE, N. et al. Uma exposição acidental aos raios X de um difratômetro. **Scielo Brasil**, 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-42302000000100013>. Acesso em: 09 mar. 2017.