



INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Mestrado Profissional em Tecnologia das Radiações em Ciências da Saúde

**Avaliação da percepção pública sobre a radioatividade para criação de
cartilha educativa**

ALESSANDRA FABIANA AGUIAR MARQUES FONTOLAN

**Dissertação apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do Grau de Mestre
Profissional em Tecnologia das Radiações em
Ciências da Saúde na Área de Concentração
Processos de Radiação na saúde**

**Orientadora:
Profa. Dra. Carla Daruich de Souza**

**São Paulo
2022**

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Mestrado Profissional em Tecnologia das Radiações em Ciências da Saúde

**Avaliação da percepção pública sobre a radioatividade para criação de cartilha
educativa**

Versão corrigida

ALESSANDRA FABIANA AGUIAR MARQUES FONTOLAN

**Dissertação apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do Grau de Mestre
Profissional em Tecnologia das Radiações em
Ciências da Saúde na Área de Concentração
Processos de Radiação na Saúde**

**Orientadora:
Profa. Dra. Carla Daruich de Souza**

**São Paulo
2022**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Como citar:

FONTOLAN, A. F. A. M. **AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO PÚBLICA SOBRE A RADIOATIVIDADE PARA CRIAÇÃO DE CARTILHA EDUCATIVA**. 2022. 107 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia das Radiações em Ciências da Saúde), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN, São Paulo. Disponível em: <<http://repositorio.ipen.br/>> (data de consulta no formato: dd/mm/aaaa)

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de geração automática da Biblioteca IPEN, com os dados fornecidos pela autora.

Fontolan, Alessandra Fabiana Aguiar Marques
AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO PÚBLICA SOBRE A RADIOATIVIDADE PARA CRIAÇÃO DE CARTILHA EDUCATIVA / Alessandra Fabiana Aguiar Marques Fontolan; orientadora Carla Daruich de Souza. -- São Paulo, 2022.
107 f.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia das Radiações em Ciências da Saúde (Processos de Radiação na Saúde) -- Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2022.

1. Radioatividade. 2. Aplicações da radiação. 3. Energia nuclear. 4. Cartilha educativa. 5. Percepção da radiação. I. Souza, Carla Daruich de, orient. II. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu marido Valter, que deu todo o suporte para que eu pudesse desenvolver este projeto e a minha orientadora, Dra. Carla, que mesmo do outro lado do mundo, foi uma fonte de motivação e incentivo ao longo de todo projeto.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por estar sempre junto comigo e ter me dado a força necessária para concluir este trabalho.

Meu marido por fazer parte da minha vida.

A minha orientadora Profa. Dra. Carla, minha inspiração.

A minha família, que entendeu meu afastamento para concluir esse projeto.

A minha irmã Adriana, que me socorreu nas horas de desespero.

As crianças da minha vida, que colaboraram com a “tia” “Madrinha” para eu estudar.

Aos meus cachorrinhos Totó e Fred pela companhia no computador.

Aos meus professores do Mestrado, que me mostraram um mundo novo de conhecimento.

Aos meus colegas de classe.

A equipe do IPEN.

Ao IPEN.

EPÍGRAFE

Você não precisa ser um gênio para fazer coisas geniais. Você precisa de criatividade, dedicação nos estudos, persistência, multidisciplinaridade e uma boa dose de loucura.

Carla Daruich de Souza

RESUMO

MARQUES FONTOLAN, F.A. *Avaliação da percepção pública sobre a radioatividade para criação de cartilha educativa*. 2022. 107 p Tese (Mestrado Profissional em Tecnologia das Radiações em Ciências da Saúde), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP, São Paulo.

A energia nuclear divide a opinião pública com suas consideradas boas e más aplicações. Quase imediatamente após a descoberta da radiação, elementos radioativos purificados pelo casal Curie foram utilizados em tratamentos de saúde, mas com as bombas nucleares de Hiroshima e Nagasaki, o ramo ficou marcado pela má opinião pública, sendo relacionado com a morte e a destruição. Este trabalho propõe mudar um pouco desse paradigma. Através de um questionário foi avaliada a percepção e o conhecimento público sobre a radioatividade. O questionário foi respondido por 488 pessoas e destas responderam que não tem conhecimento sobre radioatividade, 72,13 % sabem um pouco sobre o tema, mas apenas 39,34 % sabem a diferença entre radiações ionizantes e não ionizantes. Apesar de 94,4 % dos entrevistados já ouvirem falar em doença causadas pela radiação, a maioria (58,89 %) respondeu que não sabe se ela é prejudicial à saúde e 215 pessoas responderam que já ouvirem falar em acidentes nucleares. Nas questões sobre o uso das radiações no dia a dia, a maioria das pessoas colocaram exemplos relacionados ao diagnóstico e tratamento de doenças, mas 70 % assinalaram micro-ondas, que usa uma radiação de baixa frequência, além de respostas incorretas como 68,4 % ressonância magnética, 31,6 % ultrassom, 17,3 % usina hidroelétrica, demonstrando de maneira geral a falta de informação sobre o tema. Nas perguntas de opinião sobre radiação, 55,94 % têm medo da energia nuclear, 55,76 % não apoiam a construção de mais reatores nucleares no Brasil, mas 96,1 % acham que as pesquisas nas áreas de radiação devem continuar, 75,41 % acham que o Brasil deve instalar mais equipamentos que utilizem radiações na medicina e 58,76 % acham que a radiação é segura. Na pergunta sobre uma possível mudança de opinião 76,84 % responderam sim ou talvez, demonstraram interesse em obter mais conhecimento nessa área, justificando a confecção da cartilha. Após a análise dos resultados do questionário, tópicos foram selecionados para a construção de uma cartilha educativa. Ela foi elaborada com um amplo conteúdo sobre a energia nuclear, didática e de fácil entendimento para a disseminação de conhecimento das aplicações das radiações. Um site gratuito foi criado para download do material.

Palavras-chave: radioatividade, aplicações da radiação, energia nuclear, cartilha educativa, percepção da radiação.

ABSTRACT

MARQUES FONTOLAN, F.A. *Assessment of the public perception about radioactivity for the create of an educational booklet*. 2022. 107 p. Thesis (Professional Master's in Radiation Technology in Health Sciences), Nuclear and Energy Research Institute, IPEN-CNEN/SP, São Paulo - Brazil.

Nuclear energy divide's public opinion with its considered good and bad applications. Almost immediately after the discovery of radiation, radioactive elements purified by the Curies were used in health treatments, but with the nuclear bombs of Hiroshima and Nagasaki, the field was marked by bad public opinion, being related to death and destruction. This work proposes to change a little of this paradigm. Through a questionnaire, the perception and public knowledge about radioactivity was evaluated. The questionnaire was answered by 488 people and of these 12.71 % answered that they have no knowledge about radioactivity, 72.13 % know a little about the subject, but only 39.34 % know the difference between ionizing and non-ionizing radiation. Although 94.4 % of those interviewed had already heard about illness caused by radiation, the majority (58.89 %) answered that they do not know if it is harmful to health and 215 people responded that they had heard about nuclear accidents. In the questions about the use of radiation in everyday life, most people put examples related to the diagnosis and treatment of diseases, but 70 % indicated microwaves, which uses low-frequency radiation, in addition to incorrect answers such as 68.4 % magnetic resonance, 31.60 % ultrasound, 17.30 % hydroelectric plant, demonstrating in general the lack of information on the subject. In the opinion questions about radiation, 55.94 % are afraid of nuclear energy, 55.76 % do not support the construction of more nuclear reactors in Brazil, but 96.1 % think that research in the areas of radiation should continue, 75.41 % think that Brazil should install more equipment that uses radiation in medicine and 58.76 % think that radiation is safe. In the question about a possible change of opinion, 76.84 % answered yes or maybe, they showed interest in obtaining more knowledge in this area, justifying the preparation of the booklet. After analyzing the results of the questionnaire, topics were selected for the construction of an educational booklet. It was prepared with a broad content on nuclear energy and made easy to understand for the dissemination of knowledge of radiation applications. A free website was created for downloading the material.

Keywords: radioactivity, radiation applications, nuclear energy, educational booklet, radiation perception.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVO	11
2.1 Objetivos específicos	11
3 JUSTIFICATIVA	12
4 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	13
4.1 Contexto histórico.....	13
4.2 A radiação na medicina e na ciência	14
4.3 Educação do público	19
5 METODOLOGIA	22
5.1 O questionário	22
5.2 A divulgação.....	28
5.3 A análise dos dados e estatística	29
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
6.1 A análise descritiva dos dados	30
6.2 Análise estatística	43
6.3 A Cartilha.....	52
6.4 O site	54
6.5 Considerações finais	59
7 CONCLUSÃO	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
APÊNDICE	67

1 INTRODUÇÃO

As bombas atômicas que devastaram Hiroshima e Nagasaki ficaram na memória de todos e com elas o poder devastador que a energia nuclear pode ter ^[1]. Até os dias de hoje, as pessoas continuam a receber informações negativas da radioatividade pela mídia, que trata temas científicos de maneira superficial e tendenciosa, levando populações adultas a acreditarem em inverdades científicas e a perda do interesse pela ciência ^[2].

O aumento de pessoas e organizações que promovem suas ideologias acima das evidências científicas impacta diretamente na credibilidade da população e causa uma variedade de movimentos de protestos com foco no meio ambiente, tecnologia da informação, cuidados de saúde e medicamentos sem embasamento científico ^[2]. Os cientistas têm um papel importante em reverter a situação, criando mecanismos que levem a informação correta para a população.

O estudo da radioatividade no Brasil faz parte da disciplina de Física das Radiações, que é optativa em quase todos os cursos de superiores Física. Seu estudo no nível médio é pouco administrado por seus fundamentos serem difíceis de explicar, necessitarem de conhecimento multidisciplinar e competem por espaço com outros tópicos como mecânica e eletromagnetismo. No fim, não há horas aulas suficientes para a correta abordagem do tópico ^[1].

Críticas a metodologia de ensino atual que apresenta a ciência com termos altamente científicos e com abordagem superficial dos conhecimentos básicos sobre radiação reflete a pouca frequência em que questões com esse tema cai em grandes vestibulares no Brasil. A utilização das aplicações pacíficas da energia nuclear como base para o ensino é a melhor técnica de educação e meio de propagação dessas tecnologias. O planejamento de material didático a partir do conhecimento da opinião geral sobre o tema estabelece maior diálogo, explorando pontos de vista diferentes, com ideias informais para interpretar a realidade presente e promover esclarecimento sobre as novas tecnologias nucleares ^[3].

A maioria das pessoas veem a ciência como uma matéria em que se decora nomes para testes, para depois serem esquecidos, e que a ciência em si

deve ser deixada para os cientistas. Mas à medida que a pesquisa científica acelera, a população tem que lidar cada vez mais com questões científicas que impactam no seu cotidiano. A tomada de decisões de políticas públicas depende de informações completas para a população se engajar como um pensador informado e independente [2].

A divulgação da ciência possibilita que a população identifique o quanto ela está presente no seu dia a dia e estimula estudantes a tornar-se pesquisadores, além de que sociedades com mais conhecimento podem tomar melhores decisões para o futuro. O Brasil não tem uma política ampla para a popularização da ciência [4], por isso é de extrema importância rever o currículo escolar e elaborar novas formas de divulgação científica de uma forma simples mostrando o impacto da ciência no cotidiano das pessoas [2].

Descobrir através de perguntas o que as pessoas acham de determinada tecnologia, identificar suas fontes de informação, explorar sua lógica e opinião, para depois realizar um trabalho de conscientização e educação, no qual envolva o público e esclareça principalmente suas principais dúvidas é de extrema importância para a área [5].

2 OBJETIVO

O Objetivo desse trabalho é utilizar os resultados de um questionário para construir uma cartilha educativa com o intuito de divulgar as aplicações da energia nuclear.

2.1 Objetivos específicos

Os Objetivos específicos são:

1. Por meio de um questionário:
 - Identificar a opinião pública sobre a radioatividade;
 - Nível de conhecimento da aplicação da radioatividade;

2. Com os resultados do item 1:
 - Realizar análise estatística dos dados, buscando criar ligações entre características;
 - Utilizar dos dados para elaborar a cartilha educativa didática e de fácil entendimento focando o uso pacífico da física nuclear;
 - Divulgar a cartilha nas redes sociais e disponibilizá-la de forma gratuita por meio de website próprio;

3 JUSTIFICATIVA

As contribuições pretendidas do trabalho são:

- **Impacto:** identificando o conhecimento e preconceito que um determinado grupo tem em relação a radioatividade pode-se através da divulgação mudar a maneira como as pessoas enxergam o ramo, criando futuros aliados, estimular novas pesquisas e investimentos na área.
- **Aplicabilidade:** a divulgação do conhecimento é extremamente importante para que o público geral se muna de informações confiáveis e de qualidade. O conhecimento sobre radiação e proteção radiológica traz mais segurança para profissionais da área da saúde e pacientes e garante que mais recursos sejam exigidos para a área.
- **Inovação:** o material tem a finalidade de promover uma opinião mais positiva sobre o uso da radiação. Ele será divulgado de forma gratuita em site próprio.
- **Complexidade:** análise estatísticas dos questionários e preparação e divulgação da cartilha.

4 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

4.1 Contexto histórico

A explosão do reator nuclear de Chernobyl, na Ucrânia em 1986, liberou uma quantidade de material radioativo que contaminou uma grande área da antiga União Soviética e Europa. Uma área de 30 km em volta do reator acidentado foi evacuada e continua radioativa até hoje e só será segura para a vida humana daqui a 20 mil anos ^[1]. Tudo isso é e foi bem reportado pela mídia. Recentemente o tema retornou à evidência com a série Chernobyl produzida pela HBO. Em texto divulgado informalmente o Professor Doutor Luiz A. Terremoto do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares analisou a série e fez sérias críticas de como a física nuclear e das radiações foi apresentada. Por exemplo, ele ressaltou que a série dá a entender que a radiação se comporta como uma moléstia contagiosa ^[6].

Em 1987 na cidade de Goiânia dois catadores de papel acharam um equipamento de radioterapia abandonado e o venderam a um ferro velho como sucata. Violaram a blindagem de chumbo contendo uma pastilha de césio-137, e pedacinhos dessa fonte que emitiam uma luz azulada foram distribuídos, espalhando uma contaminação que causou quatro mortes, evacuação de 41 casas contaminadas e um volume total de 3.500 m³ rejeitos radioativos ^[1].

O último grande acidente nuclear que ocorreu no Japão, em 2011 na Usina Nuclear de Fukushima Daiichi gerou novas discussões sobre o uso de reatores de potência para a geração de energia elétrica. Iniciado por um tsunami causado pelo terremoto de Tohoku, deixou a usina sem energia e desativou os sistemas de resfriamento dos reatores, resultando em três colapsos nucleares e a liberação de material radioativo. A maioria da radiação acabou sendo direcionada para o Oceano Pacífico e os materiais contaminados permanecerão radioativos por 100.000 anos ^[7].

Esses acidentes nos mostram como é necessário um extremo cuidado no uso das radiações, mas ela está próxima de nossa vida de muitas outras maneiras positivas. Pode-se citar seu uso na irradiação de alimentos, que permite a conservação por mais tempo, na verificação de integridade de

materiais e equipamentos, esterilização de dispositivos odontológicos e hospitalares, além da inspeção de bagagens em aeroportos, imprescindíveis para a segurança [1]. Pouco também se fala sobre os novos avanços científicos dos reatores nucleares e da aplicação da física nuclear em dispositivos lançados ao espaço pelas principais agências de exploração espacial.

4.2 A radiação na medicina e na ciência

Na área da saúde o mais antigo e conhecido uso radiação ionizante é a radiografia, que através da emissão raios X produz imagens internas do corpo. Esses raios atravessam o corpo, sendo mais absorvidos pelas partes mais densas como os ossos e dentes, e menos em tecidos moles e órgãos, permitindo a formação de uma imagem onde é possível distinguir essas estruturas. Para melhor visualização de alguns órgãos do corpo é administrado um contraste, para absorver mais ou menos raios X, no caso de compostos de iodo ou bário, bons absorvedores e ar, pouco absorvedor [1].

A fluoroscopia fornece imagens em movimento e em tempo real do interior do corpo, a partir da emissão de raios X de um Fluoroscópio, permitindo compreender movimentações orgânicas internas, mediante o uso de contrastes, seguindo o direcionamento de um instrumento no interior do corpo ou de um cateter que esteja sendo introduzido nos vasos sanguíneos, permitindo uma visualização de vários sistemas orgânicos. A fluoroscopia pode ser usada também em arteriografia, punção lombar, colocação intravenosa de cateteres em outros órgãos como o coração, aparelho urinário (urografia excretora), útero (histerossalpingografia) e biópsias [8].

A mamografia (radiologia de mama) é feita por um equipamento específico, o mamógrafo, onde são utilizados raios X com uma energia baixa, capaz de uma absorção diferencial que possibilita a visualização dos músculos e estruturas adiposas que formam a mama [1]. Ela é o método mais importante, tanto no rastreamento quanto no diagnóstico do câncer de mama, recomendada pela Sociedade Brasileira de Mastologia para mulheres entre 40 e 60 anos. A Tomossíntese ou Mamografia 3D utiliza-se mamógrafo digital em que o tubo de raios-X faz uma trajetória em forma de arco sobre a mama comprimida, em

ângulos variáveis, obtendo-se projeções mamográficas com baixa dose de radiação. Essas projeções são reconstruídas utilizando a tecnologia digital similar à tomografia, exibindo a mama em cortes de 1,0 mm de espessura. Essas imagens são enviadas para uma estação de trabalho com monitores de alta resolução, e analisadas de modo dinâmico em 3D, em conjunto com a mamografia 2D permitindo a obtenção de vários planos da mama melhorando a visualização de estruturas suspeitas ou ocultas pela sobreposição de tecidos mais densos [9].

A tomografia computadorizada permite a obtenção de uma série de radiografias em múltiplos ângulos por uma fonte e um tubo detector de raios X dentro do equipamento. Com as informações, é possível realizar uma reconstituição tridimensional da imagem por computação, possibilitando a visualização da imagem num monitor de vídeo em fatias sem sobreposição de órgãos, com a reconstituição em três dimensões oferecendo uma diferenciação melhor entre as várias densidades de tecidos moles. Ela é o exame padrão para a maioria das estruturas intracranianas, de cabeça e pescoço, intratorácicas e abdominais e é o exame inicial realizado antes da radioterapia [10].

A Medicina Nuclear usa fontes radioativas não seladas, ou seja, os próprios radioisótopos que ligados a moléculas de interesse biológico formam o radiofármaco que emissor de radiação. O mapeamento da distribuição do material dentro do corpo do paciente usando um detector externo, como uma câmara de cintilação (cintilografia) ou um tomógrafo por emissão de pósitrons (PET) permite o diagnóstico de várias patologias. Essas fontes radioativas têm meia vida curta e são eliminadas pouco tempo depois da realização do procedimento. Ela é aplicada no tratamento de várias doenças como hipertireoidismo, dores ósseas, diversos tipos de câncer e tumores específicos e no diagnóstico de doenças como a embolia pulmonar, infecções agudas, infarto do miocárdio, câncer, obstruções renais, demências entre outros. O material tem meia-vida curta, passando rapidamente pelo corpo do paciente [11].

A Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET CT) é um exame capaz de avaliar alterações metabólicas e funcionais junto com a anatomia para diagnosticar precocemente tumores e cânceres em fase bem inicial. Esse exame é realizado após o paciente receber na veia uma quantidade controlada

de material radioativo, necessário para a captação das imagens do exame. Esse material vai se espalhar pelo corpo do paciente e concentrar-se em maior quantidade em locais com metabolismo mais intenso e maior consumo de glicose, como o tumor. A gravidade do câncer é avaliada com base na luminosidade de algumas partes, quanto mais intenso o brilho nos resultados, maior a atividade metabólica [11].

A cintilografia é utilizada para investigar localização e progressão de tumores e metástases, usando radiofármacos, como o iodo-131 e o gálio-67. Eles são administrados e absorvidos pelos órgãos, emitindo uma radiação que é detectada pelo equipamento tornando possível verificar como o radiofármaco se distribui no organismo. O normal é que a substância se distribua uniformemente no corpo, mas quando ocorre uma grande concentração de radiofármaco em um órgão ou região do corpo é indicativo de doença [11].

Muito usada no tratamento de câncer, a radioterapia usa a radiação ionizante para diminuição ou destruição de tumores, usando o princípio de maximizar o dano no tumor e minimizar o dano nos tecidos saudáveis. As células tumorais são mais sensíveis a radiação por se dividirem com muita frequência [1]. Quando a fonte de radiação fica longe do tumor, a modalidade é chamada de Teleterapia. No início do desenvolvimento desse tratamento, eram utilizados equipamentos com uma fonte radioativa, como o Cesapan F-3000, que causou o acidente de Goiânia, que utilizava césio-137 e pelas bombas de cobalto, com fonte radioativa o cobalto-60. A partir da década 70 começou a ser utilizados aceleradores lineares, os Linacs, para a teleterapia. Eles produzem raios X de alta energia e elétrons acelerados a partir da energia elétrica, e são considerados mais seguros que os equipamentos que usam elementos radioativos [1].

Na Braquiterapia, outra modalidade da radioterapia, a fonte da radiação é colocada perto ou em contato com o tumor. Como exemplo, pode-se citar as sementes de iodo-125, fios e pellets de irídio-192, placas de fósforo-32, entre outros. A dose de radiação pode ser liberada por um curto período, com implantes temporários, ou até o decaimento da fonte, implantes permanentes. Com esse método a maior dose de radiação atinge os tecidos tumorais, poupando os tecidos saudáveis. Recentemente, criou-se outro ramo da

braquiterapia, chamado de nanobraquiterapia. Os estudos são promissores e principalmente realizados com ouro-198 ^[12].

Vale destacar que a produção dos isótopos radioativos utilizados na saúde é feita, em sua maior parte, por reatores nucleares de pesquisa e de produção. Esses reatores são diferentes dos que geram energia, pois são menos potentes e possuem canais de irradiação que levam o material a ser ativado diretamente para o núcleo. Os principais centros produtores estão nos Estados Unidos (Laboratório Nacional de Oak Ridge), Rússia (Isotop, Rosatom) e África do Sul (SAIF) ^[12]. Investir em reatores de produção é garantir o controle de produção desses materiais.

Análise por ativação neutrônica é uma técnica analítica que através da irradiação de uma amostra com nêutrons consegue determinar a sua composição química elementar. Essa irradiação é feita dentro de um reator nuclear e sua medida realizada por meio da espectrometria gama, e depende de características da amostra como seção de choque a determinada energia de nêutrons, da sua abundância isotópica e da meia-vida do radionuclídeo produzido. Esta técnica determina cerca de 70 % dos elementos químicos da Tabela Periódica é utilizada na certificação de materiais de referência, aplicações geoquímicas, análises de aerossóis, determinação de procedência de materiais, análises forenses e de poluentes ambientais ^[13].

A irradiação de alimentos permite a sua conservação por mais tempo, diminuindo a quantidade de fungos principais causadores do apodrecimento. Usando doses bem determinadas de radiação, é possível eliminar micro-organismos presentes na superfície dos alimentos sem modificar as suas características ^[11].

A técnica de esterilização de insetos machos por radiação gama para depois soltá-los no meio ambiente (*Sterile Insect Technique*) é usada a mais de 50 anos, permite o controle de pragas sem qualquer poluição com produtos químicos. Ela foi iniciada para a mosca-das-frutas, que é considerada uma das maiores pragas da fruticultura e é combatida em escala global. Atualmente ações contra o *Aedes aegypti*, responsável pela transmissão da Febre Amarela, Dengue, Chikungunya e Zika Vírus, estão sendo testadas no Brasil ^[11].

Materiais hospitalares podem ser esterilizados por radiação, que destrói micro-organismos presentes no material, mesmo dentro das embalagens, evitando a contaminação posterior. Para a irradiação podem ser usados aceleradores (raios X de alta energia) ou fontes de cobalto-60 (raios gama)^[11].

Diversas fontes de energia foram desenvolvidas pela humanidade. Dos combustíveis fósseis extremamente poluentes, às problemáticas baterias de lítio e às turbinas eólicas verdes. Elas contribuíram para o avanço da espécie humana permitindo, aumentar a produção de alimentos, ampliar a construção civil, acelerar a comunicação física e virtual, e avançar o conhecimento e a ciência. Novas fontes de energia estão sendo desenvolvidas e aprimoradas para várias aplicações. Entre elas, as baterias nucleares são dispositivos que utilizam o decaimento radioativo para gerar eletricidade^[14].

Existem muitos tipos de baterias nucleares: termoelétricas, termofotoelétricas, carga direta, termiônica, intermediada por cintilação, conversão direta de energia, alfavoltaica e betavoltaica. A primeira bateria nuclear lançada no espaço foi o SNAP 3B (US Navy, Transit 4A) em 1961, alimentado por 96 gramas de plutônio-238. Este gerador forneceu cerca de 2,7 W de energia por mais de 15 anos^[15]. Desde então, baterias nucleares têm sido usadas com sucesso em missões espaciais, com tempos de operação muito superiores aos inicialmente concebidos^[14,15]. Os sistemas de energia de radioisótopos têm sido essenciais para a exploração do espaço e além de fonte de energia elétrica também como fonte de energia térmica, onde o calor é conduzido para qualquer componente da espaçonave que precise ser mantido aquecido; este calor pode ser produzido por uma unidade aquecedora de radioisótopos ou usando o excesso de calor de um gerador termoelétrico de radioisótopos^[16].

Todas as principais agências espaciais do mundo (como NASA- National Aeronautics and Space Administration, ESA- European Space Agency, Roscosmos- Russian Space Agency e a Kasi – Korea Astronomy and Space Science Institute) continuam a desenvolver novos sistemas nucleares para exploração espacial^[15].

4.3 Educação do público

A energia nuclear e suas aplicações diretas contribuem para o avanço da humanidade. Investigar a opinião do público e utilizá-la para realizar um trabalho de conscientização e educação é importante para mudar paradigmas. O futuro da aceitação da energia nuclear e aplicações, e da ciência como um todo, depende de um público que possa distinguir a ciência da não ciência, de modo que os indivíduos possam fazer políticas e julgamentos pessoais razoáveis e estabelecer prioridades informadas em seu próprio interesse. Educadores e cientistas compartilham a responsabilidade de envolver o público nas questões científicas que impactam a sociedade, como discussões sobre o aquecimento global e poluição atmosférica, proporcionando uma maior visibilidade e tranquilidade sobre os usos das radiações no cotidiano [3].

Em 2009 Barragán et al. através de um questionário aplicado em alunos de um colégio de ensino médio, apresentou questões problemas nas quais diante de situações propostas os alunos expressavam sua opinião. Notou-se uma confusão sobre os conceitos de radiação e radioatividade além de postura preconceituosa diante da menção da radiação no cotidiano e concluiu que o principal medo desses estudantes é do câncer causado por radiação [3].

Rego & Peralta em 2006 avaliaram o conhecimento da radioatividade dos alunos de diferentes níveis de escolaridade em Portugal, através de um questionário entregue a 1.246 alunos. A maioria já tinha ouvido falar em radiação, como a do raio X, mas a diferença entre radiação ionizante e não ionizante é desconhecida, como também uma porcentagem significativa não sabe sobre a radioatividade natural. Eles concluíram que os currículos de física devem ser atualizados e para maior entendimento da população sobre a energia nuclear [17].

Com o propósito de investigar a opinião e o conhecimento da população em relação aos benefícios da radiação ionizante para polímeros em embalagens de alimentos, Andrade em 2011 aplicou um questionário para verificar o grau de aceitação da radioatividade em bens de consumo cotidianos. Foi também ofertado informações sobre o uso benéfico da energia nuclear e sobre o tema investiga e uma nova avaliação foi feita para verificar se a opinião

dos entrevistados mudava. Apesar de reconhecer que ao uso da energia nuclear implica em melhorias no dia a dia após as informações recebidas, a maioria dos entrevistados ainda não consumiria um alimento com a embalagem tratada com radioatividade, nem alimentos irradiados, demonstrando a dificuldade de aceitação [18].

Um estudo desenvolvido por M. B. Lobo em 2017 com professores do ensino fundamental, médio e universitário desenvolveu uma metodologia de divulgação da energia nuclear para o público em geral. Com um roteiro de cinco etapas: questionário inicial, vídeo de uma reportagem sobre o tema, palestra elucidativa, atividade e uma interação com uma exposição no espaço da tecnologia Nuclear, localizado no IPEN em São Paulo, desenvolveu estratégias de acordo com os dados obtidos, possibilitando informação e diálogo, para depois capacitar esses professores com conceitos sobre a energia nuclear e seus benefícios, ressaltando a importância das atividades de pesquisas, desenvolvimento, inovação e qualidade desenvolvidas por instituições brasileiras [5].

Em 2015 Evans et al. através de uma pesquisa com o público em geral em Vermont verificou que a maioria dos entrevistados não expressam muito conhecimento em radioatividade, mas não estão preocupados com a exposição à radiação ionizante de procedimentos médicos porque confiam que profissionais de saúde receberam treinamento extensivo nos princípios da radiação e são competentes para minimizar riscos [19].

Essa confiança nos profissionais da saúde pelos pacientes é um fator importante para o sucesso do tratamento, pois esses pacientes possuem um nível muito grande de ansiedade. Durante as consultas expressam-se mais diretamente sobre suas dúvidas e medos de que nos tratamentos psicológicos que acontecem em paralelo ao procedimento. Os profissionais de saúde que estão em contato diário com o paciente, treinados podem reconhecer fatores que emocionais que podem prejudicar o tratamento e atuar para amenizar esses desconfortos. O desenvolvimento de treinamentos para que esses profissionais de saúde possam ajudar os pacientes a lidar com o estresse emocional também é de extrema importância [20].

À medida que os profissionais de saúde reconhecem os benefícios que uma educação eficaz auxilia na melhoria dos resultados dos pacientes, são necessários métodos mais fáceis de entender, recursos apresentados em termos leigos para se comunicar de uma forma que seja compreensível e impactante para todos os pacientes e familiares e eficientes nas divulgações de informações, pois educar os pacientes garante a continuidade dos procedimentos e reduz as complicações relacionadas a doença ^[21].

5 METODOLOGIA

5.1 O questionário

Para a construção do questionário Carmo, 2013 propôs uma sequência de etapas que consistem em planejar o que vai ser mensurado:

- formular as perguntas;
- definição do texto;
- ordem das perguntas;
- escolher o aspecto visual;
- fazer um pré-teste, utilizando uma pequena amostra, para evitar possíveis erros no questionário e caso necessário, corrigir o problema e fazer novo pré-teste [22].

Os passos propostos foram seguidos com as seguintes observações:

- Perguntas foram formuladas de forma a avaliar conceitos que poderiam ou não serem incluídos na cartilha. Buscou-se manter o tempo de preenchimento do formulário em no máximo 5 minutos;
- O texto do questionário foi simples e direto. Evitou-se ao máximo o uso de perguntas com resposta escrita;
- A ordem das perguntas considerou uma progressão natural no tema;
- Utilizou-se aspecto visual básico, fornecido pelo Google formulários;
- Pré-teste foi realizado durante os 3 dias anteriores à liberação do questionário.

Respeitando as medidas sanitárias de distanciamento social, a avaliação da opinião pública foi feita através da aplicação de um questionário online, elaborado no Google formulários [23]. As vantagens do uso do ambiente virtual para coleta de dados são inúmeras, pois permite captar participantes de diversas regiões do Brasil, comodidade de responder o questionário em qualquer momento pelo computador ou celular, recurso de perguntas obrigatórias, na qual o participante só avança para a próxima pergunta ao responder a atual, obtenção

de um banco de dados automático, transferido direto para o Excel possibilitando análise estatística das respostas [24].

De acordo com a resolução do conselho nacional de saúde CNS 510/2016, pesquisa de opinião pública com participantes não identificados não precisa ser registradas nem avaliadas pelo sistema CEP/CONEP. Caracteriza-se como “pesquisa de opinião pública: consulta verbal ou escrita de caráter pontual, realizada por meio de metodologia específica, através da qual o participante, é convidado a expressar sua preferência, avaliação ou o sentido que atribui a temas, atuação de pessoas e organizações, ou a produtos e serviços; sem possibilidade de identificação do participante” [25].

O questionário “Avaliação da percepção pública sobre a radioatividade” começou com uma parte introdutória explicando que foi desenvolvido para uma pesquisa realizada dentro do Mestrado Profissional em Tecnologia das Radiações em Ciências da Saúde, do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares– IPEN-CNEN/SP, com participação facultativa e que os resultados obtidos serão utilizados somente para fins acadêmicos, e serão mantidos anônimos. Como o intuito das questões é avaliar a opinião e conhecimento sobre a radiação, foi solicitado que as respostas para as perguntas não fossem pesquisadas na internet, e no início um espaço para quem tiver interesse em saber os resultados e receber o link para o site educativo deixar e-mail.

O questionário foi dividido e quatro partes:

- Perfil do entrevistado
- Sobre a energia nuclear
- Teste de conhecimento
- Sentimentos e opiniões

A seguir o questionário é apresentado.

Questionário: Avaliação da percepção pública sobre a radioatividade***PARTE INTRODUTÓRIA***

Esse questionário foi desenvolvido para uma pesquisa realizado dentro do Mestrado Profissional em Tecnologia das Radiações em Ciências da Saúde, do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares– IPEN-CNEN/SP e é de participação facultativa.

Os resultados obtidos serão utilizados somente para fins acadêmicos, e serão mantidos anônimos. Por favor, não procure na internet resposta para as perguntas, pois como o intuito das questões é avaliar a sua opinião e conhecimento sobre a radiação. Esta pesquisa levará 5 minutos da sua atenção.

Obrigada pela participação!

e-mail de contato: avaliacaocancer@gmail.com

Se você quiser saber os resultados e receber o link para o site educativo, deixe seu e-mail abaixo.

PERFIL DO ENTREVISTADO

- Faixa etária
 - Escolaridade
 - Sexo
 - Profissão
-

SOBRE A ENERGIA NUCLEAR

- Você sabe o que é energia nuclear?
 - Sim, sou da área
 - Sei um pouco
 - Sou entusiasta, sei, pois, estudo sozinho
 - Não

- Você sabe a diferença entre radiações ionizantes e não ionizantes?
 - Sim
 - Não

- Todo tipo de radiação é prejudicial à saúde?
 - Sim
 - Não
 - Não sei

- Já ouviu falar em doenças causadas pela radiação?
 - Sim
 - Não

- Você conhece algum uso da energia nuclear no nosso dia a dia?

Resposta escrita

- Você já ouviu falar em algum acidente nuclear?

Resposta escrita

TESTE DE CONHECIMENTO

- Assinale em quais exemplos abaixo utilizamos as radiações e/ou energia nuclear
 - Micro-ondas
 - Raio X
 - Ressonância Magnética
 - Ultrassom
 - Tomografia,
 - Usina Hidrelétrica
 - Esterilização de materiais médicos
 - Geração de energia elétrica
 - Tratamento de câncer

- Cardiologia Intervencionista
- Fabricação de materiais para uso na indústria
- Datação de peças arqueológicas

- Assinale somente as alternativas que você sabe serem verdadeiras
 - Nosso corpo é constantemente bombardeado a radiação natural
 - A tripulação de um submarino está menos sujeita a radiação do que quem está em terra seca [26].
 - O fumante recebe uma radiação anual equivalente a 200 radiografias de tórax
 - O fungo *Cryptococcus neoformans* cresce em locais onde existem altas concentrações de radiações
 - A radiação pode causar mutações genéticas que causam alterações no nosso corpo
 - É possível fazer uso da Energia Nuclear de forma segura
 - Eu não faria radioterapia porque não gosto da ideia de receber radiação
 - Eu não comeria alimento que foi esterilizado por Radiação
 - Gostaria de ter mais conhecimento sobre a área antes de tomar decisões sobre o que aceitar

- Você sabe a meia-vida do Cobalto-60 (não procure no google, essa é uma pergunta controle)?

Resposta escrita

SENTIMENTOS E OPINIÕES

- Você tem medo da energia nuclear e radiações?
 - Sim
 - Não

- Você acha que o Brasil deve construir mais Reatores Nucleares?
 - Sim
 - Não

- Você acha que o Brasil deve instalar mais equipamentos que utilizem radiações na medicina?
 - Sim
 - Não

 - Você acha que as pesquisas nas áreas de radiação devem continuar? Por exemplo: efeitos de radiações em materiais, esterilização, radiação na medicina.
 - Sim
 - Não

 - Você acha que a energia nuclear é segura?
 - Sim
 - Não

 - Uma aula ou folder contendo material informativo sobre energia nuclear/radiações poderia fazer você mudar suas opiniões?
 - Não precisa, pois minha opinião é positiva
 - Sim
 - Não
 - Talvez
-

5.2 A divulgação

A divulgação foi feita no período de dezembro de 2021 a fevereiro de 2022, nas redes sociais WhatsApp, Facebook e Instagram em:

- WhatsApp: Grupo de Alunos da Zona Leste de SP: 10 mil membros; Grupos de professores do Butantã: 2 mil membros;
- Facebook: Grupo Pesquisas - Questionários e Respostas (6,5 mil membros), Grupo Questionários Acadêmicos (2 mil membros), Professores do Novo Ensino Médio (5,3 mil membros), Grupo de Divulgação de Estudos: Ciências e Afins (94 mil membros).

O seguinte texto foi utilizado na divulgação:

“Esse questionário é para minha tese de mestrado. Agradeço se você puder responder. Leva menos de 5 min. Se puder me ajudar a divulgar também agradeço. Obrigada”.

Link para o questionário:

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSeaUOv_IB3ht1_Ust8OvMUabX5ZqKnTqcY5LRxbcSjJuh97Ng/viewform?usp=sf_link

- No Instagram foi criada uma página para divulgação do questionário e da cartilha: <https://www.instagram.com/radiacoesnocotidiano/>

5.3 A análise dos dados e estatística

O teste de Qui Quadrado de Pearson, um teste estatístico usado para avaliar três tipos de comparações: teste de aderência, que estabelece se a distribuição de frequências observadas é diferente da distribuição teórica; teste de independência, que avalia observações não pareadas em duas variáveis são independentes entre si; teste de homogeneidade, que compara a distribuição de duas variáveis categóricas e verificam se são homogêneas entre si. Quando os valores esperados na tabela de contingência estão abaixo de 5 quando o número de células é pequeno o teste de Qui Quadrado não é adequado, então o teste utilizado é o exato de Fisher, que pode ser aplicado para todos os tamanhos amostrais e fornece o valor de p exato não exigindo técnica de aproximação, pois é baseado na distribuição hipergeométrica [27].

O software estatístico JAMOV, um software que fornece uma planilha estatística gratuita e aberta, criada pela comunidade científica, permitindo avaliar, determinar e analisar conjuntos de dados [28] foi utilizado para avaliar se havia relação estatística entre as perguntas “1. Você tem medo da energia nuclear e radiações? e 2. Uma aula ou folder contendo material informativo sobre energia nuclear/radiações poderia fazer você mudar suas opiniões?”.

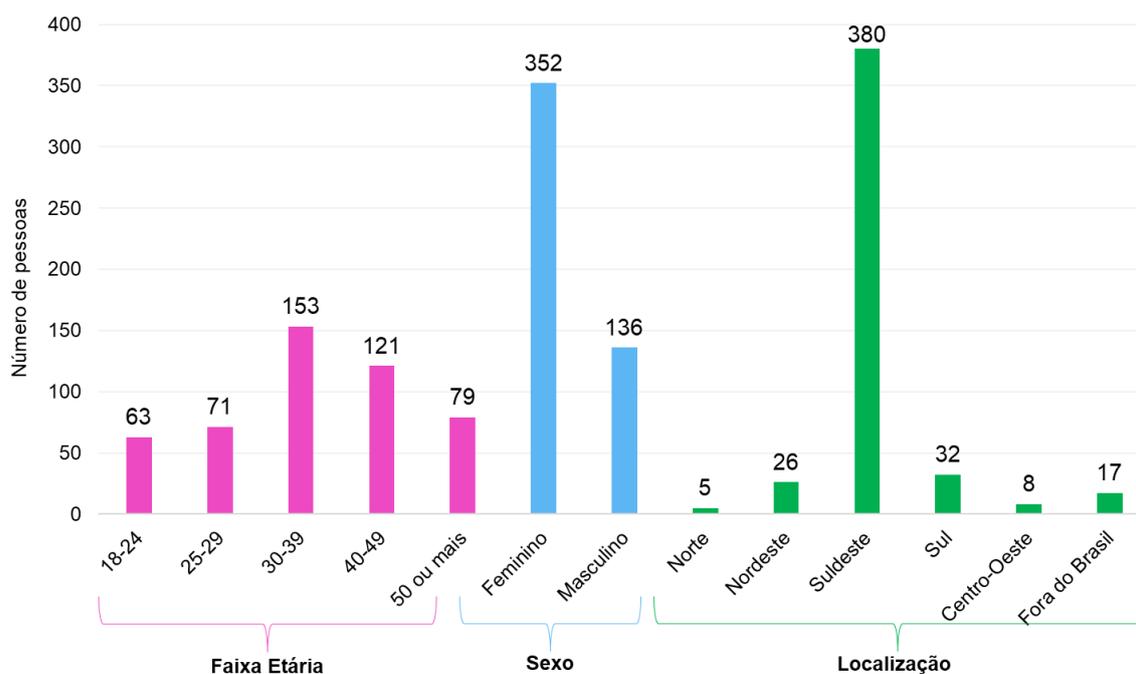
A análise dos dados foi feita através de gráficos criados no Excel. Após a análise dos resultados, tópicos foram selecionados para a construção da cartilha.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 A análise descritiva dos dados

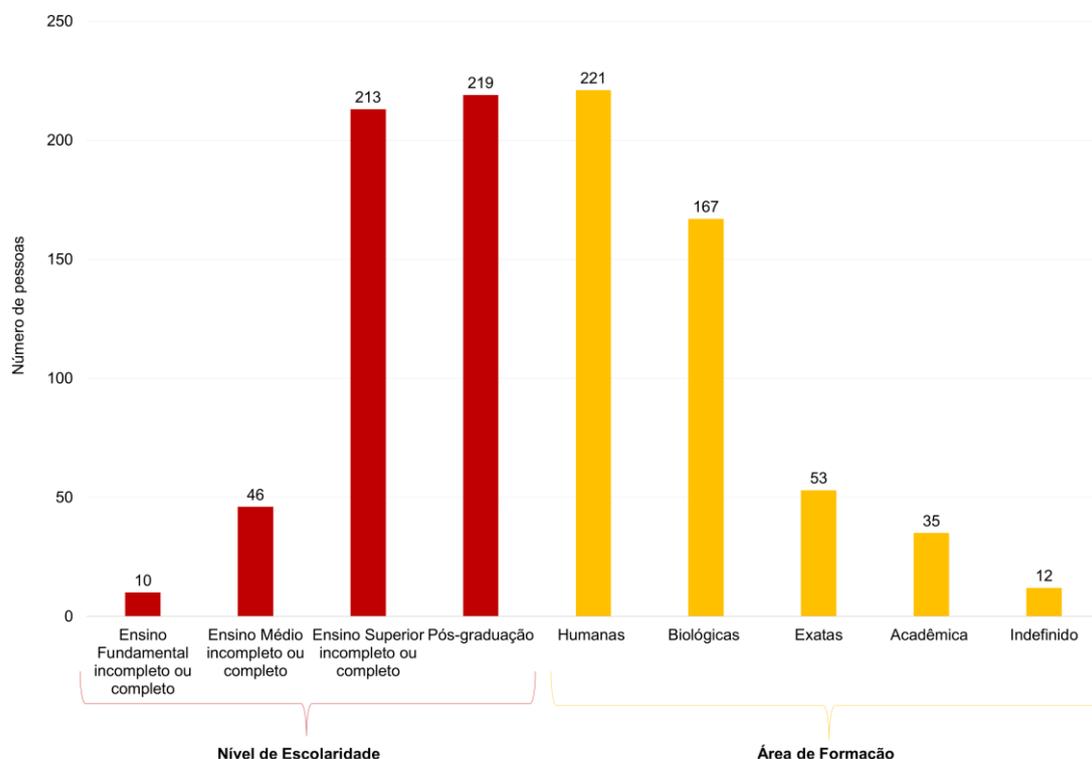
O questionário foi respondido por 488 pessoas, destas 32,8 % deixaram e-mail para receber os resultados e o link da cartilha. A primeira parte do questionário era para avaliar o perfil do entrevistado (figuras 1 e 2). Nesses gráficos é observado que a maioria das respostas são do sexo feminino (352), da região Sudeste, com ensino superior completo e que atingiu todas as faixas etárias propostas.

FIGURA 1: GRÁFICO RELACIONANDO FAIXA ETÁRIA, SEXO E REGIÃO



Fonte: Autora da dissertação

FIGURA 2: GRÁFICO RELACIONANDO ESCOLARIDADE E ÁREA DE FORMAÇÃO

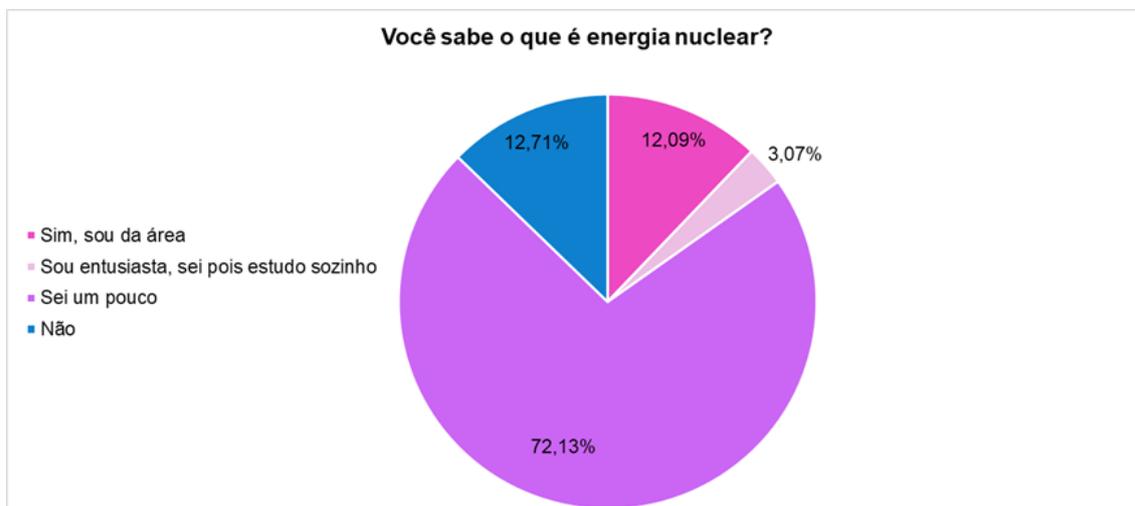


Fonte: Autora da dissertação

Era esperado um viés no questionário devido ao fato da divulgação não ter sido em amostra 100 % representativa da população brasileira. Do total de entrevistados, 272 pessoas são do estado de São Paulo, 432 pessoas têm ensino superior completo ou cursando e pós-graduação. Apesar disso, a divulgação pelas mídias sociais atingiu modestamente representantes das outras regiões brasileiras e escolaridade abaixo do nível superior. Fora do esperado, a maioria dos entrevistados são da área de humanas, um público sem conhecimento específico sobre radiação, importante para verificar suas opiniões e conhecimentos para construção da cartilha.

A segunda parte do questionário que é sobre a energia nuclear, na primeira pergunta “Você sabe o que é a energia nuclear?” apenas 12,71 % das respostas foram “não” e 72,13 % “Sei um pouco” (figura 3).

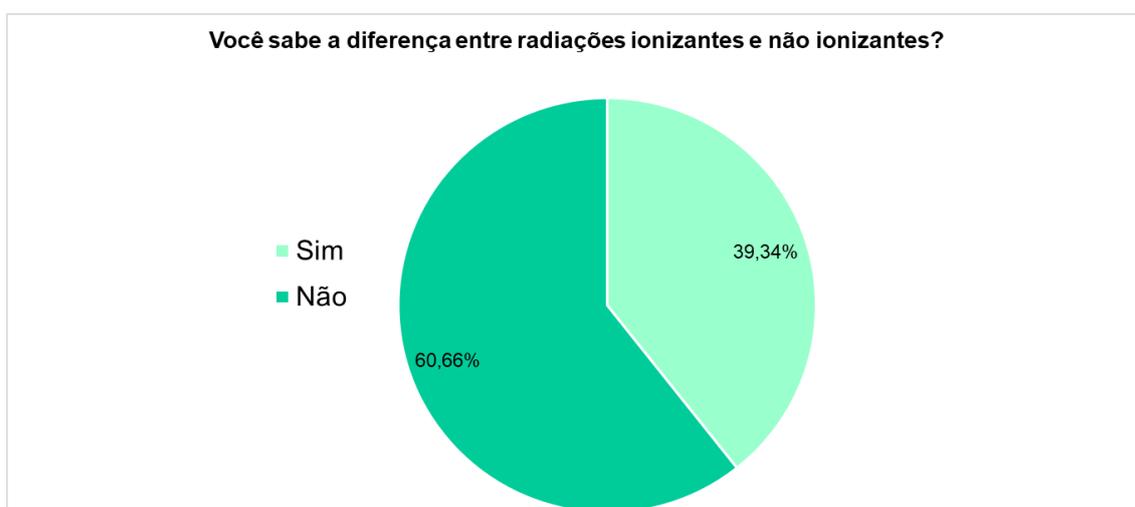
FIGURA 3: GRÁFICO COM OS RESULTADOS DA PERGUNTA - VOCÊ SABE O QUE É ENERGIA NUCLEAR?



Fonte: Autora da dissertação

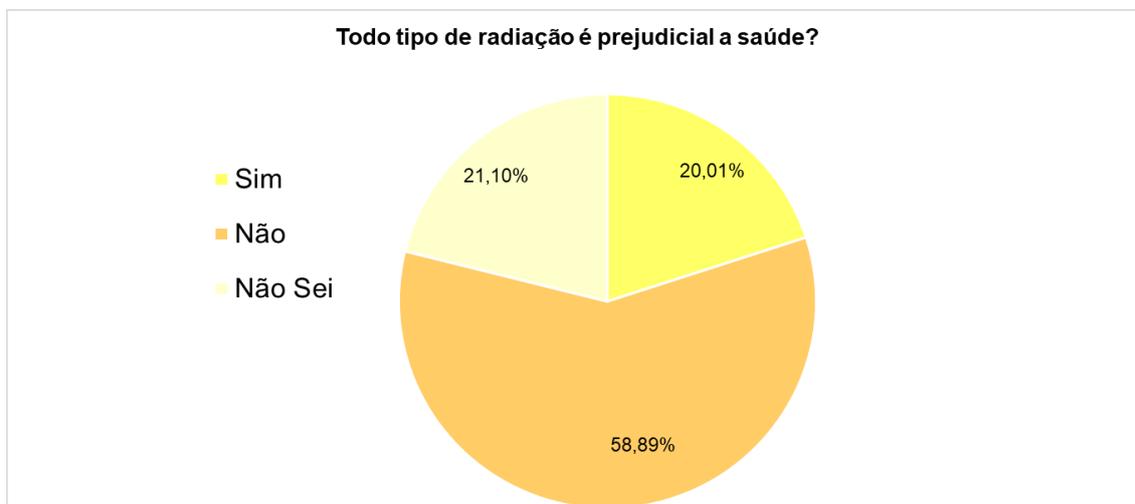
A pergunta: "Você sabe a diferença entre radiações ionizantes e não ionizantes?" mostra que 60,66 % não sabem a diferença, ambas as perguntas indicam que a maioria não é da área (figura 4), público-alvo para a cartilha.

FIGURA 4: GRÁFICO COM OS RESULTADOS DA PERGUNTA - VOCÊ SABE A DIFERENÇA ENTRE RADIAÇÕES IONIZANTES E NÃO IONIZANTES?



Fonte: Autora da dissertação

FIGURA 5: GRÁFICO COM OS RESULTADOS DA PERGUNTA - TODO TIPO DE RADIAÇÃO É PREJUDICIAL À SAÚDE?



Fonte: Autora da dissertação

FIGURA 6: GRÁFICO COM OS RESULTADOS DA PERGUNTA - JÁ OUVIU FALAR EM DOENÇAS CAUSADAS PELA RADIAÇÃO?



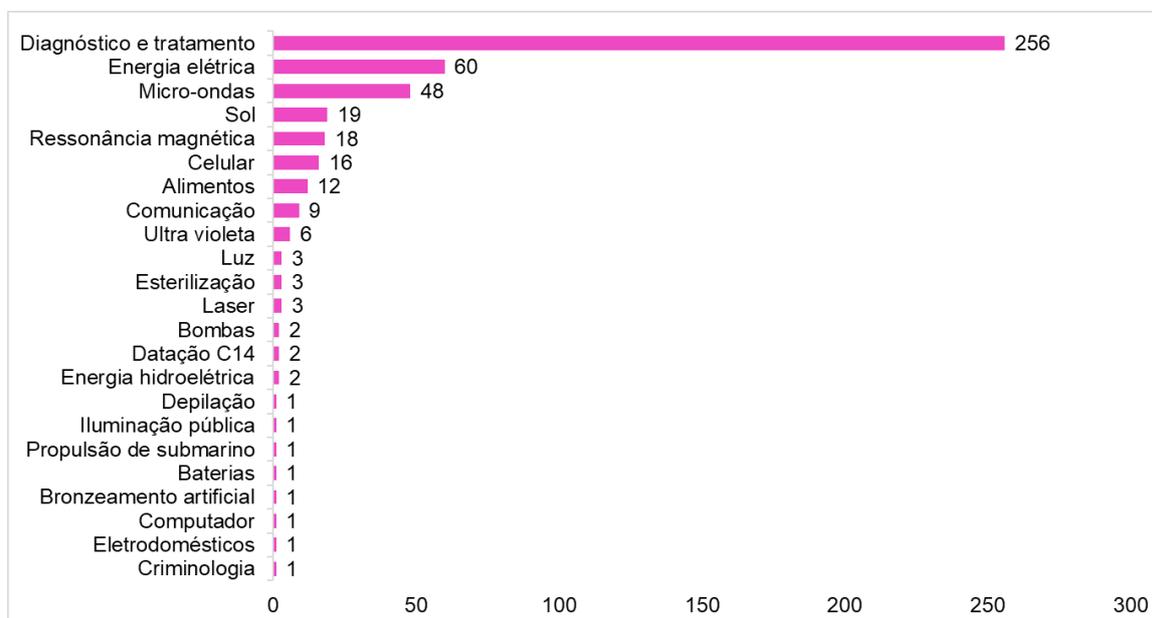
Fonte: Autora da dissertação

Na pergunta "Todo tipo de radiação é prejudicial à saúde?" podemos observar no gráfico da figura 5 que 58,89% dos entrevistados responderam que não e 21,10% não sabem, mas comparando com a pergunta "Já ouviu falar em doenças causadas pela radiação?" (figura 6) 94,4 %

responderam que já ouviram falar em doenças causadas pela radiação, mostrando uma contradição.

A terceira parte do questionário testa o conhecimento das pessoas sobre a radiação. A figura 7 mostra que 109 pessoas responderam não conhecer o uso das radiações no nosso dia a dia, 61 responderam sim, mas não citaram exemplos e 256 pessoas colocaram os exemplos relacionados aos diagnósticos e tratamento de doenças. Foram citados outros usos como energia elétrica (60 pessoas), energia solar (19 pessoas), alimentos (12 pessoas). Bastante lembrados a ressonância magnética por 18 pessoas e o micro-ondas por 48 pessoas nessa pergunta e na próxima do questionário que é “Você conhece algum uso da energia nuclear e/ou das radiações no nosso dia a dia? Qual?”. Sabe-se ressonância magnética não usa radiação ionizante e o micro-ondas usa uma radiação eletromagnética de baixa frequência, do mesmo tipo usado em rádios.

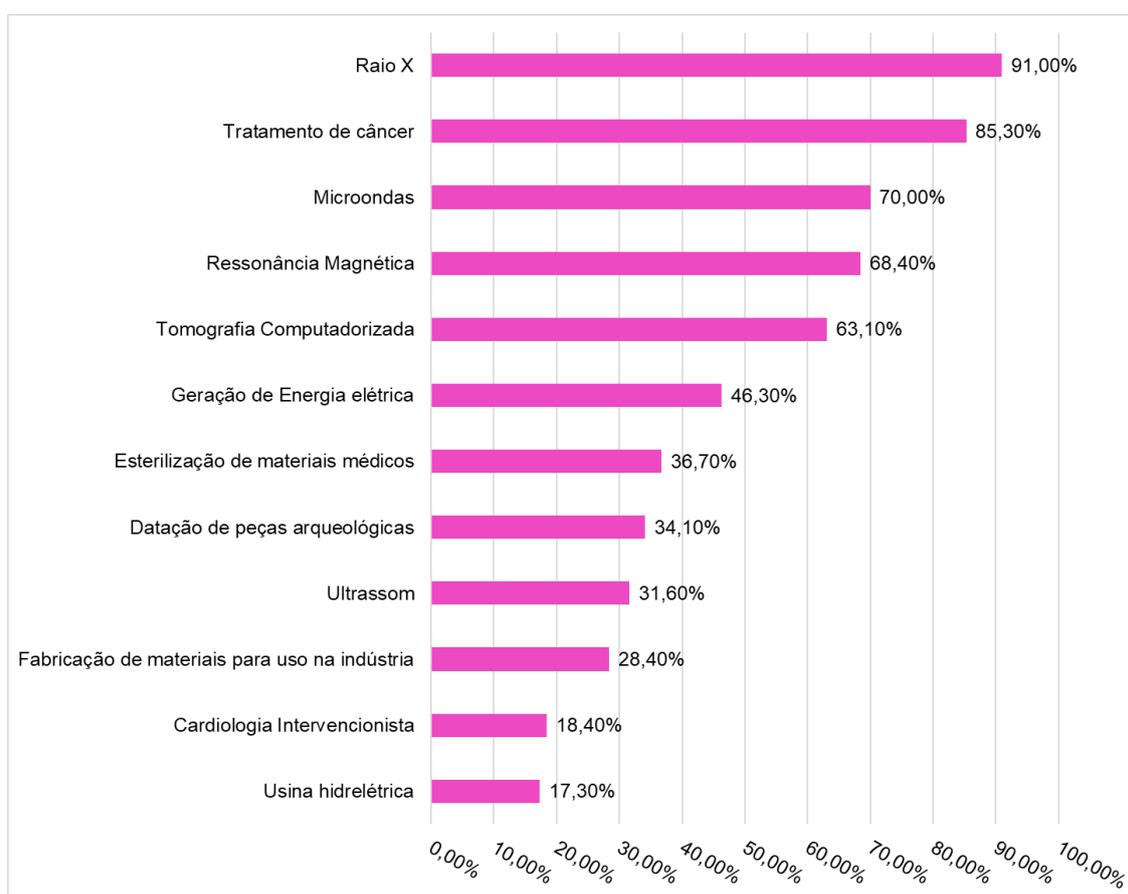
FIGURA 7: GRÁFICO COM OS RESULTADOS DA PERGUNTA - VOCÊ CONHECE ALGUM USO DA ENERGIA NUCLEAR E/OU DAS RADIAÇÕES NO NOSSO DIA A DIA? QUAL?



Fonte: Autora da dissertação

Na figura 8 foram assinaladas respostas incorretas, como o ultrassom por 31,60 % e usina hidroelétrica por 17,3 %, demonstrando de maneira em geral a falta de informação sobre a energia nuclear. Essa confusão sobre o uso da radiação em ressonância magnética, ultrassom e usina hidrelétrica indica a necessidade da abordagem na cartilha das tecnologias geralmente associadas a radiação para esclarecimento.

FIGURA 8: GRÁFICO COM OS RESULTADOS DA PERGUNTA - ASSINALE EM QUAIS EXEMPLOS ABAIXO UTILIZAMOS AS RADIAÇÕES E/OU ENERGIA NUCLEAR

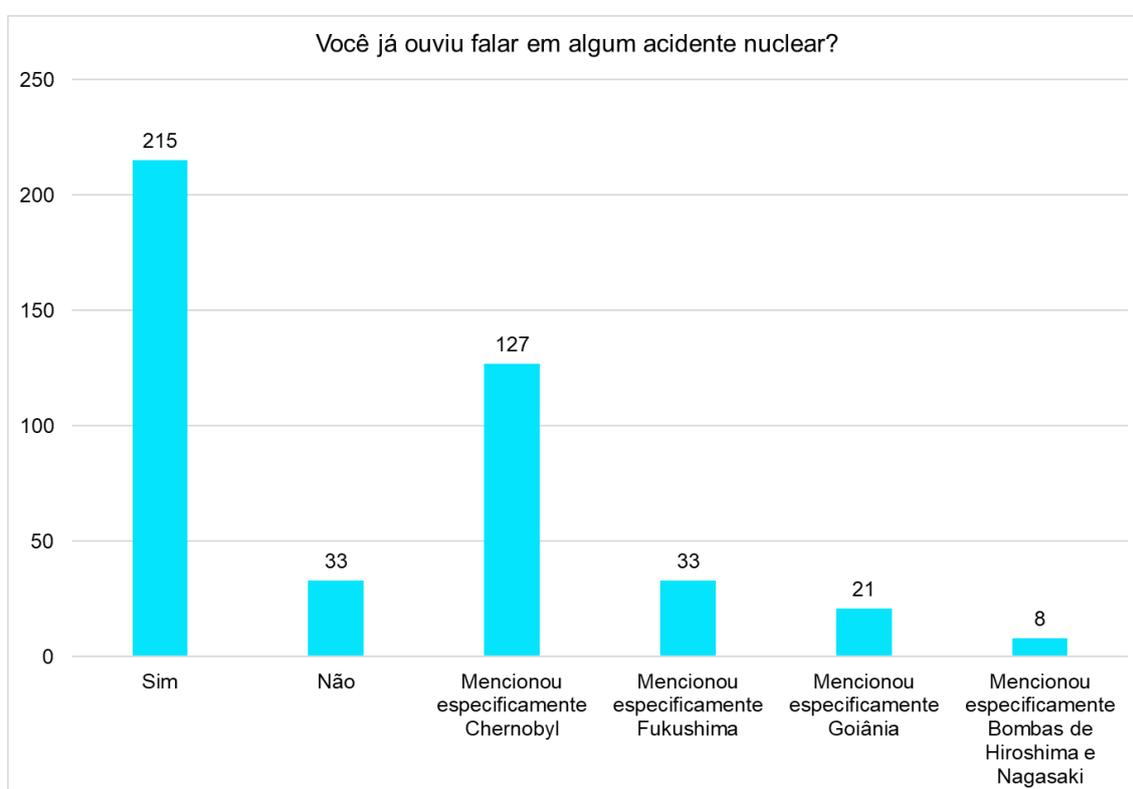


Fonte: Autora da dissertação

Na pergunta sobre acidentes nucleares (figura 9) somente 33 pessoas responderam que nunca tinham ouvido sobre e 215 sim, mas não citaram exemplos. Entre os acidentes lembrados têm-se Chernobyl, Fukushima, Goiânia

e 8 pessoas mencionaram especificamente as bombas nucleares de Hiroshima e Nagasaki, que apesar de não serem acidentes, mostra o quanto a energia nuclear ainda é associada a estes acontecimentos. Apesar de ser uma pergunta aberta, não era obrigatório citar exemplos, mas a menção de bombas indica a importância do esclarecimento na cartilha sobre a diferença entre acidente nuclear e bombas nucleares.

FIGURA 9: GRÁFICO COM OS RESULTADOS DA PERGUNTA - VOCÊ JÁ OUVIU FALAR EM ALGUM ACIDENTE NUCLEAR?



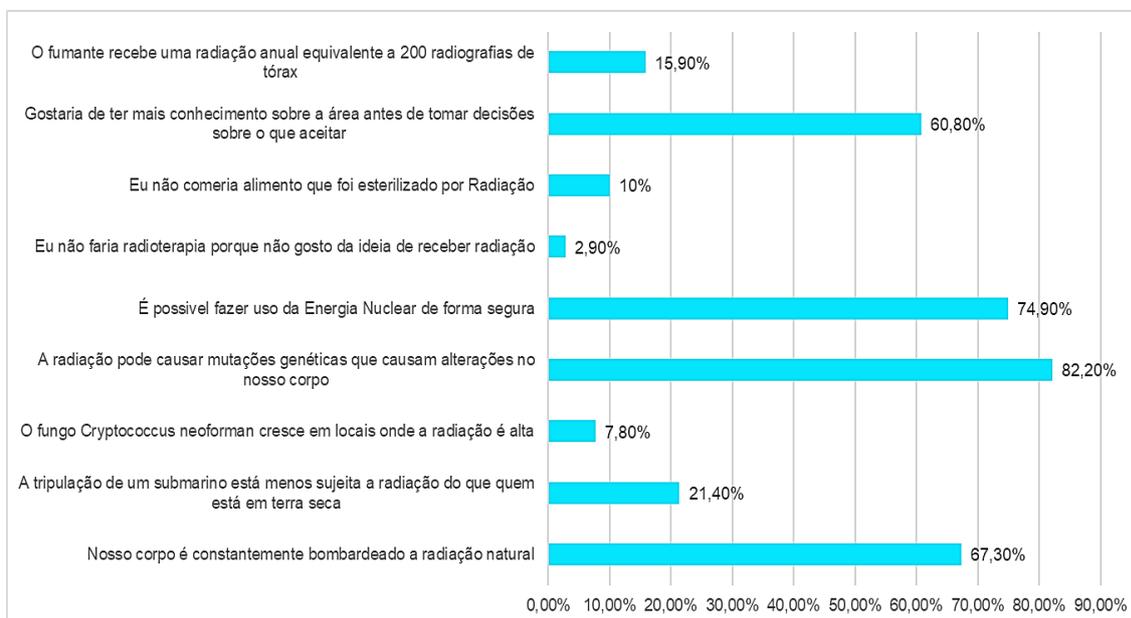
Fonte: Autora da dissertação

Algumas curiosidades e afirmações foram citadas no questionário para assinalar somente as alternativas verdadeiras (figura 10). Do total, apenas 7,80 % pessoas acreditam que um fungo pode crescer em locais onde a radiação é alta, como o *Cryptococcus neoformans* que cresce em Chernobyl, 15,90 % que o cigarro possui radiação equivalente a 200 radiografias de tórax (devido ao polônio-210 e o chumbo-210 ^[29] e 21,40 % não acreditam que a tripulação de um submarino está menos sujeita a radiação que quem está em terra seca sujeita à

radiação natural [26,30]. Mas dos entrevistados 82,2 % assinalaram como verdadeira a radiação pode causar alterações no nosso corpo, 74,90 % acreditam que é possível fazer uso da energia nuclear de forma segura, 67,30 % que nosso corpo é bombardeado pela radiação natural.

Em alternativas colocadas para verificar a opinião dos entrevistados, 60,80 % gostariam de ter mais conhecimento sobre a área antes de tomar decisões sobre o que aceitar, mostrando interesse pelo assunto. Uma minoria de 10 % não comeria alimento esterilizado por radiação e apenas 2,90 % não fariam radioterapia mostrando uma maior aceitação da radiação. Com poucos acertos sobre as curiosidades da figura 10, os tópicos foram considerados importantes de serem abordados na cartilha, além de usos surpreendentes da radiação. Há uma boa aceitação do uso da energia nuclear principalmente na área médica e interesse em obter mais conhecimento nessa área, validando a cartilha como uma fonte de informação.

FIGURA 10: GRÁFICO COM OS RESULTADOS DA PERGUNTA - ASSINALE SOMENTE AS ALTERNATIVAS QUE VOCÊ SABE SEREM VERDADEIRAS

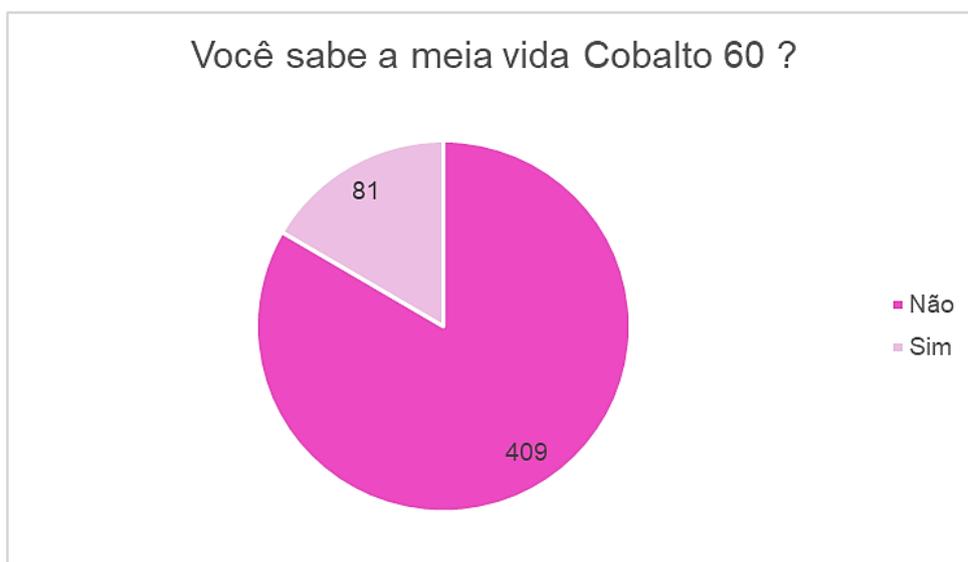


Fonte: Autora da dissertação

A questão “Você sabe a meia-vida do Cobalto-60 (não procure no google, essa é uma pergunta controle)” foi inserida para verificar o viés do questionário, determinando participantes da área nuclear. A maioria de 409

peças responderam “não” (gráfico 11) e foram consideradas corretas as respostas de 32 pessoas que responderam aproximadamente 5,36 anos, com suas profissões e áreas de atuação listadas na tabela 1. Estes dados indicam que a maioria dos participantes não atuam na área e suas opiniões são mais imparciais.

FIGURA 11: GRÁFICO COM OS RESULTADOS DA PERGUNTA - VOCÊ SABE A MEIA VIDA DO COBALTO 60?



Fonte: Autora da dissertação

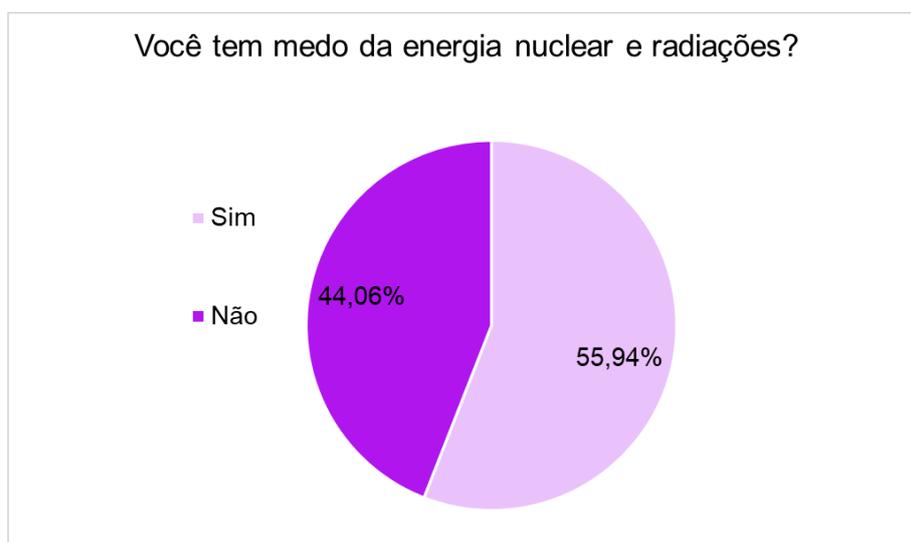
TABELA 1: Respostas corretas sobre a meia vida do Cobalto-60

Profissão	Número de respondentes
Física	3
Física Médica	5
Tecnologia em radiologia	6
Técnico em radiologia	3
Engenharia	2
Estudante	2
Biomédico	4
Outros	7

Fonte: Autora da dissertação

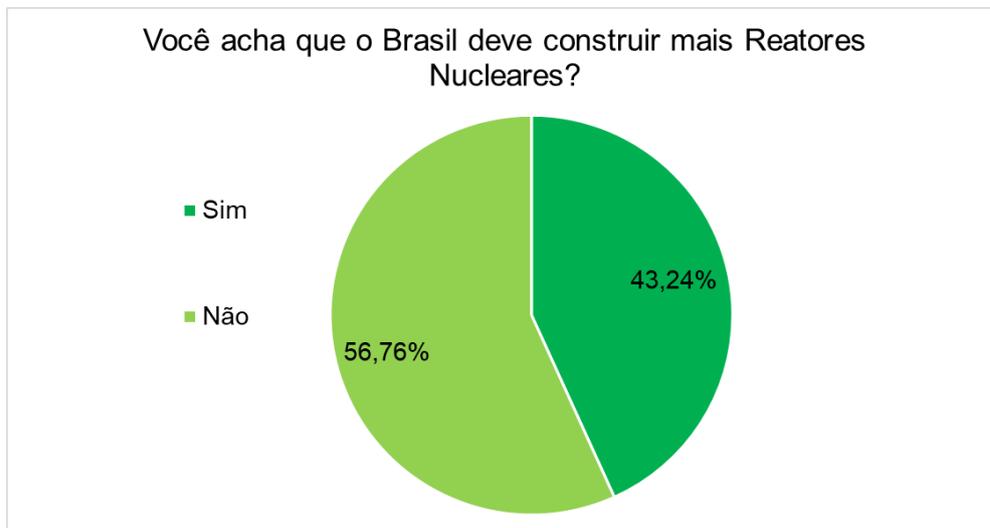
A quarta e última parte do questionário é direcionada para verificar os sentimentos e opiniões dos entrevistados sobre o uso da energia nuclear para fins pacíficos. Apesar da maioria dos entrevistados terem medo da energia nuclear e radiações, 55,94 % (figura 12) e que 55,76 % não acha que o Brasil deve construir mais reatores nucleares (figura 13). Nas questões que envolvem a área de pesquisa e medicina a opinião é mais positiva, com 96,10 % respondendo que as pesquisas nas áreas de radiação devem continuar (figura 14) e 75,41 % que o Brasil deve instalar mais equipamentos que utilizem radiações na medicina (figura 15) e na figura 16 que 56,76 % das pessoas acham que a energia nuclear é segura. Apesar da maioria dos entrevistados terem medo da energia nuclear e não apoiarem a construção de mais reatores nucleares, apoiam o uso da radiação para a medicina e pesquisas, indicando a necessidade da inserção dos reatores nucleares na cartilha para ressaltar a importância para esses fins.

FIGURA 12: GRÁFICO COM OS RESULTADOS DA PERGUNTA - VOCÊ TEM MEDO DA ENERGIA NUCLEAR?



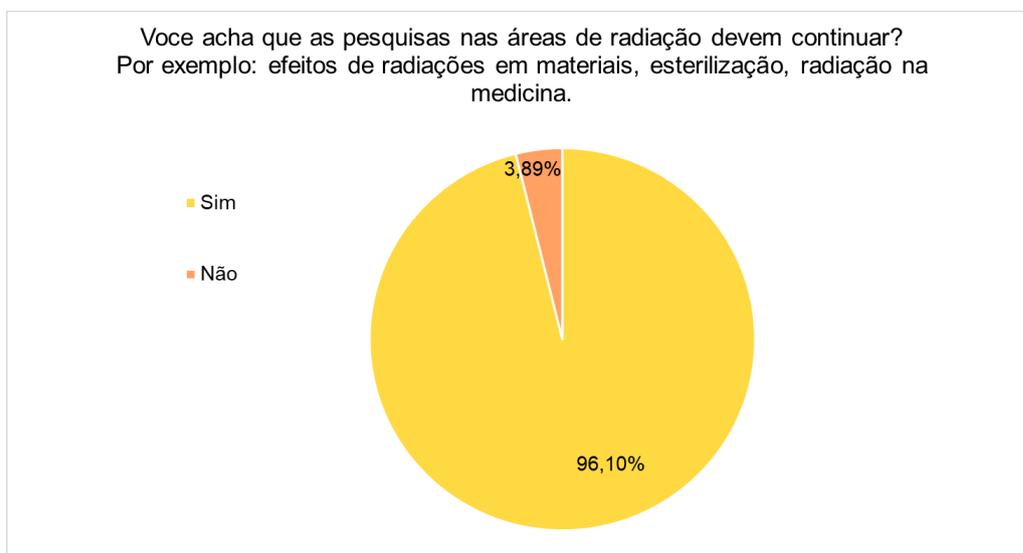
Fonte: Autora da dissertação

FIGURA 13: GRÁFICO COM OS RESULTADOS DA PERGUNTA - VOCÊ ACHA QUE O BRASIL DEVE CONSTRUIR MAIS REATORES NUCLEARES?



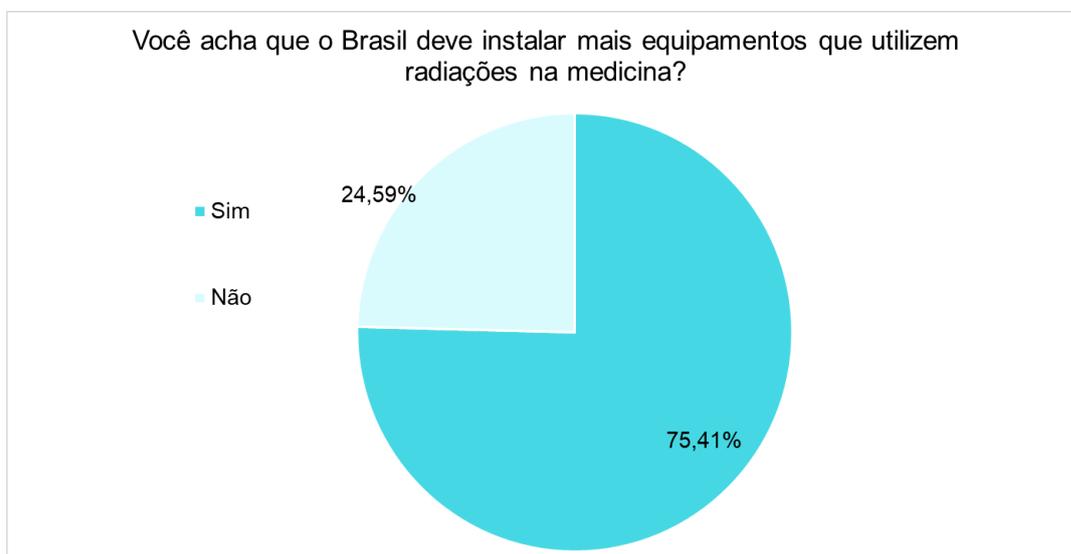
Fonte: Autora da dissertação

FIGURA 14: GRÁFICO COM OS RESULTADOS DA PERGUNTA - VOCÊ ACHA QUE AS PESQUISAS NAS ÁREAS DE RADIAÇÃO DEVEM CONTINUAR? POR EXEMPLO: EFEITOS DE RADIAÇÕES EM MATERIAIS, ESTERILIZAÇÃO, RADIAÇÃO NA MEDICINA.



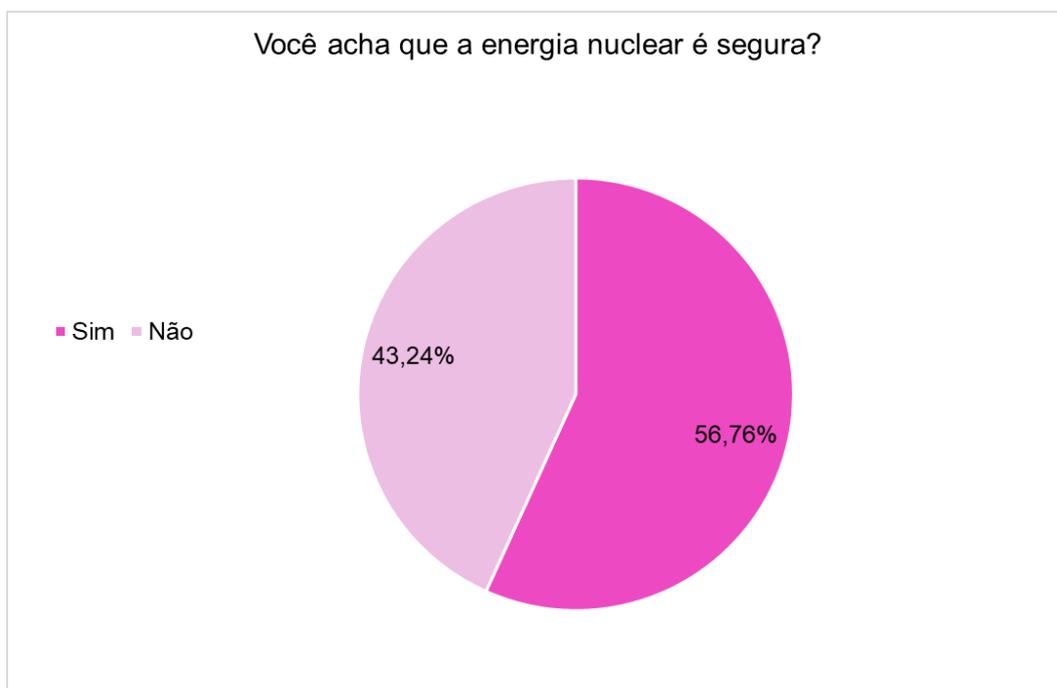
Fonte: Autora da dissertação

FIGURA 15: GRÁFICO COM OS RESULTADOS DA PERGUNTA - VOCÊ ACHA QUE O BRASIL DEVE INSTALAR MAIS EQUIPAMENTOS QUE UTILIZEM RADIAÇÕES NA MEDICINA?



Fonte: Autora da dissertação

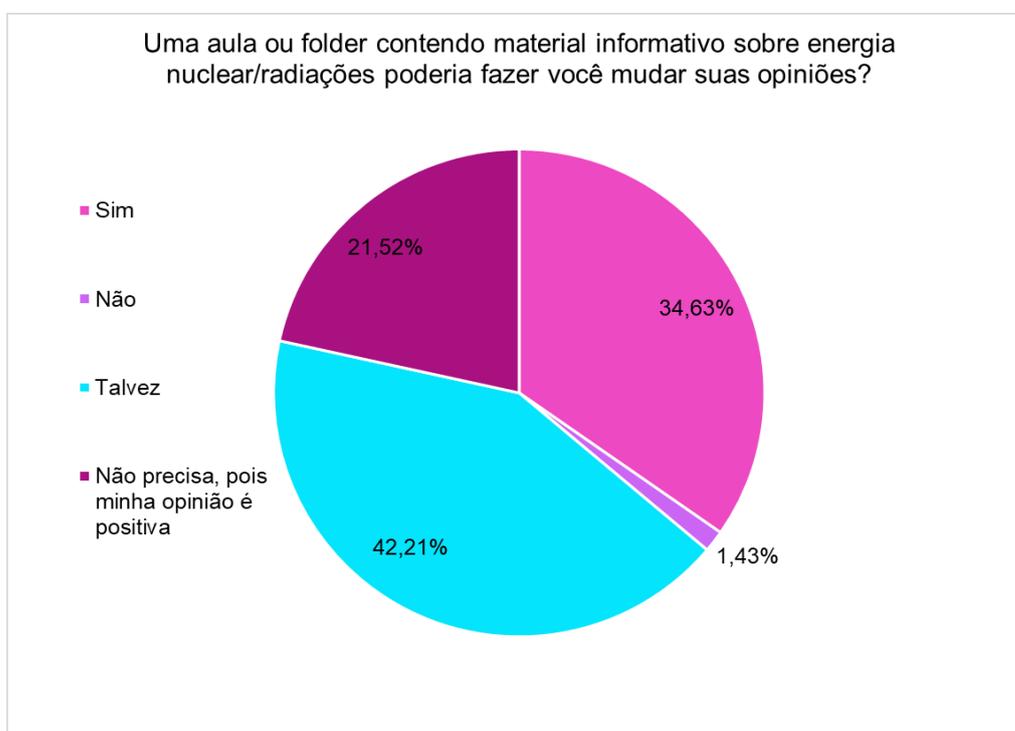
FIGURA 16: GRÁFICO COM OS RESULTADOS DA PERGUNTA - VOCÊ ACHA QUE A ENERGIA NUCLEAR É SEGURA?



Fonte: Autora da dissertação

Para encerrar o questionário na pergunta “Uma aula ou folder contendo material informativo sobre energia nuclear/radiações poderia fazer você mudar suas opiniões?” apenas 1,43 % responderam “não” e 21,52 % responderam que a opinião já era positiva, 76,84 % responderam sim ou talvez para mudar de opinião com um material informativo sobre energia nuclear radiações (figura 17). Essa maioria interessada em obter mais informação sobre a energia nuclear justifica a confecção da cartilha.

FIGURA 17: GRÁFICO COM OS RESULTADOS DA PERGUNTA - UMA AULA OU FOLDER CONTENDO MATERIAL INFORMATIVO SOBRE ENERGIA NUCLEAR/RADIAÇÕES PODERIA FAZER VOCÊ MUDAR SUAS OPINIÕES?



Fonte: Autora da dissertação

6.2 Análise estatística

Procurou-se relacionar as seguintes variáveis com as seguintes perguntas do questionário:

- Variável IDADE: Sabe o que é energia nuclear, prejudicial à saúde, medo da radiação, mais reatores, mais pesquisas, mais equipamento médico, mudar de opinião;
- Variável Sexo: Sabe o que é energia nuclear, prejudicial à saúde, medo da radiação, mais reatores, mais pesquisas, mais equipamento médico, mudar de opinião;
- Variável Escolaridade: Sabe o que é energia nuclear, prejudicial à saúde, medo da radiação, mais reatores, mais pesquisas, mais equipamento médico, mudar de opinião;
- Medo da radiação x Mudar de opinião;
- Mais reatores x Mudar de opinião;

A seguir, os resultados estatísticos de cada variável são apresentados. A tabela 2 traz o valor de p encontrado para cada correlação.

- **Idade**

A idade para simplificar o questionário foi feita pela faixa etária em vez do número bruto, o que a torna uma variável quantitativa contínua. Após colocar os dados no programa Jamovi aplicando a correlação de Qui Quadrado e Fisher os valores de p (probabilidade e significância) foram superiores a 0,05 demonstrando que não foram encontradas correlações entre idade e as perguntas neste trabalho. A hipótese inicial era que quanto maior a idade, maior era o conhecimento e opinião negativa sobre a energia nuclear não foi comprovada pelo teste.

TABELA 2: CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DO QUESTIONÁRIO

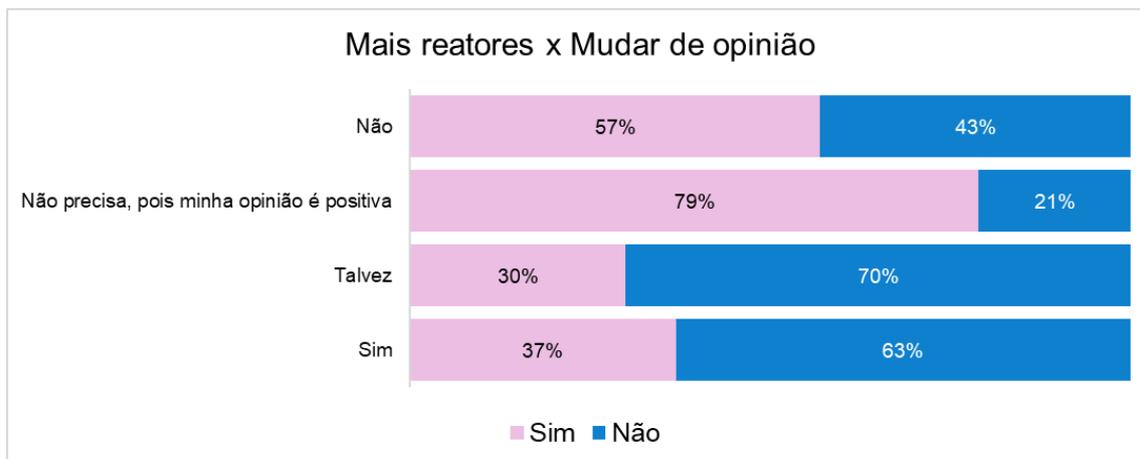
Variáveis	Sem correlação	Qui quadrado	Fisher
idade	p> 0,050		
mais reator/mudar de opinião			p<0,001
sexo/pesquisas	p=0,878		
sexo/conhecimento	p=0,056		
sexo/saúde		p=0,031	
sexo/medo		p<0,001	
sexo/mais reatores			p=0,001
sexo/medicina		p=0,007	
sexo/ mudar de opinião			p=0,004
medo/mudar de opinião			p<0,001
escolaridade/conhecimento		p=0,003	
escolaridade/saúde	p=0,375		
escolaridade/medo	p=0,660		
escolaridade/ mais reatores	p=0,190		
escolaridade/pesquisas			p=0,008
escolaridade/medicina			p=0,005
escolaridade/mudar de opinião		p=0,045	
Correlação positiva abaixo de 0,05			

Fonte: autora da dissertação

• Mais Reator X Mudar De Opinião

A hipótese de que as pessoas com a opinião positiva sobre a energia nuclear são mais favoráveis a construção de reatores nucleares no Brasil foi testada. Após a aplicação do teste de Fisher as variáveis “Você acha que o Brasil deve construir mais reatores nucleares?” correlacionada com “Uma aula ou um folder contendo material informativo sobre a energia nuclear/radiações poderia mudar suas opiniões?” apresentaram correlação com $p < 0,001$ e o resultado está de acordo com a hipótese formulada. Esses dados indicam que a cartilha esclarecendo as dúvidas sobre os reatores nucleares, pode tornar mais opiniões favoráveis a seu aumento no Brasil. O resultado é apresentado na figura 18.

FIGURA 18: RESULTADO DA COMPARAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE MAIS REATORES X MUDAR DE OPINIÃO

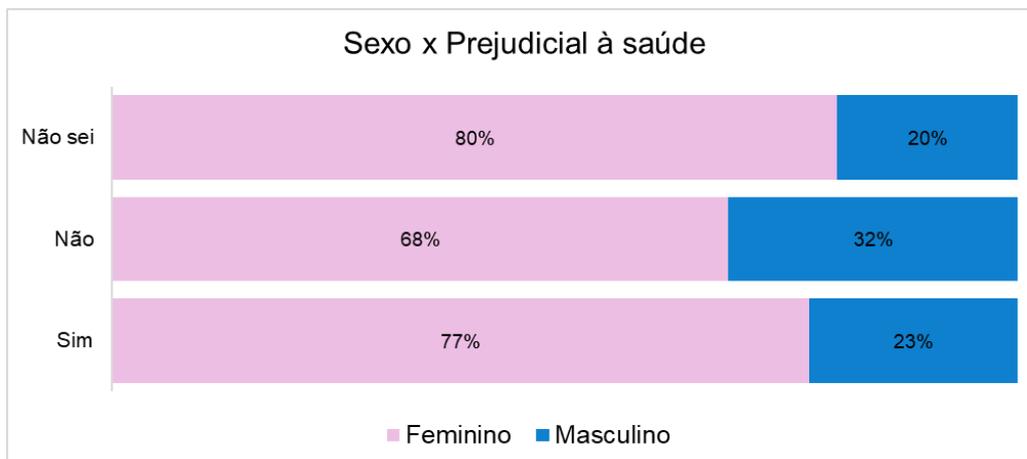


Fonte: Autora da dissertação

- **Sexo**

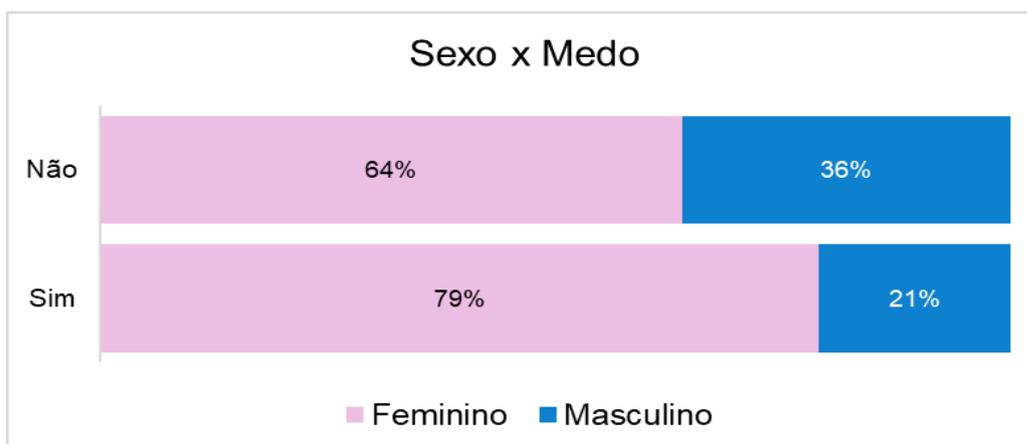
Nesse trabalho a maioria das respostas do questionário são femininas e das hipóteses correlacionadas que não demonstraram correlação foi “Você acha que as pesquisas nas áreas de radiação devem continuar?” que apresentou no teste de Qui Quadrado um $p=0,878$ e a como “Você sabe o que é energia nuclear?” com um $p=0,053$ no teste exato de Fisher. As outras hipóteses apresentaram correlação positivas com o sexo, “Todo tipo de radiação é prejudicial à saúde?” que apresentou no teste de Qui Quadrado um $p=0,031$ (figura 19), com “Você tem medo da energia nuclear e radiações?” apresentou no teste de Qui Quadrado um $p<0,001$ (figura 20), “Você acha que o Brasil deve construir mais Reatores Nucleares?” apresentou no teste de Qui Quadrado um $p<0,001$ (figura 21), “Você acha que o Brasil deve instalar mais equipamentos que utilizem radiações na medicina?” apresentou no teste de Qui Quadrado $p=0,007$ (figura 22), “Uma aula ou folder contendo material informativo sobre energia nuclear/radiações poderia fazer você mudar suas opiniões?” apresentou no teste de Fisher $p=0,004$ (figura 23).

FIGURA 19: RESULTADO DA COMPARAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE - SEXO X TODO TIPO DE RADIAÇÃO É PREJUDICIAL À SAÚDE?



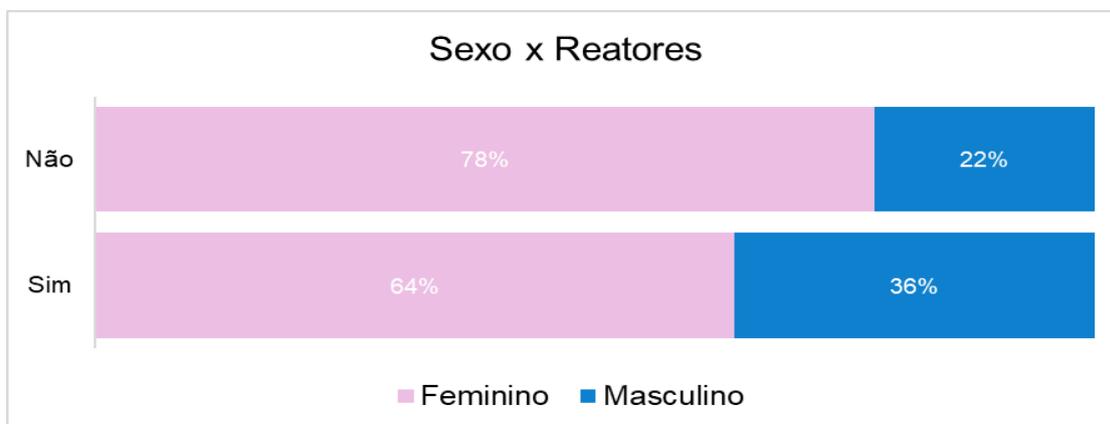
Fonte: Autora da dissertação

FIGURA 20: RESULTADO DA COMPARAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE - SEXO X VOCÊ TEM MEDO DA ENERGIA NUCLEAR E RADIAÇÕES?



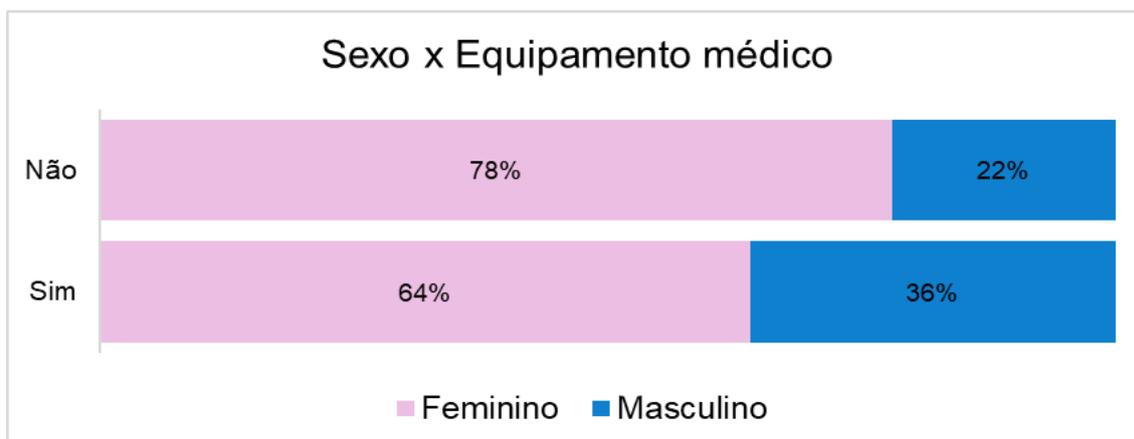
Fonte: Autora da dissertação

FIGURA 21: RESULTADO DA COMPARAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE - SEXO X VOCÊ ACHA QUE O BRASIL DEVE CONSTRUIR MAIS REATORES NUCLEARES?



Fonte: Autora da dissertação

FIGURA 22: RESULTADO DA COMPARAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE SEXO X VOCÊ ACHA QUE O BRASIL DEVE INSTALAR MAIS EQUIPAMENTOS QUE UTILIZEM RADIAÇÕES NA MEDICINA?



Fonte: Autora da dissertação

Figura 23: RESULTADO DA COMPARAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE - SEXO X MUDAR DE OPINIÃO



Fonte: Autora da dissertação

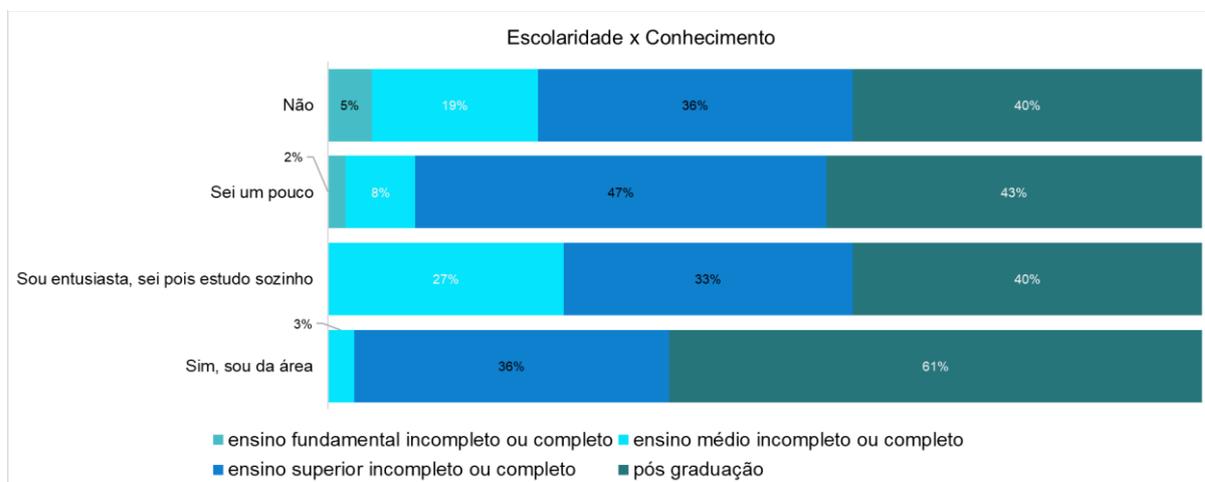
Tem-se uma alta representatividade feminina no questionário, mas a correlação dos dados acima indica que a menor representatividade masculina também tem opiniões positivas quanto negativas sobre a energia nuclear e que nos dias de hoje as mulheres estão mais seguras e atuantes em várias áreas e ambos os sexos manifestaram interesse em saber mais sobre o tema.

- **Escolaridade**

Das hipóteses correlacionadas a escolaridade que não demonstraram correlação foi “Você tem medo da energia nuclear e radiações?” com o resultado no teste de Fisher $p=0,66$, “Todo tipo de radiação é prejudicial à saúde?” no teste de Fisher $p=0,375$ e “Você acha que o Brasil deve construir mais Reatores Nucleares?” no teste de Fisher $p=0,190$.

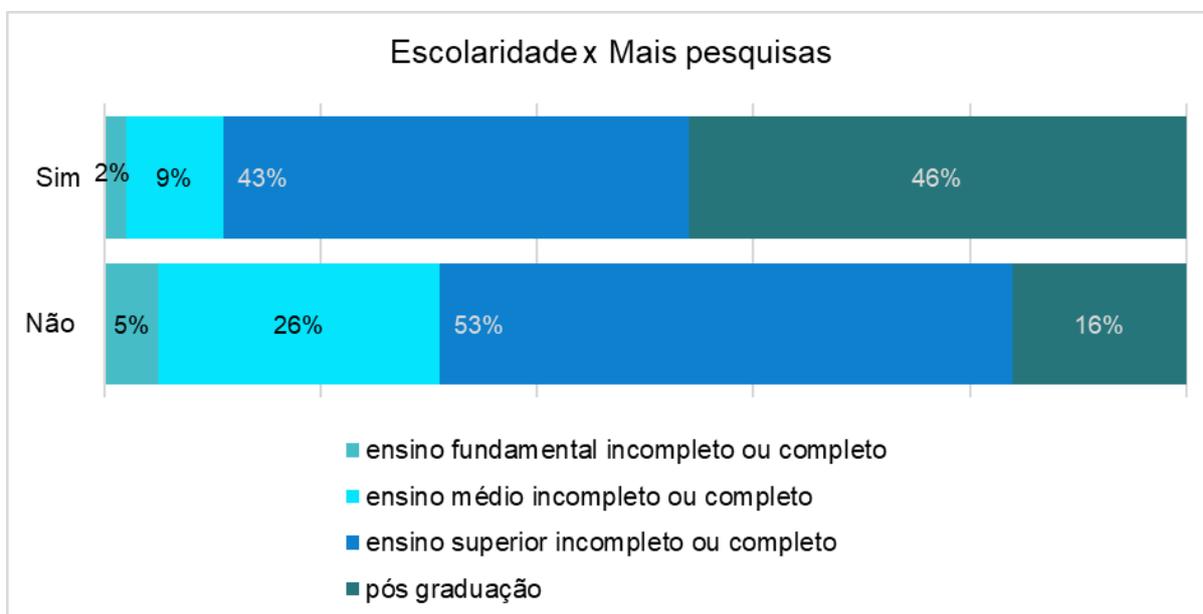
As variáveis “Escolaridade” que apresentaram correlação positiva são: “Você sabe o que é energia nuclear?” no teste de Fisher com $p=0,003$ (figura 24), “Você acha que as pesquisas nas áreas de radiação devem continuar?” apresentou Correlação positiva no teste de Fisher $p=0,008$ (figura 25), “Você acha que o Brasil deve instalar mais equipamentos que utilizem radiações na medicina?” apresentou correlação positiva no teste de Fisher $p=0,005$ (figura 26) e “Uma aula ou folder contendo material informativo sobre energia nuclear/radiações poderia fazer você mudar suas opiniões?” apresentou correlação positiva no teste de Fisher $p=0,045$ (figura 27).

FIGURA 24: RESULTADO DA COMPARAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE - ESCOLARIDADE X VOCÊ SABE O QUE É ENERGIA NUCLEAR?



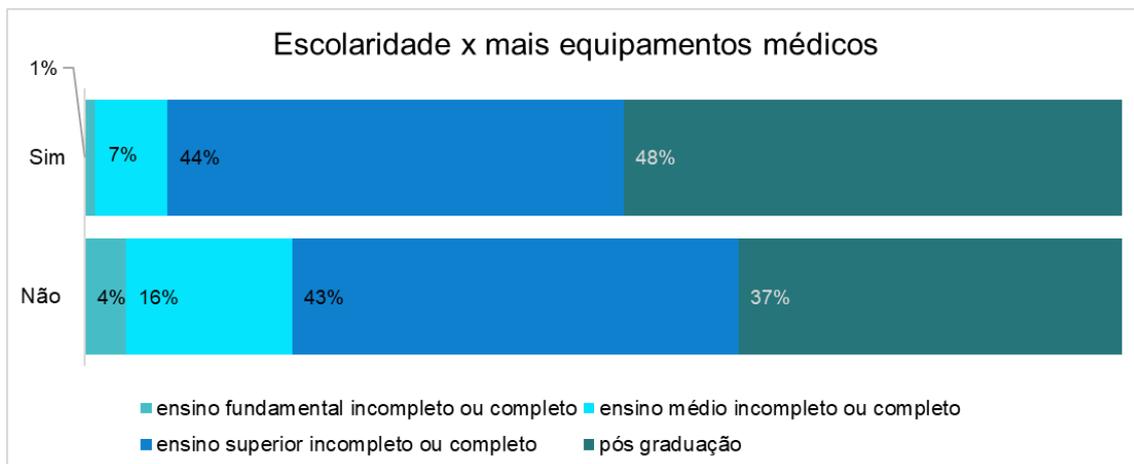
Fonte: Autora da dissertação

FIGURA 25: RESULTADO DA COMPARAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE - ESCOLARIDADE X MAIS PESQUISAS



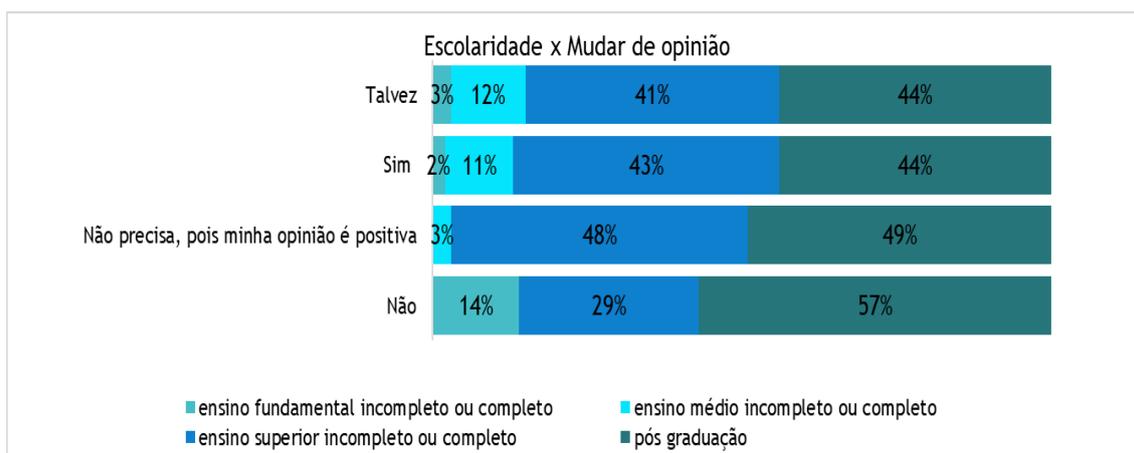
Fonte: Autora da dissertação

FIGURA 26: RESULTADO DA COMPARAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE - ESCOLARIDADE X MAIS EQUIPAMENTOS MÉDICOS



Fonte: Autora da dissertação

FIGURA 27: RESULTADO DA COMPARAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE - ESCOLARIDADE X MUDAR DE OPINIÃO

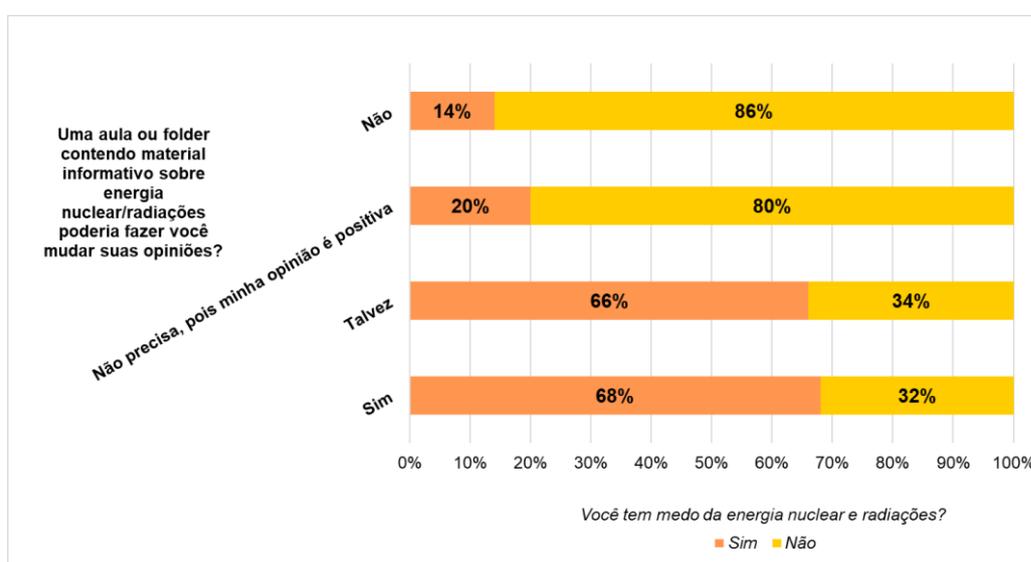


Fonte: Autora da dissertação

Apesar da maioria dos entrevistados tenham ensino superior completo ou cursando e pós-graduação, com esses dados pode-se observar que a escolaridade apresenta uma correlação positiva em quatro variáveis que indicam que os entrevistados de menor escolaridade tem menor conhecimento da área, indicando a construção da cartilha de uma maneira didática e menos científica, mas abordando temas complexos de interesse de todos os níveis de escolaridade.

A variável entre “Medo da radiação” com “Uma aula ou folder contendo material informativo sobre energia nuclear/radiações poderia fazer você mudar suas opiniões?” apresentou uma correlação positiva no teste de Fisher $p < 0,001$, indicando que o medo da energia nuclear pode ser amenizado através de informações, indicando a cartilha como meio dessas informações. A figura 28 mostra o resultado.

Figura 28: com a correlação estatística entre as perguntas “Medo da radiação” com “Uma aula ou folder contendo material informativo sobre energia nuclear/radiações poderia fazer você mudar suas opiniões?”



Fonte: Autora da dissertação

O gráfico mostra que 68 % das pessoas que tem medo de radiação disseram que podem mudar de opinião com uma aula ou folder explicativo. Sessenta e seis por cento disseram que talvez mudem de ideia. Isso mostra que as pessoas estão interessadas em aprender e abertas a mudarem de opinião.

6.3 A Cartilha

A cartilha teve o título “O Uso das Radiações no Cotidiano” e o designer gráfico da cartilha foi feito no MS Powerpoint, com todas as imagens ilustrativas retiradas de sites como o freepik e possuem copyright livre.

No seu início teve uma página dedicada aos resultados da pesquisa de opinião, com os gráficos sobre a faixa etária, sexo, região, conhecimento sobre a energia nuclear e da pergunta “Uma aula ou folder contendo material informativo sobre energia nuclear/radiações poderia fazer você mudar suas opiniões?”, além dos agradecimentos a todos que participaram da pesquisa.

Ela foi dividida em nove tópicos:

1. O átomo e a radioatividade: É apresentado o átomo, sua estrutura e o conceito de radioatividade.
2. Tipos de Radiações: São explicados em vários slides o espectro eletromagnético, a radiação natural, a radiação não ionizante, radiação ionizante, limites de exposição à radiação, dose efetiva, dose absorvida, dose média de radiação em exames de imagem, efeitos das radiações ionizantes no homem, princípio ALARA, geradores de radiação artificial e a diferença entre irradiação e radiação.
3. Radioisótopos e a Medicina Nuclear: O conceito de radioisótopos, medicina nuclear, radiofármacos e os exames de Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET CT) e cintilografia. Neste tópico também é apresentado o reator de pesquisa IEA-R1 do IPEN.
4. Radiologia: Os exames de radiografia, fluoroscopia, tomografia computadorizada, mamografia, tomossíntese e na radioterapia, apresentando a teleterapia e a braquiterapia.
5. Bombas Nucleares: Como na pergunta sobre acidentes nucleares foi lembrada as bombas nucleares de Hiroshima e Nagasaki foi colocado esse tópico.
6. Acidentes Nucleares: Apresentada a escala Internacional de acidentes Nucleares, o acidente de Goiânia, a explosão no reator nuclear de Chernobyl e o acidente na usina nuclear de Fukushima-Daiichi.

7. Usinas Nucleares: Apresentando o esquema de funcionamento, suas barreiras de proteção, vantagens e desvantagens da energia nuclear e o cenário da energia nuclear no mundo. As Usinas de Angra no Complexo Nuclear Almirante Álvaro Alberto, o lixo nuclear e o reprocessamento do combustível nuclear.
8. Usos Inusitados da energia Nuclear: O uso da radiação na esterilização de insetos, esterilização de materiais descartáveis termossensíveis. A inspeção de segurança por meio de raio X em aeroportos, alfândega, prédios comerciais, centros empresariais e presídios. As baterias nucleares.
9. Futuro: Para finalizar projetos futuros como a propulsão nuclear em foguetes, uma nova tecnologia para reatores nucleares, o reator de sal fundido e a bateria betavoltaica.

A cartilha encontra-se no apêndice.

6.4 O site

O site foi desenvolvido na plataforma gratuita **site123**, com o nome Radiação e o Público e o título da tese “Avaliação da percepção pública sobre a radioatividade para criação de cartilha educativa”. Foi dividido pelos seguintes tópicos:

- Resumo do trabalho: é introduzida a proposta de mudar um pouco a opinião negativa sobre a energia nuclear com a criação da cartilha educativa, feita após análise de um questionário de opinião pública.
- Resultados da pesquisa: gráficos com os resultados do questionário.
- Cartilha em fotos: exemplos de páginas da cartilha.
- Download de arquivos: link para baixar a cartilha completa e em tópicos gratuitamente.
- Pessoas e instituição: apresentação das autoras da cartilha e do IPEN.
- Contato: fale conosco, com caixa para deixar nome, telefone, endereço de e-mail e mensagens.
- O Link para o site é 61a7139be421d.site123.me
- O e-mail avaliacaocancer@gmail.com foi criado para contato.

A seguir o site é mostrado:



BEM VINDO (A,E)



RESUMO DO TRABALHO

A energia nuclear atrai o espírito público com suas considerações boas e más aplicações. Quase imediatamente após a descoberta da radioatividade, elementos radioativos purificados pelo casal Curie foram utilizados em tratamentos de saúde. Mas com os benefícios medicinais de Hiroshima e Nagasaki, o nome ficou associado pela maioria pública a sendo relacionado com a morte e a destruição. Hoje em dia, a física nuclear é usada na medicina nuclear para diagnóstico e tratamento de vários tipos de doenças, mas o preconceito e a falta de conhecimento do público em geral ainda são muitos e em "nosso tempo". Este trabalho apresenta um projeto sobre o tema. Através de um questionário foi avaliada a percepção pública sobre a radioatividade, com a finalidade de elaborar uma cartilha para fácil entendimento e disseminação de conhecimentos das aplicações das radiações presentes no nosso cotidiano.



EXEMPLOS DA CARTILHA EM FOTOS

O uso das Radiações no cotidiano

As radiações ionizantes são aquelas com energia suficiente para ionizar átomos e moléculas. Quando Penetram no organismo, elas podem causar danos à saúde. Porém, a radiação ionizante também é utilizada em diversos setores da tecnologia, como na medicina e na indústria.

Novas Tecnologias para o futuro da NUCLEAR

Atualmente, os reatores nucleares são projetados para operar em temperaturas mais altas, o que permite a produção de energia nuclear de forma mais eficiente e segura. Além disso, a tecnologia de reatores de água pressurizada (RÁPV) está sendo desenvolvida para operar em temperaturas mais altas, o que também permite a produção de energia nuclear de forma mais eficiente e segura.

Como a radiação?

As radiações ionizantes são aquelas com energia suficiente para ionizar átomos e moléculas. Quando Penetram no organismo, elas podem causar danos à saúde. Porém, a radiação ionizante também é utilizada em diversos setores da tecnologia, como na medicina e na indústria.

Tipos de radiação

As radiações ionizantes são aquelas com energia suficiente para ionizar átomos e moléculas. Quando Penetram no organismo, elas podem causar danos à saúde. Porém, a radiação ionizante também é utilizada em diversos setores da tecnologia, como na medicina e na indústria.

Benefícios nucleares

As radiações ionizantes são aquelas com energia suficiente para ionizar átomos e moléculas. Quando Penetram no organismo, elas podem causar danos à saúde. Porém, a radiação ionizante também é utilizada em diversos setores da tecnologia, como na medicina e na indústria.

Radiação

As radiações ionizantes são aquelas com energia suficiente para ionizar átomos e moléculas. Quando Penetram no organismo, elas podem causar danos à saúde. Porém, a radiação ionizante também é utilizada em diversos setores da tecnologia, como na medicina e na indústria.

Radiação ionizante

As radiações ionizantes são aquelas com energia suficiente para ionizar átomos e moléculas. Quando Penetram no organismo, elas podem causar danos à saúde. Porém, a radiação ionizante também é utilizada em diversos setores da tecnologia, como na medicina e na indústria.

Radiação e Contaminação

As radiações ionizantes são aquelas com energia suficiente para ionizar átomos e moléculas. Quando Penetram no organismo, elas podem causar danos à saúde. Porém, a radiação ionizante também é utilizada em diversos setores da tecnologia, como na medicina e na indústria.

Compartilhando o conhecimento

As radiações ionizantes são aquelas com energia suficiente para ionizar átomos e moléculas. Quando Penetram no organismo, elas podem causar danos à saúde. Porém, a radiação ionizante também é utilizada em diversos setores da tecnologia, como na medicina e na indústria.

Trabalho em equipe

As radiações ionizantes são aquelas com energia suficiente para ionizar átomos e moléculas. Quando Penetram no organismo, elas podem causar danos à saúde. Porém, a radiação ionizante também é utilizada em diversos setores da tecnologia, como na medicina e na indústria.

Paralelos e Desvantagens da Energia nuclear

As radiações ionizantes são aquelas com energia suficiente para ionizar átomos e moléculas. Quando Penetram no organismo, elas podem causar danos à saúde. Porém, a radiação ionizante também é utilizada em diversos setores da tecnologia, como na medicina e na indústria.

Uso da radiação em alimentos

As radiações ionizantes são aquelas com energia suficiente para ionizar átomos e moléculas. Quando Penetram no organismo, elas podem causar danos à saúde. Porém, a radiação ionizante também é utilizada em diversos setores da tecnologia, como na medicina e na indústria.

Controle nuclear através da água filtrada

As radiações ionizantes são aquelas com energia suficiente para ionizar átomos e moléculas. Quando Penetram no organismo, elas podem causar danos à saúde. Porém, a radiação ionizante também é utilizada em diversos setores da tecnologia, como na medicina e na indústria.

Exatidão de resultados

As radiações ionizantes são aquelas com energia suficiente para ionizar átomos e moléculas. Quando Penetram no organismo, elas podem causar danos à saúde. Porém, a radiação ionizante também é utilizada em diversos setores da tecnologia, como na medicina e na indústria.

Muito obrigado por ter lido nossa cartilha

Para de formar uma grande equipe, qualquer momento é importante estudar e procurar as informações.

Na Educação Nuclear

DOWNLOAD DE ARQUIVOS

Certilha Click no link para o download gratuito	DOWNLOAD
Tópico 1 O Atômio e a Radioatividade	DOWNLOAD
Tópico 2 Radioatividade e Medicina Nuclear	DOWNLOAD
Tópico 3 Tipos de Radiação	DOWNLOAD
Tópico 4 Radioisótopos	DOWNLOAD
Tópico 5 Reações Nucleares	DOWNLOAD
Tópico 6 Aplicações Nucleares	DOWNLOAD
Tópico 7 Efeitos Biológicos	DOWNLOAD
Tópico 8 Novas Aplicações da Energia Nuclear	DOWNLOAD
Tópico 9 O Futuro	DOWNLOAD

[Ver mais](#)

PESSOAS E INSTITUIÇÃO



Alessandra Fabiana Aguiar Marques Fontolan
Aluna do mestrado profissional do IPEN
<http://attes.cnpq.br/3362343400752284>



Carla Daruich de Souza
Orientadora
Professora do Mestrado Profissional
<http://attes.cnpq.br/8451835458608326>



Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
Pós-Graduação Stricto Sensu – Mestrado Profissional em Tecnologia das Radiações em Ciências da Saúde
https://www.ipen.br/portal_por/portal/in_tema.php?tecao_id=2947

CONTATO

São Paulo, State of São Paulo, Brazil
avaliacaocancer@gmail.com

Nome Telefone

Endereço de e-mail

Mensagem

[FALE CONOSCO](#)

[Início](#) [Bem Vindo \(AJ\)](#) [Resumo Do Trabalho](#) [Metodologia E Resultados Da Pesquisa De Opinião](#) [Exemplos Da Cartilha Em Fotos](#) [Download De Arquivos](#) [Pessoas E Instituição](#) [Contato](#)

Direitos autorais © 2022 Todos os direitos reservados. Realização e o Público Desenvolvido Por [SITE 93 - CITE SÃO PAULO](#)

ESTE SITE FOI CRIADO USANDO [SITE 93](#) [CHEGUE SITE AGORA >>>](#)

6.5 Considerações finais

Apesar dos avanços e benefícios da tecnologia nuclear, na maioria dos países a sua educação e treinamento está diminuindo. De acordo com a *Organisation for Economic Co-operation and Development - Nuclear Energy Agency* (OECD-NEA), os alunos em cursos universitários associados estão cada vez menos indo para a área nuclear, devido a inúmeros fatores como a falta de investimentos na área, instalações de pesquisas envelhecidas, reduções do financiamento da energia nuclear pelo governo e principalmente pela percepção pública negativa sobre a área. Se medidas não forem tomadas, em breve faltará profissionais para operar reatores nucleares e dar continuidades a pesquisas importantes para o avanço tecnológico^[30]. Para atrair esses futuros profissionais é necessário iniciativas para a divulgação das aplicações da energia nuclear, com aumento de horas aula no currículo escolar e formação de cursos universitários específicos da área.

A enorme contribuição da energia nuclear na medicina é reconhecida apesar de seus mecanismos serem pouco conhecidos. O Brasil enfrenta problemas desde o acesso ao diagnóstico e terapia, até o financiamento de pesquisas para o desenvolvimento de novos agentes. Por exemplo, o Reator Multipropósito Brasileiro (RMB) pode dar autonomia ao país na produção de radioisótopos e ampliar a capacidade nacional em pesquisa de técnicas nucleares. Com o RMB, o Brasil supriria todo o mercado interno com todos os radioisótopos necessários, seja para a saúde, aplicações industriais e para usos gerais em meio ambiente e agricultura. Também teria a possibilidade de testar e qualificar materiais e combustíveis nucleares^[31].

Vital para atender à necessidade de melhorar o ensino de ciências é o envolvimento de cientistas em parceria colegiada com educadores de ciências. Os parceiros potenciais na educação incluem educadores que trabalham em salas de aula, museus, aquários, planetários e outras organizações que desenvolvem produtos e programas educacionais. Parcerias bem-sucedidas extraem talentos e conhecimentos complementares de cada parceiro e oferecem a oportunidade para que cada um desenvolva capacidades adicionais. Ambas as partes podem aumentar sua consciência e apreciação mútua como

profissionais em esferas aliadas de empreendimento, expandir suas habilidades na co-criação de experiências eficazes de aprendizado de ciências e desenvolver confiança em desempenhar papéis de liderança na reforma da educação científica. Esse desenvolvimento profissional mútuo é a principal vantagem das parcerias entre cientistas e educadores e, embora isso seja bom e valioso para a educação científica, não é fácil de alcançar. Bons parceiros devem se esforçar para enfrentar os desafios naturais e as diferenças culturais que possam surgir de uma forma que seja responsável pelas necessidades finais dos alunos ^[32].

A avaliação da percepção pública realizada neste trabalho mostrou como seu principal resultado que os entrevistados estariam dispostos a mudar de opinião sobre a energia nuclear caso fossem educados sobre o assunto. A cartilha desenvolvida busca atingir esse objetivo, educando de forma descontraída sobre tópicos interessantes e presentes no cotidiano das pessoas.

7 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo a criação de uma cartilha educativa sobre tópicos da física nuclear a partir dos resultados de um questionário que avaliou a percepção pública sobre o tema. Apesar da divulgação do questionário ter atingido pessoas com ensino superior e do estado de São Paulo, a divulgação pelas mídias sociais atingiu modestamente representantes das outras regiões brasileiras e escolaridade abaixo do nível superior. Em sua maioria, os entrevistados foram da área de humanas, um público sem conhecimento específico sobre radiação, importante para verificar suas opiniões e conhecimentos para construção da cartilha. A maior parte dos entrevistados têm pouco conhecimento sobre a radioatividade, já ouviram falar sobre acidentes nucleares e apesar de ter medo e não apoiarem a construção de reatores nucleares no Brasil, apresentaram uma boa aceitação do seu uso para área médica e pesquisas demonstrando interesse em obter mais conhecimento nessa área, validando a importância da construção da cartilha educativa.

Sem dúvida, o principal resultado confirmado pela análise estatística é que a maioria dos entrevistados estão dispostos a mudar de opinião por meio de uma ação educativa.

A cartilha foi construída com um amplo conteúdo sobre a energia nuclear, focando nas suas utilizações pacíficas, sem esquecer de abordar as questões de segurança, de maneira mais didática que científica, para que o público além de esclarecer suas dúvidas possam também aprender sobre a radioatividade, confiando que ao utilizá-la de modo seguro, ela é benéfica para a humanidade e assim apoiar projetos futuros nessa área com maior conhecimento. O material foi disponibilizado para download gratuito num site próprio.

Como a cartilha elaborada fornece material para maior conhecimento da energia nuclear, indica-se para trabalhos futuros uma avaliação sobre a mudança de percepção sobre a radioatividade após a leitura da cartilha, a montagem de uma palestra e a confecção de vídeos educativos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] OKUNO, E.; Radiação: efeitos, riscos e benefícios. Oficina de Textos. São Paulo, 2018, p.23-24; 30-39;61-104; 118-134.

[2] JENKINS, E. W.; *Public understanding of science and science education for action, Journal of Curriculum Studies*, 26:6, 601-611, 1994 DOI: 10.1080/0022027940260602

[3] BARRAGÁN, P., MORTIMER, E. F., & LEAL, A. A.; Avaliação preliminar sobre o conceito de Radiação e suas tecnologias: ideias informais de estudantes do ensino médio. ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS. Florianópolis-SC, 2009. Disponível em: <<http://www.fep.if.usp.br/~profis/arquivos/vienpec/CR2/p1090.pdf>> Acesso em: set. 2021.

[4] COSTA, V. A importância da divulgação científica. 2014. Disponível em: < [http://portal.sbpcnet.org.br/noticias/tunel-da-cienciaquebraa-importancia-da-divulgacao-cientifica/#:~:text=A %20divulga %C3 %A7 %C3 %A3o %20cient %C3 %ADfica %20tem %20um,atividades %20para %20divulgar %20a %20ci %C3 %AAnci](http://portal.sbpcnet.org.br/noticias/tunel-da-cienciaquebraa-importancia-da-divulgacao-cientifica/#:~:text=A%20divulga%C3%A7%C3%A3o%20cient%C3%ADfica%20tem%20um,atividades%20para%20divulgar%20a%20ci%C3%A7%C3%A7%C3%A7%C3%A7%C3%A7)> Acesso em: abr. 2022.

[5] LOBO, B. M.; Proposta de uma metodologia para divulgação da Tecnologia Nuclear. Orientador: Afonso Rodrigues de Aquino. 2017. 110 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP, São Paulo. DOI: 10.11606/D.85.2018.tde-29012018-123504. Disponível em: <http://repositorio.ipen.br/handle/123456789/28472>. Acesso em: set. 2021.

[6] TERREMOTO, L. A. A., Encarando Chernobyl Sem Obscurantismos 2019. Disponível em:< [https://acrobat.adobe.com/link/track?uri=urn %3aaaaid %3ascds %3aus %3a8c0c0eb4-adc5-444e-85e9-d826410089b2#pagenum=1](https://acrobat.adobe.com/link/track?uri=urn%3aaaaid%3ascds%3aus%3a8c0c0eb4-adc5-444e-85e9-d826410089b2#pagenum=1)> Acesso em: jan. 2022.

[7] SANTIAGO, A., Radioproteção na Prática. 2018. Disponível em: <<https://radioprotecaonapratica.com.br/acidente-nuclear-de-fukushima/>> Acesso em: set. 2021.

[8] MOREIRA, A. A.; OLIVEIRA, V. K. ABCMED, 2013. Disponível em: <<https://www.abc.med.br/p/pesquisas/fluoroscopia/360174/como+e+a+fluoroscopia.htm>> Acesso em: set. 2021.

[9] NASCIMENTO, F. B., PITTA, M. G., & RÊGO, M. J. (2015). Análise dos principais métodos de diagnóstico de câncer de mama como propulsores no processo inovativo. Arq. Med., Porto, v. 29, n. 6, p. 153-159.

[10] KOCAK, M. Manual MSD 2019. Disponível em: <<https://www.msmanuals.com/pt-br/profissional/t%C3%B3picos-especiais/princ%C3%ADpios-de-imagens-radiol%C3%B3gicas/tomografia-computadorizada>> Acesso em: set. 2021.

[11] CARVALHO, R.P.; OLIVEIRA, S.M.V.; Aplicações da Energia Nuclear na Saúde. SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA-SBPC. São Paulo, 2017. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/v1/arquivos_diversos/Livros-e-Estudos/aplicacoes-da-energia-nuclear-na-saude.pdf> Acesso em: set. 2021.

[12] SOUZA, CARLA D. de. Parâmetros para produção de fontes de iodo-125 utilizadas em Braquiterapia. Orientador: Maria Elisa Chuery Martins Rostelato. 2016. 75 f. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP, São Paulo. DOI: 10.11606/T.85.2016.tde-22102021-154454. Disponível em: <<http://repositorio.ipen.br/handle/123456789/29835>>. Acesso em: jun. 2021.

[13] COSTA, L. A., & MENEZES, M. Â. Determinação de manganês em presença de ferro: análise de solo por ativação neutrônica instrumental. Processos e

Propriedades do Solo • Rev. Bras. Ciênc. Solo 36 (3), (2012). Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000300009>> Acesso em: out.2021.

[14] SOUZA, C.D., KIM, B. J., KIM, J., KIM, J., JI, W., SON, K.J., CHOI, S M., JIN, G.J.K.A., Tae HONG, T.; *The basics of betavoltaic nuclear batteries. Korean Atomic Energy Research Institute. 2021. International Journal of Current Advanced Research.* Disponível em: www.journalijcar.org. Volume 10; Issue 11 (B); November 2021; Page No.25533-25544 DOI: <http://dx.doi.org/10.24327/ijcar.2021.25544.5098>

[15] SCHWARTZ, L.I.; SHURE, H. J.; *Survey of electric power plants for space applications, in: Fifty-Eight National Meeting of the American Institute of Chemical Engineers, Philadelphia, Pennsylvania, USA, 1965.*

[16] CATALDO, R.L.; BENNET, G.L.; *U.S. Space radioisotope power systems and applications: past, present and future, Radioisotopes – Applications in Physical Sciences, 22 (2010).*

[17] REGO, F.; & PERALTA, L.; *Portuguese students' knowledge of radiation physics. Physics Education. 2006. pp. 259-260-261-262.*

[18] ANDRADE, W. *Uso da radiação ionizante em polímeros de embalagens: conhecimento social: uma análise qualitativa.* Orientador: Jose Eduardo Manzoli. 2011. 58 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP, São Paulo. DOI: 10.11606/D.85.2011.tde-26082011-102440. Disponível em: <http://repositorio.ipen.br/handle/123456789/10010>. Acesso em: set. 2021.

[19] EVANS, K. M.; BODMER, J.; EDWARDS, B.; LEVINS, J., O'MEARA, A.; RUHOTINA, M.; CARNEY, J.K.; (2015). *An Exploratory Analysis of Public Awareness and Perception of Ionizing Radiation and Guide to Public Health Practice in Vermont. Journal of Environmental and Public Health*, p. Volume 2015 |Article ID 476495 | <https://doi.org/10.1155/2015/476495>.

[20] VAN BEUSEKOM, M.; CAMERON, J.; BEDI, C.; BANKS, E.; HUMPHRIS, G. M. 2019. Communication skills training for the radiotherapy team to manage cancer patients' emotional concerns: A systematic review. *BMJ Open* access, pp. April 2019 *BMJ Open* 9(4): e025420 DOI:10.1136/bmjopen-2018-025420 acessado em 15/09/2021.

[21] KOREM, D.; (2016). *The Impact of Knowledge: Patient Education Improves Compliance and Outcomes*. 2016. *Krames Activating Health*. Disponível em: <<https://www.krames.com/insights/the-impact-of-knowledge-patient-education-improves-compliance-and-outcomes>> Acesso em: nov.2021.

[22] CARMO, V. (2013). O uso de questionários em trabalhos científicos. 2013. Disponível em: <http://www.inf.ufsc.br/~vera.carmo/Ensino_2013_2/O_uso_de_questionarios_em_trabalhos_cientificos.pdf> Acesso em nov.2021.

[23] GOOGLE LLC Google Formulários: <https://docs.google.com/forms/u/0/> Acesso em 16/11/2021

[24] FALEIROS F.; KÄPPLER C.; PONTES F.A.R.; SILVA S.S.C.; GOES F.S.N.; CUCICK, C.D.; Uso de questionário online e divulgação virtual como estratégia de coletas de dados em estudos científicos. 2016. *Texto Contexto Enferm*; 25(4): e3880014. <https://doi.org/10.1590/0104-07072016003880014>

[25] BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução do Conselho Nacional de Saúde 510/2016. CNS 510, 2. (2016). Disponível em: <https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/22917581> Acesso em ago.2021.

[26] VALIM, P.; Curiosidades Bizarrras sobre Radiação. 2019 Disponível em: <https://cienciaemacao.com.br/20-curiosidades-bizarrras-sobre-radiacao/> Acesso em: 30. ago. 2021.

[27] GUIMARÃES, A.M.; Estatística: Teste Exato de Fisher e Teste de Qui-Quadrado usando R. 2019 Disponível em: <<https://medium.com/omixdata/estat%C3%ADstica-teste-exato-de-fisher-e-teste-de-qui-quadrado-usando-r-4ee496da37fc>> Acesso mar. 2022.

[28] *The jamovi project* (2021). jamovi. (Version 2.2) [Computer Software] 2021. Disponível em: <<https://www.jamovi.org>>.

[29] Davor KUBALEK, SERŠA, G.; ŠTOK, M.; BENEDIK, L.; JERAN, Z.; *Radioactivity of cigarettes and the importance of ²¹⁰Po and thorium isotopes for radiation dose assessment due to smoking*, *Journal of Environmental Radioactivity*, Volumes 155–156, 2016, Pages 97-104, ISSN 0265-931X, <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.02.015>. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26942842/>> Acesso em: 05. nov. 2021.

[30] NUCLEAR ENERGY AGENCY ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT *Nuclear education and training. Cause for concern? A summary report*. 2000. Disponível em: <https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2019-12/nea2428-education.pdf> Acesso em: Jul. 2022.

[31] PERINI, E. Desenvolvimento de instalação para processamento de radioisótopos de utilização médica. Orientador: Carlos Alberto Zeituni. 2020. 183 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP, São Paulo. DOI: 10.11606/T.85.2020.tde-16092020-101721. Disponível em: <http://repositorio.ipen.br/handle/123456789/31498>. Acesso em: jun. 2022.

[32] MORROW, C; *The Role of Scientist-Educator Partnerships in Improving Science Education*. 2002. Proceedings of the Australian-American Fulbright Symposium 2002. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2002seip.conf....3M/abstract>. Acesso em: jun. 2022.

APÊNDICE

A seguir, a cartilha desenvolvida nesse trabalho é apresentada.

O uso das Radiações no cotidiano

Alessandra Fabiana Aguiar Marques Fontolan
Profa Dra Carla Daruich de Souza

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
São Paulo/SP - Brasil
2022



O desenvolvimento teórico da cartilha foi estudado, desenvolvido e trabalhado pela aluna de Mestrado **Alessandra Marques Fortolan** e sua orientadora **Dra. Carla Daruich de Souza** do **IPEN** – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares no curso de Mestrado Profissional de Tecnologia das Radiações e Ciências da Saúde.

O designer gráfico da cartilha foi feito no MS Powerpoint e todas as imagens ilustrativas foram retiradas de sites como o freepik e possuem copyright livre. Não há intenção de ganho monetário com esse material. Os artistas foram atribuídos nas referências.



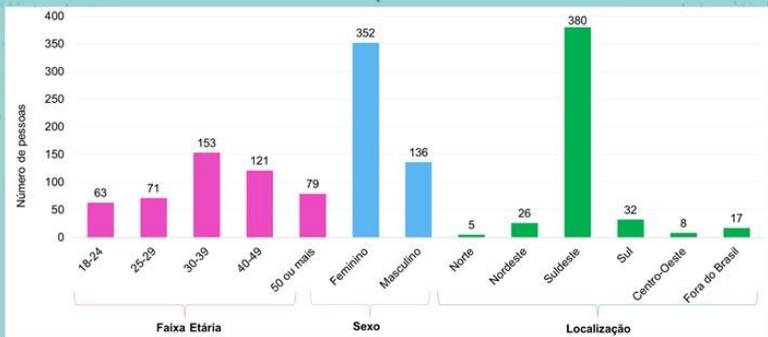
Essa cartilha se encontra gratuitamente para **download** no site <https://61a7139be421d.site123.me/> para acesso gratuito de informações e o nosso contato.

Resultados da pesquisa de opinião

Fizemos uma pesquisa de opinião para fundamentar essa cartilha



Participantes



Você sabe o que é energia nuclear?



Uma aula ou folder contendo material informativo sobre energia nuclear/radiações poderia fazer você mudar suas opiniões?



Nossos sinceros agradecimentos à todos que participaram da pesquisa

Nosso material serve para você que quer saber um pouco mais sobre a energia nuclear e seus usos. Trazemos uma linguagem simples e esperamos que você se divirta aprendendo!



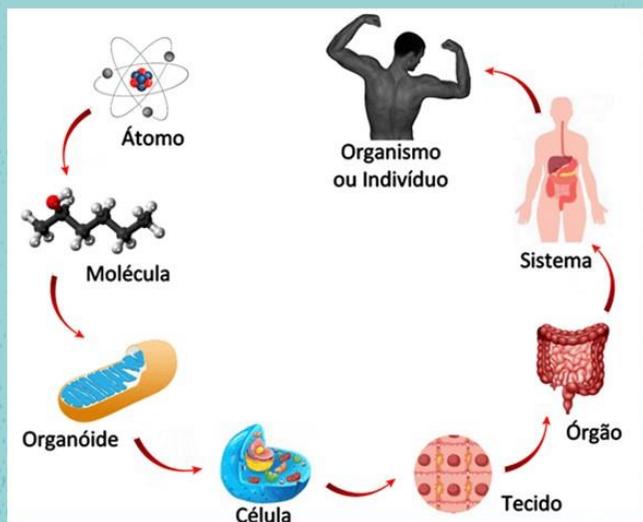


O que é radioatividade?

É um fenômeno natural ou artificial no qual átomos radioativos emitem sua energia extra (radiação) para se estabilizar.



Vamos explicar começando pelo átomo, que forma toda a matéria.

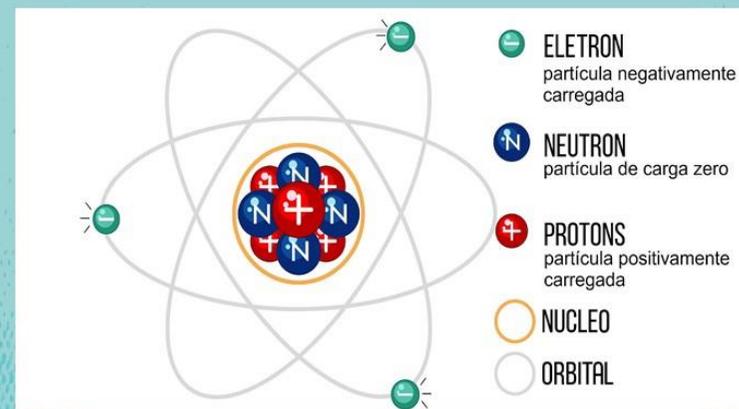


O átomo é a menor unidade em que a matéria pode ser dividida sem a liberação de partículas eletricamente carregadas.



É formado por elétrons e núcleo, O núcleo é subdividido em prótons e nêutrons.

Os elétrons no átomo se movimentam ao redor do núcleo, assim como os planetas giram ao redor do sol.

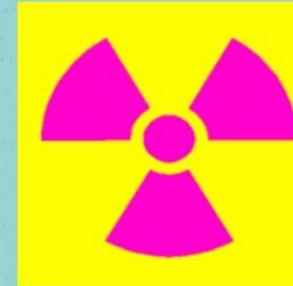
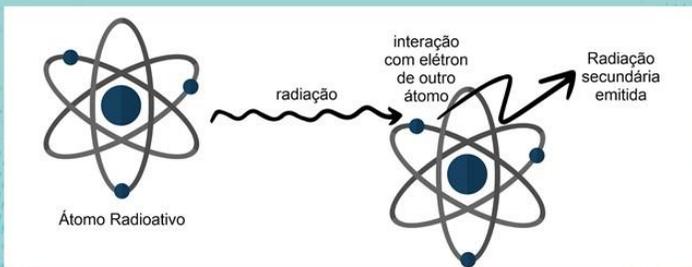


Quando os átomos são instáveis, ou seja, tem energia demais, essa energia precisa ser emitida para ele se estabilizar. Essa energia é chamada de RADIAÇÃO



Essa energia vem primariamente do núcleo do átomo, mas ela pode também ter sido gerada por uma interação secundária

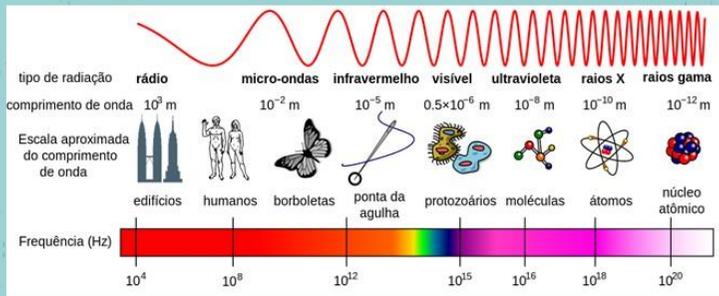
Por exemplo



02 Tipos de Radiações

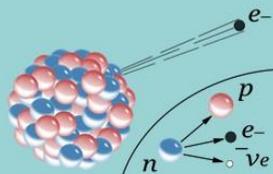
As radiações geradas na hora da quebra do núcleo podem ser de caráter eletromagnético (ondas) ou partículas. Podem gerar ainda mais radiação quando interagem com a eletrosfera do átomo, ou pela interação com outros núcleos.

Espectro eletromagnético



Dependendo do comprimento de onda envolvido, uma radiação pode ser classificada em ionizante ou não ionizante.

Radiação particulada - exemplo elétrons



Podem ser vários tipos como um elétron, um próton ou uma radiação alfa (2 prótons e 2 nêutrons juntos), entre outros.

Radiação não ionizante

É uma radiação de baixa energia, mas de alcance longo que vai até a ultravioleta no espectro magnético.

- Por exemplo:
 - Óptico que é a energia associada a luz como o laser, o infravermelho e ultravioleta
 - Radiofrequência que incluem as ondas de rádio e micro-ondas



Símbolo internacional de advertência de radiação óptica

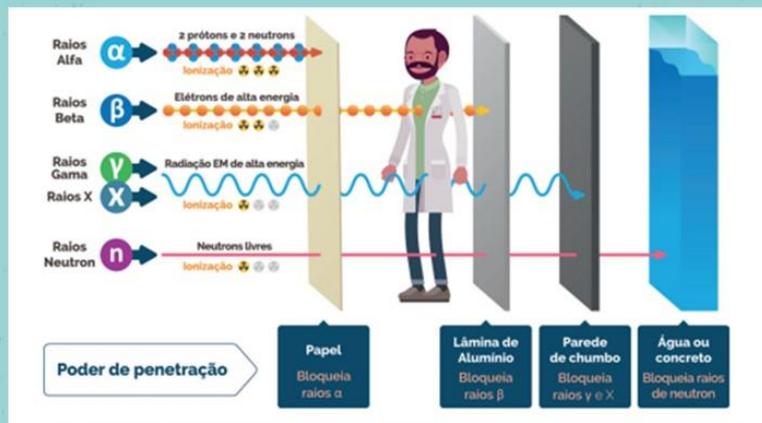
Também temos que tomar cuidado com essas radiações, usando filtro solar para nos proteger dos raios ultravioletas que podem causar câncer, óculos de proteção para o Laser, muito aplicado hoje a procedimentos estéticos, mas que podem prejudicar os olhos.

Por emitir radiação não ionizante, o microondas não causa nenhum efeito maléfico



Radiação ionizante

- Radiação com os maiores níveis de energia tem alcance mais “curto”, mas alto poder de penetração, interagindo com a matéria podendo arrancar elétrons dos átomos. Podemos necessitar de proteção quando perto dela. Geradas por fontes naturais ou dispositivos são as partículas α , partículas β , Raios-X, radiação γ e nêutrons.



Materiais radioativos são aqueles que emitem radiação ionizante

Radiação natural

São materiais ou regiões que são naturalmente radioativos. Estão à nossa volta no solo, rochas, alimentos e raios cósmicos que atingem a terra.

- Raios cósmicos são partículas que caem na terra do espaço sideral com alta energia, mas felizmente a atmosfera terrestre brinda a maior parte dessas radiações. Ainda bem!!!!
- Elementos radioativos formados por fusões nucleares são encontrados no solo, em rochas e na água.



Por isso a tripulação de um submarino nuclear está menos sujeita a radiação do que alguém em solo, pois o combustível está em um compartimento blindado, e que quem está em terra seca se sujeita à radiação natural.

Areia radioativa??

Praia de Meaípe



Praia Preta



Nas praias de Areia Preta e Meaípe em Guarapari, no Espírito Santo, as areias são radioativas. Essa areia contém monazita, um mineral raro que contém urânio e tório radioativo, emitindo 175 mSv por ano, o que é muito mais do que o normal em uma cidade brasileira.

Dose efetiva anual devido a radiação natural	
Fonte	média mundial
Radiação cósmica	0,4mSv
Radiação terrestre	0,5mSv
inalação	1,2mSv
ingestão	0,3mSv

Mas qual é o limite de exposição à radiação?



A Comissão Nacional de Energia Nuclear (CEN) estabeleceu a Norma Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica com limites de exposição à radiação para os Indivíduos Ocupacionalmente Expostos (IOE) e para os Indivíduos do Público, que são as pessoas que não trabalham em áreas de radiação.

Efeito das radiações ionizantes no homem

Qualquer dose absorvida, inclusive as provenientes da radiação natural, pode induzir câncer ou matar células. Então o efeito no nosso organismo depende da dose absorvida, da taxa de exposição crônica ou aguda e da forma da exposição se é localizada ou no corpo inteiro. Quanto maiores as taxas de doses absorvidas, maiores as probabilidades de danos, de mutações precursoras de câncer e de morte celular.

Efeitos da exposição aguda em adulto

FORMA	DOSE ABSORVIDA	SINTOMATOLOGIA
Infra-clínica	Inferior a 1 Gy	Ausência de sintomatologia na maioria dos indivíduos.
Reações gerais leves	1-2 Gy	Astenia, náuseas, vômitos (3 a 6 hs. Após a exposição; sedação em 24 hs.)
Hematopoiética leve	2-4 Gy	Função medular atingida: linfopenia, leucopenia trombopenia, anemia; recuperação em 6 meses.
Hematopoiética grave	4-6 Gy	Função medular gravemente atingida.
DL ₅₀	4-4,5 Gy	Morte de 50% dos indivíduos irradiados
Gastro-intestinal	6-7 Gy	Diarréia, vômitos, hemorragias, morte 5 ou 6 dias.
Pulmonar	8-9 Gy	Insuficiência respiratória aguda, coma e morte entre 14 e 36 h.
Cerebral	superior a 10 Gy	Morte em poucas horas por colapso

A unidade de dose absorvida é o Gray (Gy ou Joule/kg).

Já a quantidade de energia depositada pela radiação recebida por uma pessoa é chamada de Dose e sua medida é realizada na unidade de milisievert (mSv).

Limite de dose anuais			
Grandeza	Órgão	IOE	Público
Dose efetiva	Corpo inteiro	20mSv *	1mSv
Dose equivalente	Cristalino	20mSv **	15mSv
	Pele	500mSv	50mSv
	Mãos e pés	500mSv	-

* Limite de Dose Efetiva de 100 mSv em 5 anos consecutivos e 50 mSv em um único ano
 ** Limite de Dose Equivalente de 100 mSv em 5 anos consecutivos e 50 mSv em único ano.

O processo de exposição médica que considera o uso de baixas doses de radiação ionizante deve enquadrar-se dentro de critérios apropriados, avaliando sempre a relação risco/ benefício para o paciente, otimizando o benefício em relação ao malefício da utilização das radiações ionizantes.



Usa-se o princípio ALARA (*As Low Reasonably Achievable*) traduzindo “Tão baixo quanto razoavelmente exequível”.

Dose média de radiação em exames de imagens	
Exames de imagens	Dose média de radiação efetiva
Radiografia de tórax	0,1mSv
Radiografia de abdômem	1mSv
Mamografia	0,7mSv
Tomografia de crânio	2mSv
Tomografia de abdômem	10mSv
Tomografia de tórax	7mSv
Angiografia	12mSv
Pet scan	7mSv

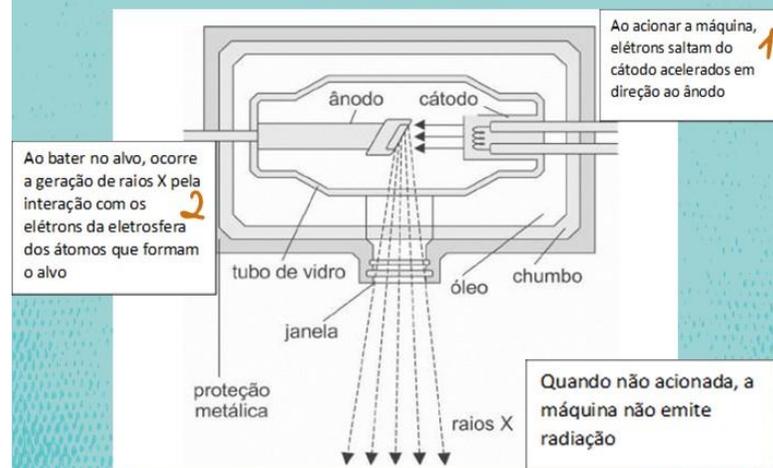
Geradores de radiação artificiais

Dentre os mais importantes tipos de geradores de radiação artificial destacam-se os tubos de raio-X e os aceleradores de partículas. Os dispositivos de raio-X e aceleradores de partículas utilizam a energia elétrica para acelerar partículas e gerar radiação.

Irradiadores utilizam radioisótopos como fonte de radiação que ficam blindados por materiais capazes de barrar a radiação, permitindo uma exposição controlada.

Fontes de nêutrons utilizam reações nucleares produzidas por partículas alfa emitidas por um material radioativo em um determinado alvo.

Tubo de Raios-X

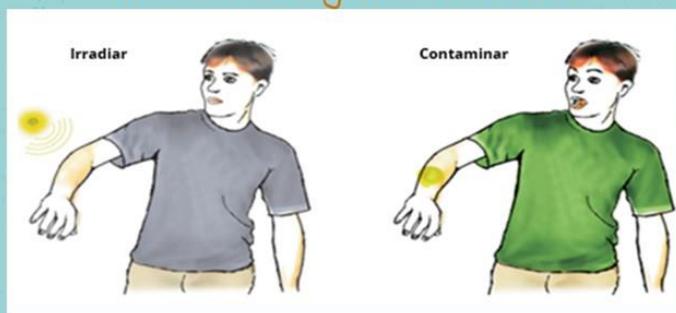


Irradiação e Contaminação

A irradiação ocorre quando algo é exposto à radiação emitida por um elemento radioativo, mas sem entrar em contato direto com o material radioativo, não se tornando uma fonte de radioatividade e nenhum perigo para as pessoas.

Já a contaminação radioativa acontece quando um material radioativo entra em contato com um objeto e até pessoas sendo absorvido, tornando o recipiente radioativo. A descontaminação radioativa consiste em retirar o contaminante da área afetada.

Irradiar não significa contaminar



O Contador Geiger é o detector mais utilizado para medir a intensidade da radiação.



Lembre-se: por que um material foi irradiado, ele não se torna radioativo. Materiais só se tornam radioativos mediante a fontes de nêutrons (reator nuclear) ou em aceleradores de partículas (ciclotron).



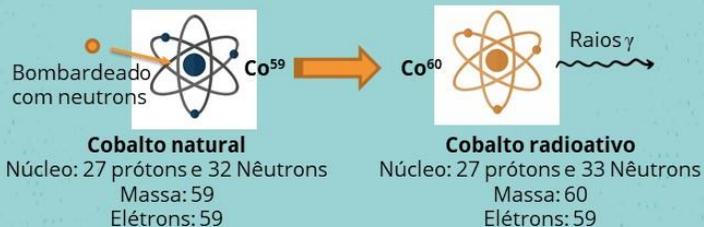
Radioisótopos

Os Radioisótopos são formados por átomos com o mesmo número atômico e diferentes números de massas (isótopos) que emitem radiação.



São produzidos em reatores nucleares de produção ou pesquisa, aceleradores, concentrados da natureza por processos químicos, ou obtidos pelo reprocessamento do combustível nuclear.

Na natureza temos o exemplo do cobalto que tem 59 de massa, sendo totalmente estável, mas quando um nêutron colide com seu núcleo o átomo é modificado, passando a adquirir propriedade radioativa com a massa de 60 e emitindo raios gama.



Todo elemento radioativo vai se desintegrando com o tempo, esse é o decaimento radioativo.

O tempo necessário para que metade dos núcleos radioativos reduza-se a metade é chamado de meia vida.

Radioisótopo	Meia-Vida
Carbono 15	2,4 s
Xenônio-135	9 h
Fósforo 32	32 dias
Enxofre 35	87 dias
Cobalto 60	5,26 anos
Estrôncio 90	28,1 anos
Césio 137	30,17 anos
Carbono 14	5.730 anos
Plutônio 239	24.110 anos
Urânio 235	713 milhões de anos

Os irradiadores utilizam radioisótopos como fonte de radiação, que ficam blindados por materiais capazes de barrar a radiação, permitindo uma exposição controlada.



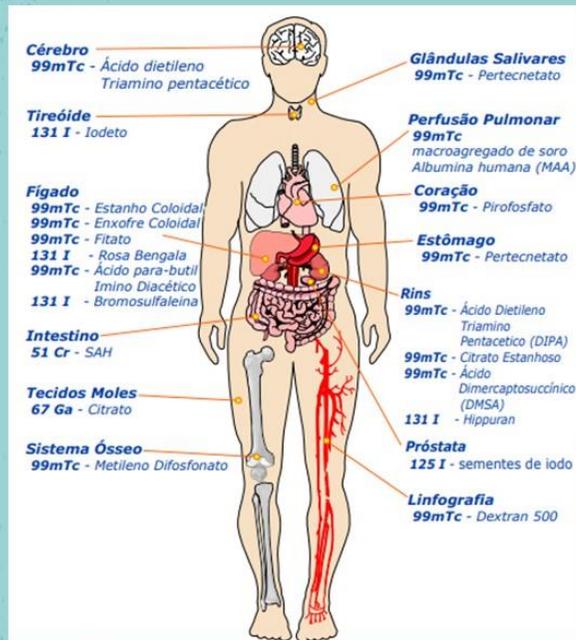
Irradiator do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, localizado na USP em São Paulo

No irradiador do IPEN, as fontes de Cobalto-60 ficam protegidas por blindagem pesadas de chumbo. Enquanto não estão sendo utilizadas, ficam embaixo de uma piscina de água. Aqui a água é utilizada como barreira de proteção.



Medicina Nuclear

Usa fontes radioativas não seladas, ou seja, os próprios radioisótopos que ligados a moléculas de interesse biológico formam um radiofármaco emissor de radiação. O radiofármaco é mapeado dentro do corpo do paciente usando um detector externo, como uma câmara de cintilação (cintilografia) ou um tomógrafo por emissão de pósitrons (PET).



O fármaco tem afinidade pela parte alvo que se quer estudar (por exemplo, um câncer). Ele se acumula lá e a radiação emitida pode ser usada para visualizar o local ou tratar a doença.



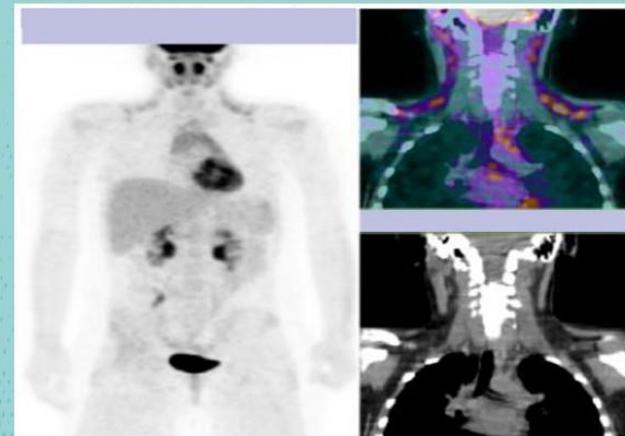
Essa metodologia é utilizada no tratamento de várias doenças como hipertireoidismo, dores ósseas, diversos tipos de câncer e tumores específicos e no diagnóstico de doenças como a embolia pulmonar, infecções agudas, infarto do miocárdio, câncer, obstruções renais, demências entre outros. O material tem meia-vida curta, passando rapidamente pelo corpo do paciente.

Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET/CT)

É um exame capaz de avaliar alterações metabólicas e funcionais junto com a anatomia para diagnosticar precocemente tumores e cânceres em fase bem inicial.

Para realizar esse exame o paciente recebe na veia uma pequena quantidade controlada e segura de material radioativo (geralmente o radiofármaco ^{18}F -FDG), necessário para a captação das imagens do exame. Esse material vai se espalhar pelo corpo do paciente e concentrar-se em maior quantidade em locais com metabolismo mais intenso e maior consumo de glicose, como o tumor.

A gravidade do câncer é avaliada com base na luminosidade de algumas partes, quanto mais intenso o brilho nos resultados, maior a atividade metabólica.



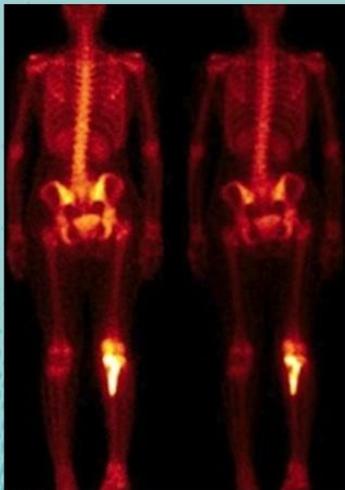
Exame de PET/CT utilizando a radiação emitida pelo ^{18}F -FDG. O FDG é fluorodesoxiglicose marcada com Flúor-18, radiofármaco análogo da glicose.

Cintilografia

A cintilografia é utilizada para investigar localização e progressão de tumores e metástases, usando radiofármacos, como o iodo-131 e o gálio-67.

Eles são administrados e absorvidos pelos órgãos, emitindo uma radiação que é detectada pelo equipamento tornando possível verificar como o radiofármaco se distribui no organismo.

O normal é que a substância se distribua uniformemente no corpo, mas quando ocorre uma grande concentração de radiofármaco em um órgão ou região do corpo é indicativo de doença.



Cintilografia de corpo inteiro

Iodo-131: avaliação de tireoide ou metástases em quem já realizou a retirada da tireoide;

Gálio-67: utilizado para verificar a evolução dos linfomas, pesquisar metástase e investigar infecções;

Octreotide (Índio-111 ou Iodo-123): para processos tumorais de origem neuroendócrina, como os tumores de tireoide, pâncreas e o feocromocitoma;



Você sabia que tem um reator nuclear dentro da cidade de São Paulo?

No campus da USP temos o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, o **IPEN**, onde foi construído em 1956 o IEA-R1 um reator de pesquisa tipo piscina. Os reatores de produção ou pesquisa são diferentes dos que geram energia, pois são menos potentes e possuem canais de irradiação que levam o material a ser ativado diretamente para o núcleo.



Você pode visitar o reator do IPEN! É só entrar em contato!

No reator nuclear a fissão nuclear é controlada, com mecanismos que impedem uma reação descontrolada e permitem que os produtos da reação sejam aproveitados para gerar energia elétrica, produzir radiofármacos utilizados na medicina nuclear e pesquisas de física nuclear. É nesse reator que radioisótopos para a medicina nuclear são fabricados e novos são desenvolvidos.



O IPEN também tem a Radiofarmácia que processa os radioisótopos e os prepara para distribuição para os hospitais



Hot-Cell de manipulação



Processamento de materiais



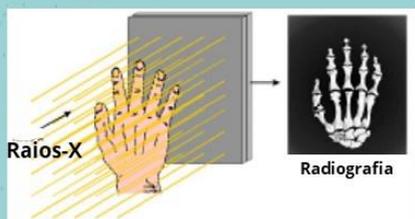
Radiofármacos



04
Radiologia

Radiografia

O mais antigo e conhecido uso da radiação ionizante é a radiografia, que através da emissão de Raios-X produz imagens internas do corpo. Já vimos como é produzido o Raio-X !!!!!



Esses raios atravessam o corpo, sendo mais absorvidos pelas partes mais densas como os ossos e dentes, e menos em tecidos moles e órgãos, permitindo a formação de uma imagem onde é possível distinguir essas estruturas.

Fluoroscopia

É um exame que fornece imagens em movimento e em tempo real do interior do corpo, a partir da emissão de Raios-X de um Fluoroscópio. Permite compreender movimentações orgânicas internas, mediante o uso de contrastes, seguindo o direcionamento de um instrumento no interior do corpo ou de um catéter que esteja sendo introduzido nos vasos sanguíneos.



Ingestão do contraste de bário no exame de fluoroscopia

Tomografia Computadorizada

Exame que permite a obtenção de uma série de radiografias em múltiplos ângulos por uma fonte e um tubo detector de Raios-X dentro do equipamento.

Com as informações, é possível realizar uma reconstituição tridimensional da imagem por computação, possibilitando a visualização da imagem num monitor de vídeo em fatias sem sobreposição de órgãos, com a reconstituição em três dimensões oferecendo uma diferenciação melhor entre as várias densidades de tecidos moles.



Paciente realizando exame de Tomografia Computadorizada

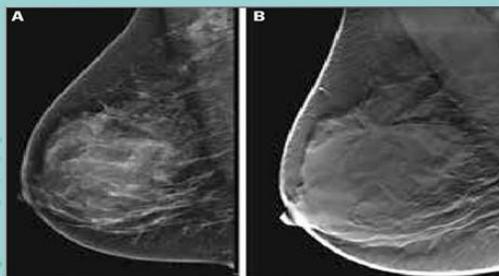
Mamografia e Tomossíntese

A **mamografia** é realizada por um equipamento específico, o mamógrafo, onde são utilizados Raios-X com uma energia baixa, capaz de uma absorção diferencial que possibilita a visualização dos músculos e estruturas adiposas que formam a mama.

Já na **Tomossíntese ou Mamografia 3D** utiliza-se um mamógrafo digital em que o tubo de raios-X faz uma trajetória em forma de arco sobre a mama comprimida, em ângulos variáveis, obtendo-se projeções mamográficas com baixa dose de radiação, que são reconstruídas utilizando a tecnologia digital similar à tomografia.



É super importante, tanto no rastreamento quanto no diagnóstico do câncer de mama, que todas as mulheres acima de 40 anos façam a mamografia!



A: mamografia (2D) e B: Tomossíntese (3D).

Radioterapia

Muito usada no tratamento de câncer, a radioterapia usa a radiação ionizante para diminuição ou destruição de tumores, usando o princípio de maximizar o dano no tumor e minimizar o dano nos tecidos saudáveis. As células tumorais são mais sensíveis à radiação por se dividirem com muita frequência e possuírem alto acúmulo de água e oxigênio.

Ela é dividida em duas modalidades: a Teleterapia e a Braquiterapia.

Teleterapia

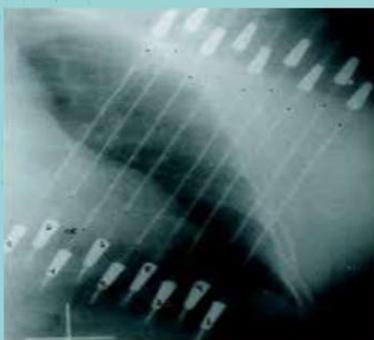
A fonte de radiação fica longe do tumor. No início do desenvolvimento desse tratamento, eram utilizados equipamentos com uma fonte radioativa, como o Cesapan F-3000, que causou o acidente de Goiânia, que utilizava césio-137. A partir da década 70 começaram a ser utilizados aceleradores lineares, os Linacs, para a teleterapia. Eles produzem Raios-X de alta energia e elétrons acelerados a partir da energia elétrica.



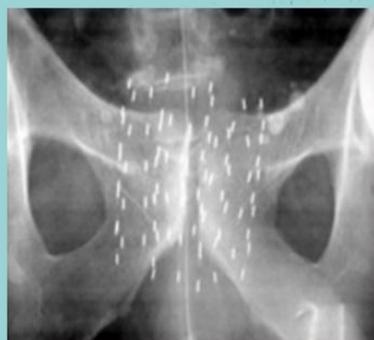
Acelerador Linear Elekta Versa HD

Braquiterapia

A fonte da radiação é colocada perto ou em contato com o tumor e tem a vantagem de focar ainda mais nos efeitos das radiações no alvo. É muito utilizada no tratamento de Câncer de Cabeça e pescoço, mamas, próstata e colo de útero. Com esse método a maior dose de radiação atinge os tecidos tumorais, poupando os tecidos saudáveis.



Braquiterapia de mama com agulhas de irídio-192



Braquiterapia de próstata com sementes de iodo-125

Como exemplo, pode-se citar as sementes de iodo-125, fios e pellets de irídio-192, placas de fósforo-32, entre outros. A dose de radiação pode ser liberada por um curto período, com implantes temporários, ou até o decaimento da fonte, implantes permanentes. Recentemente, criou-se outro ramo da braquiterapia, chamado de nanobraquiterapia. Os estudos são promissores e principalmente realizados com ouro-198.



Você sabia? O Brasil tem projeto para produzir as sementes de iodo-125 com tecnologia nacional. O laboratório de produção está 80% pronto.



Glove box para selagem de sementes de iodo-125



05
Bombas Nucleares

Bombas Nucleares

A bomba nuclear é feita para explodir através de uma reação em cadeia rápida formada por uma quantidade material radioativo como o urânio enriquecido acima de 90%. Temos como exemplo as bombas atômicas que devastaram Hiroshima e Nagasaki no fim da Segunda Guerra Mundial.

Por comparação, um Reator Nuclear é construído com uma concentração de Urânio muito baixa, $\approx 3\%$, e com materiais absorvedores de nêutrons que controlam e até acabam com a reação em cadeia, de forma que não possa explodir como uma bomba atômica.



A temperatura da Bomba atômica jamais foi vista na terra!!!!



Modelo pós-guerra de "Little Boy", a bomba atômica que explodiu sobre Hiroshima



Explosão causada pela bomba nuclear lançada sobre a cidade de Hiroshima

Graças ao Tratado de Não Proliferação Nuclear (TNP), esse futuro sombrio nunca aconteceu. O número de países com armas nucleares permanece muito pequeno e o número de armas nucleares em todo o mundo caiu drasticamente.



06

Acidentes nucleares

Acidentes Nucleares

A Escala Internacional de Acidentes Nucleares (INES) estabelece uma escala de gravidade para acidentes e incidentes nucleares, com a função de comunicar ao público a gravidade de eventos relacionados ao transporte, armazenamento e uso de material radioativo e fontes de radiação, inclusive com usinas nucleares.



Como em qualquer outra atividade humana, não é possível evitar totalmente a ocorrência de incidentes e acidentes e é necessário um extremo cuidado. Apesar disso, a energia nuclear e as radiações estão próxima de nossa vida de muitas maneiras positivas.

Escala Internacional de Acidentes Nucleares (INES)

- Nível 1 – Anomalia: Incidentes que não afetam a população ou o meio ambiente
- Nível 2 – Incidente: Casos em que trabalhadores se expõem além do limite legal anual de radiação acima de 50 mSv por hora em área operacional.
- Nível 3 – Incidente grave: Exposição 10 vezes acima do limite anual pré-fixado para trabalhadores com consequências não letais e agravamento de poluição em área não coberta.
- Nível 4 – Acidente com consequências locais: Liberação em pequena quantidade de materiais radioativos ao ambiente com pelo menos 1 morte ou em grande quantidade dentro de uma instalação e fusão do combustível nuclear.
- Nível 5 – Acidentes com consequências de longo alcance: Liberação de quantidade limitada de materiais radioativos com mortes ou grande quantidade dentro de uma instalação.
- Nível 6 – Acidente Grave: Liberação em quantidade importante de materiais radioativos para o ambiente externo, passível de exigir aplicação de medidas remediadoras..
- Nível 7 - Acidente mais grave ou superior: Liberação extensa de material radioativo com efeitos amplos sobre a saúde da população e do meio ambiente, com exigência de ações remediadoras planejadas pelas autoridades.

No Brasil ocorreu um dos piores acidentes radiológicos do mundo, o acidente de Goiânia, um evento classificado como 5 na escala INES !!!!!



Acidente de Goiânia

Em 1987 na cidade de Goiânia dois catadores de papel acharam um equipamento de radioterapia abandonado e o venderam a um ferro velho como sucata. Violaram a blindagem de chumbo contendo uma pastilha de céσιο-137, e pedacinhos dessa fonte que emite uma luz azulada foram distribuídos, espalhando uma contaminação que causou quatro mortes, evacuação de 41 casas contaminadas e um volume total de 3.500 m³ rejeitos radioativos.



Esses rejeitos radioativos foram enterrados na cidade de Abadia de Goiás, onde foi criado o Parque Estadual Telma Ortega.

Resposta da CNEN

A CNEN foi notificada na tarde de 29 de setembro de 1987 e enviou imediatamente uma equipe ao local. Concluiu-se que a situação era grave. A CNEN enviou então equipes de proteção radiológica, controle ambiental, rejeitos radioativos e assistência médica. Além disso, foi deixado de sobreaviso o Hospital Naval Marcílio Dias – HNMD no Rio de Janeiro, único no país com uma enfermaria especializada em contaminados por material radioativo.



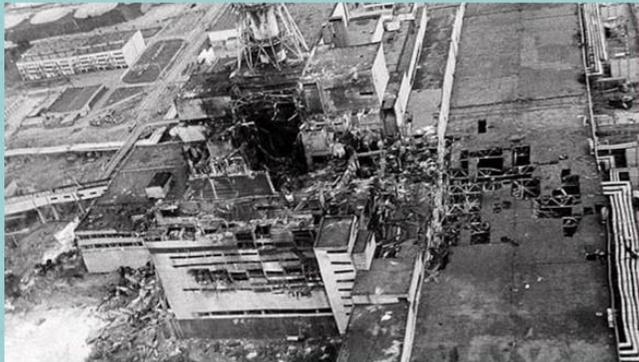
Área do depósito de rejeitos radioativos



Hoje em dia a Comissão Nacional de Energia Nuclear mantém padrões internacionais de gestão e controle devidamente as fontes radioativas em território nacional.

Explosão no Reator Nuclear de Chernobyl

A explosão do reator nuclear de Chernobyl, na Ucrânia, em 1986 foi um acidente de nível 7. Um teste de segurança causou uma queda repentina da potência do reator com aumento na pressão do núcleo do reator até a sua explosão. Essa explosão liberou uma quantidade de material radioativo por duas semanas que contaminou uma grande área da antiga União Soviética e Europa.



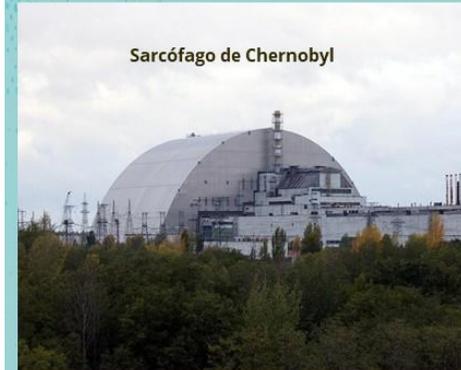
Reator Nuclear de Chernobyl após a explosão

Os níveis de radiação foram alarmantes porque o prédio do reator não tinha um vaso de contenção. Essa estrutura, hoje presente em TODOS os reatores nucleares do mundo, consegue se manter estruturalmente intacta mesmo com o impacto de um avião comercial.



Vale ressaltar que esse acidente foi causado por erro humano e falha de comunicação. Não foi uma falha mecânica ou de tecnologia.

Confinamento sobre o reator de Chernobyl



Sarcófago de Chernobyl

O reator da usina recebeu um novo sarcófago de aço, concreto e chumbo, que deve durar pelos próximos 100 anos.

Uma área de 30 km em volta do reator acidentado foi evacuada e continua radioativa até hoje e só será segura para a vida humana daqui a 20 mil anos. Incrivelmente, foi achado um fungo, o *Cryptococcus neoformans* vivendo no interior e em torno do reator.



Cryptococcus neoformans

Esses fungos são capazes de utilizar o pigmento melanina para converter radiação gama em energia para o seu crescimento. Por essa capacidade incomum ele foi enviado para pesquisa no espaço!!!

Acidente na Usina Nuclear de Fukushima-Daiichi

O último grande acidente nuclear ocorreu no Japão, em 2011 na Usina Nuclear de Fukushima-Daiichi. Foi iniciado por um tsunami causado pelo terremoto de Tohoku, que deixou a usina sem energia e desativou os sistemas de resfriamento dos reatores. Resultou em três colapsos nucleares e a liberação de material radioativo.

A maioria da radiação acabou sendo direcionada para o Oceano Pacífico e os materiais contaminados permanecem radioativos por 100.000 anos



Usina nuclear de Fukushima I antes e depois do terremoto e tsunami. Os números marcam os reatores nucleares 1, 2, 3 e 4.



O tsunami causou uma falha na infraestrutura da usina, mas não houve ações corretivas de segurança antes do desastre. A agência japonesa de energia, a Tepco, tinha conhecimento sobre essas falhas de instalação desde 2008!!!!

Comparação entre Fukushima e Chernobyl

Em entrevista à AFP, Albert Vasiliyev, diretor do Rosatom (centro de segurança ecológica da agência nuclear russa) disse que: “Em Chernobyl, o reator foi levado a uma situação de emergência por falha humana. Mas em Fukushima não houve e nem deve haver uma explosão do reator. Não tem nada a ver com Chernobyl, e em termos de escala também é incomparável”, disse.

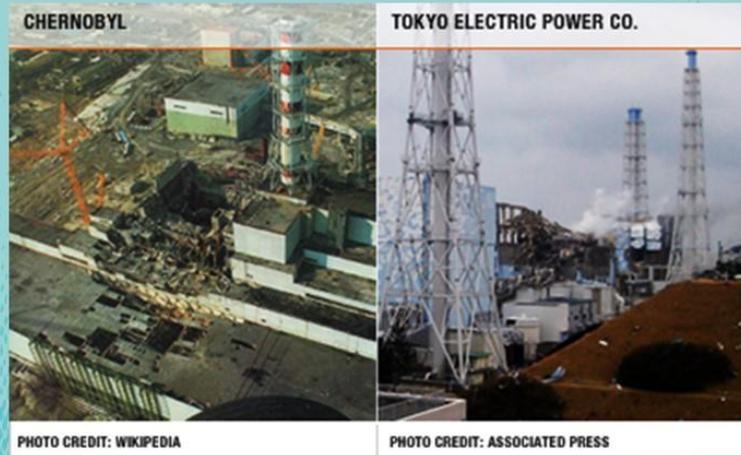
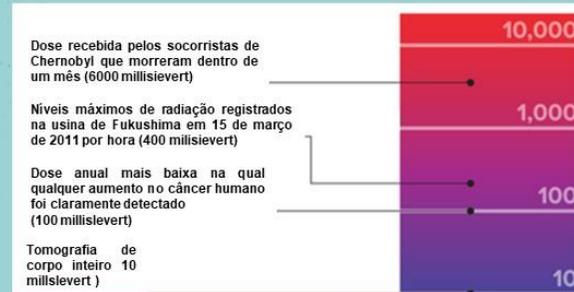
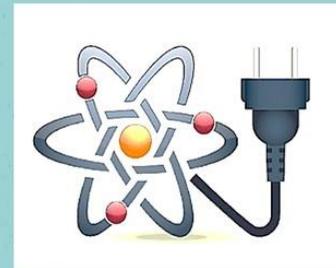


PHOTO CREDIT: WIKIPEDIA

PHOTO CREDIT: ASSOCIATED PRESS

Em Chernobyl, a liberação começou com um acidente de criticidade nuclear que desencadeou uma explosão de vapor no núcleo. Isso causou uma ejeção intensiva do material do núcleo superaquecido e queima extensiva de grafite e materiais do reator por um longo período de tempo. A liberação não foi confinada porque esse tipo de reator não possuía uma estrutura de contenção. Como resultado, a radioatividade teve um caminho aberto direto para o meio ambiente, aprimorado pelo arrastamento na fumaça da queima de grafite.

Em Fukushima, não houve explosões dentro dos núcleos. Em vez disso, aquecimento progressivo, oxidação e fusão dos núcleos ocorreram durante um período de tempo muito mais longo. Os produtos radioativos foram assim liberados do núcleo muito mais gradualmente, com parte do material radioativo confinado por estruturas de contenção que retiveram parcialmente a radioatividade. Além disso, a água da piscina de supressão da usina forneceu a depuração (ou "limpeza") de produtos radioativos que reduziram a liberação atmosférica em Fukushima.

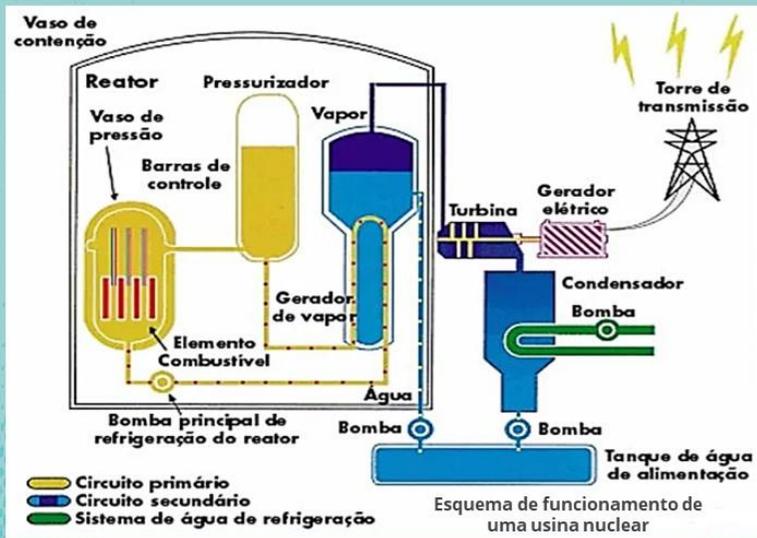


07 Usinas Nucleares

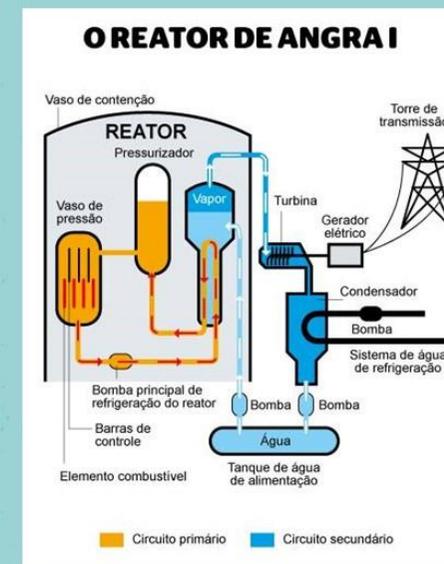
Usinas Nucleares

A Usina Nuclear produz energia elétrica a partir de materiais radioativos, e é uma alternativa às limitações de fontes naturais, como rios, carvão, gás e petróleo. Tem um custo final menor que a maioria das tecnologias empregadas atualmente. Através da fissão (divisão) do núcleo de um átomo é produzida uma energia que é liberada lentamente, em um processo controlado nas usinas nucleares. Essa energia é convertida e transformada em energia elétrica.

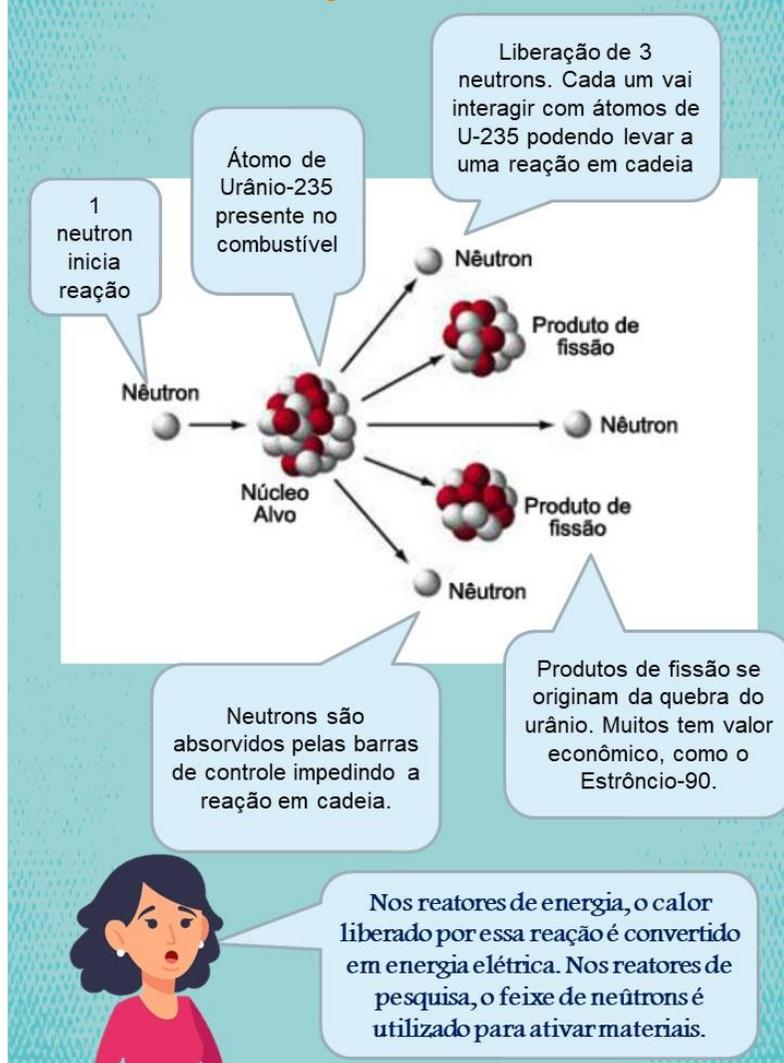
O Brasil apresenta uma das maiores reservas mundiais do urânio que é o elemento químico mais utilizado para a geração da energia nuclear.



Num reator à água, o vaso de pressão contém água usada para refrigerar o núcleo do reator, onde está o combustível nuclear. Essa água circula no gerador de vapor em uma estrutura chamada de circuito primário. Como a reação nuclear libera calor, essa água aquece transmitindo o calor para a corrente de água que passa por dentro do gerador, o circuito secundário. Lá a água é transformada em vapor e a alta pressão do fluido faz com que as turbinas se movimentam e gerem a energia elétrica. Após passar pela turbina o vapor é direcionado para um condensador, onde a troca de calor faz com que a água se torne líquida novamente e possa retornar ao processo.



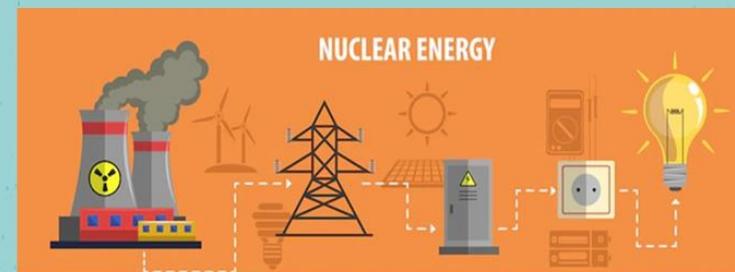
Reação Nuclear



Vantagens e Desvantagens da Energia Nuclear

Vantagens

- O urânio que é o elemento essencial do combustível nuclear está em abundância no nosso planeta, então elimina o risco de escassez evidente e torna seu custo de produção baixo.
- Não utiliza combustíveis fósseis, principal vilão na emissão dos gases poluentes causadores do aquecimento global.
- Diferente das usinas eólicas e hidrelétricas, as usinas nucleares não dependem de condições climáticas para seu funcionamento.



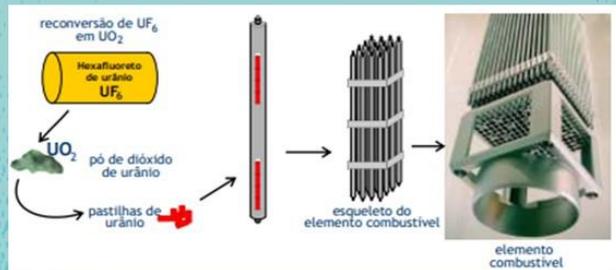
Desvantagens

- O investimento inicial de uma usina nuclear é muito alto.
- Deve haver um plano para o lixo nuclear.
- Os sistemas de segurança das usinas nucleares são de alto nível tecnológico, mas acidentes tem sérias consequências e diante de um evento imprevisto, as decisões humanas nem sempre são as melhores.

Ciclo do Combustível Nuclear

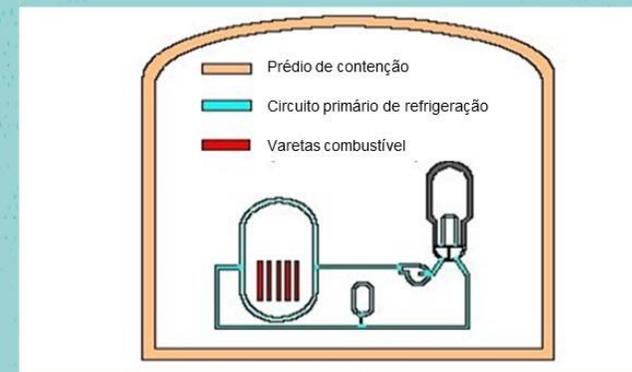


O urânio enriquecido (maior concentração de Urânio-235) é colocado em forma de pastilhas de 1 cm de diâmetro, dentro de varetas de 4m de comprimento, feitos de uma liga especial de zircônio, denominada "zircalloy". Essa vareta é a primeira barreira para impedir que a radiação vaze para o meio ambiente.



Barreiras de proteção de uma central nuclear

As barreiras de proteção asseguram a retenção das substâncias radioativas que são produzidas no reator, evitando o vazamento para o ambiente exterior.



O reator de Chernobyl foi construído SEM o prédio de contenção

O combustível nuclear está em uma matriz que retém a maioria dos produtos de fissão e é envolvido por uma bainha estanque e resistente à corrosão. Outra barreira é formada pelas paredes do circuito primário de refrigeração do reator nuclear. Os reatores estão encerrados em contentores resistentes à pressão e/ou em edifícios que podem ser tornados estanques automaticamente.

Uso Mundial da Energia Nuclear

Atualmente 10% da energia elétrica global é gerada através de fonte nuclear. Os Estados Unidos é o país que possui a maior quantidade de reatores, 99 com 61 usinas em operação, mas a energia nuclear fornece somente 23% do consumo elétrico. Em segundo lugar está a França, com 58 reatores representando 78% do total sua geração elétrica. O país planeja a construção de mais 14 novos reatores até 2050. A França tenta influenciar o bloco europeu a rotular a energia nuclear como verde, para facilitar as linhas de investimentos que se voltam cada vez mais para um mundo com menos carbono. Temos em sequência o Japão com 50 reatores, a Rússia com 33 e a Coreia do Sul com 21.



Países que mais utilizam Energia Nuclear

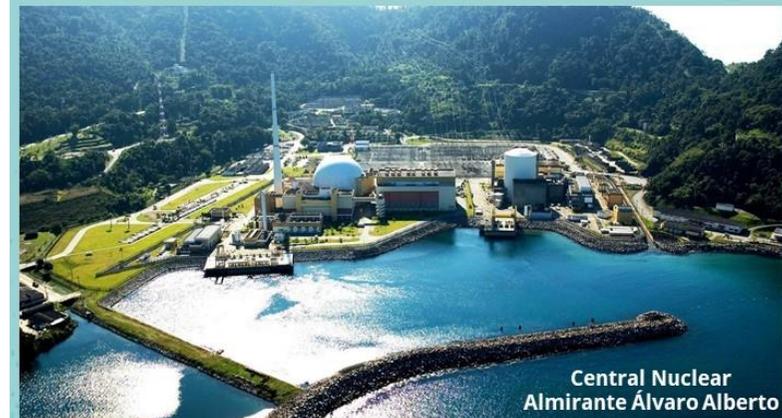
- Países que usam muita Energia Nuclear.
- Países que usam Energia Nuclear, em média quantidade.
- Países que usam pouca ou nenhuma Energia Nuclear (o Brasil está aqui).

O Brasil, apesar de ter uma matriz energética bastante limpa, baseada principalmente na geração hidrelétrica, deve decidir pela expansão nuclear, para que possa enfrentar futuras crises hídricas com uma fonte de energia não intermitente

Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto

É um complexo formado por Angra 1, Angra 2 e a usina em construção de Angra 3, na cidade de Angra dos Reis, litoral do Rio de Janeiro. Angra 1 foi a primeira usina nuclear brasileira e entrou em operação comercial em 1985. Ela opera com um reator de água pressurizada (PWR), o mais utilizado no mundo, e tem 640 megawatts de potência.

Angra 2 tornou-se operacional em 2001 e alcançou a potência de 1360 megawatts. As obras de Angra 3 estão paradas, estão com mais de 60% do projeto executado. Ela vai ser uma réplica de Angra 2, mas com a incorporação dos avanços tecnológicos atuais e está prevista para gerar 1405 megawatts.



Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto



As Usinas de Angra são responsáveis por 20% da geração de energia do Estado do Rio de Janeiro.

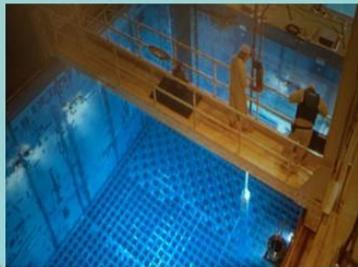
Resíduos Nucleares

Os resíduos formado por compostos radioativos produzidos e gerados por usinas nucleares, laboratórios de exames clínicos e de pesquisa médica e científica podem ser perigosos para os seres vivos e ao meio ambiente e por isso não podem ser descartados. São classificados quanto a quantidade de radiação emitida e ao tempo que levará para deixar de emitir radiação em níveis nocivos.



Resíduos de Radiação Baixa ou Intermediária podem ser armazenados em depósitos provisórios ou permanentes. Estes depósitos são revestidos de aço e chumbo, para impedir que a radiação seja emitida para o meio.

Já os resíduos de Radiação Alta são armazenados em piscinas contendo água para resfriamento completamente revestidas e cobertas por camadas de aço, concreto e chumbo.



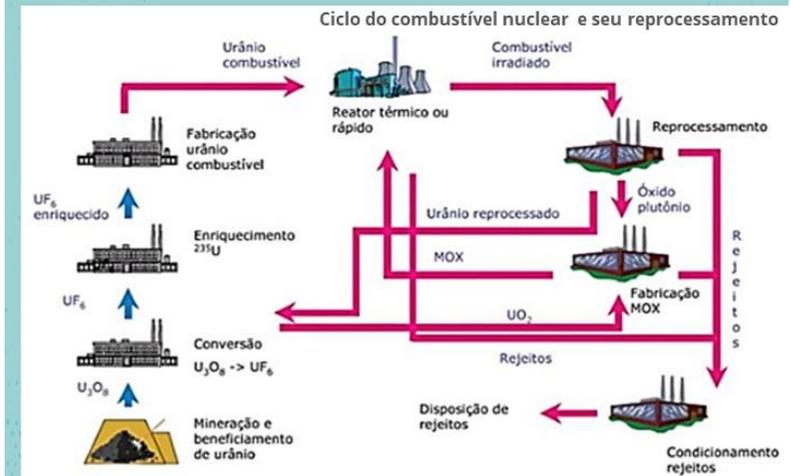
Diversos países, com matrizes energéticas nucleares, realizaram durante anos o descarte ilegal deste material no fundo do oceano, em barris!!!!



Reprocessamento nuclear

Processo que separa o urânio e o plutônio, dos produtos de fissão e outros resíduos nucleares presentes nos combustíveis gastos dos reatores nucleares. Este processo ocorre por meio de várias operações químicas envolvendo componentes que também são radioativos, adicionando os elementos utilizáveis a um novo combustível de óxido mesclado (MOX).

Com esse processo há um ganho de aproximadamente 25% mais energia se comparado ao urânio do processo original e reduz o volume de material a ser eliminado como resíduo de alto risco. Além do plutônio e do urânio, outros elementos podem ser reaproveitados como os actínideos.



Esta técnica permite a reutilização do plutônio tanto em reatores como em armas nucleares, então é importante garantir que seja utilizada para fins pacíficos, como nas usinas produtoras de energia elétrica. Muitos isótopos de interesse médico e industrial só conseguem ser produzidos por essa via. Atualmente os Russos detêm a maior instalação de reprocessamento do mundo (Mayak).

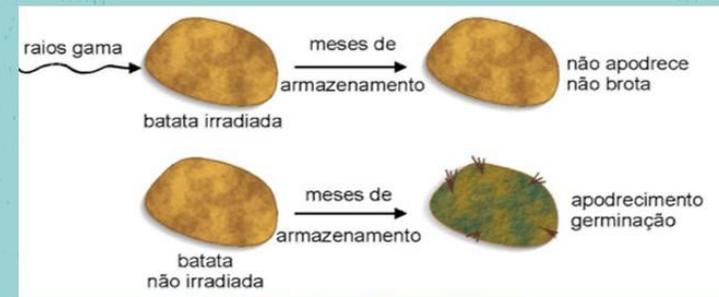


08

Usos Inusitados da Energia Nuclear

Uso da radiação em alimentos

A irradiação de alimentos permite a sua conservação por mais tempo, diminuindo a quantidade de fungos principais causadores do apodrecimento. Os alimentos irradiados por lei vêm com o símbolo da Radura com a frase "Alimento tratado por irradiação".



Não precisamos ficar preocupados em comer esses alimentos pois são seguros! Lembrem-se que eles não se tornam radioativos!!



Esterilização de insetos

- A esterilização de insetos machos por radiação gama para depois soltá-los no meio ambiente, é suficiente para o controle da reprodução sem qualquer poluição com produtos químicos. Esse processo iniciou como controle para a mosca-das-frutas e está em pesquisa para ações contra o *Aedes aegypti*.



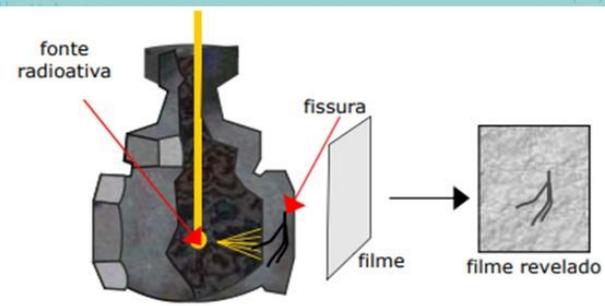
A mosca-das-frutas é considerada uma das maiores pragas da fruticultura e é combatida em escala global.

○ *Aedes Aegypti* é o responsável pela transmissão da Febre Amarela, Dengue, Chikungunya e Zika Vírus.



Gamagrafia

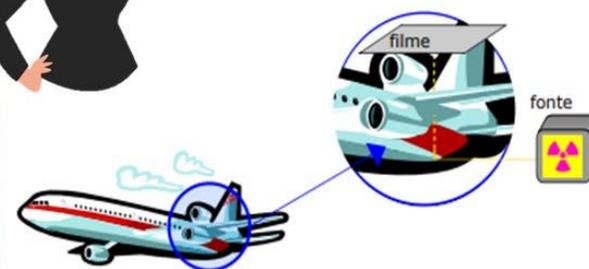
A gamagrafia é a radiografia de peças metálicas.



Na indústria é utilizada no controle de qualidade de peças, como válvulas, para verificar se há defeito ou rachaduras.



Na aviação é utilizada para checar a integridade das partes metálicas e soldas do avião sujeitas a maior esforço, como nas asas e turbinas.



Esterilização de materiais

É utilizado fontes radioativas, como o Cobalto-60, para esterilizar materiais descartáveis termossensíveis como seringas, luvas cirúrgicas, gaze e fios de sutura. O seu alto poder de penetração que atravessa papelão, papel ou plástico possibilita a esterilização desses produtos na sua embalagem final.

Seu mecanismo de eliminação microbiana é conseguido por meio alterações químicas no DNA celular através de radicais livres formados pela radiação ionizante.

A esterilização pelos métodos convencionais necessita de altas temperaturas deformariam ou danificariam esses materiais.



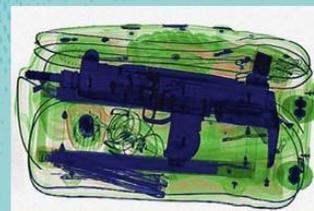
Exemplos de materiais irradiados



Materiais que foram irradiados no irradiador do IPEN

Inspeção de segurança

Equipamentos modernos de Raios-X são bastante utilizados em locais onde há grande circulação de pessoas e mercadorias.



- **Aeroportos:** para checar o que os usuários levam no corpo e identificar itens proibidos na mala, como objetos pontiagudos, inflamáveis, armas de fogo e explosivos.



- **Alfândega:** Para avaliar tudo que entra e sai do país, é imprescindível a inspeção de pequenos, médios e grandes volumes. A máquina de Raio-X ajuda identificar o envio e recebimento de drogas, armas e outros produtos ilícitos, além de aumentar a velocidade com que os processos são executados.
- **Armazéns e centros de distribuição:** o Raio-X é aplicado na checagem de lotes de mercadorias, pequenos volumes e até mesmo cargas fechadas, alojadas em contêineres e caminhões
- **Prédios empresariais e centros comerciais:** a instalação de equipamentos de Raios-X nos acessos desses prédios permite uma inspeção mais minuciosa das pessoas, objetos e demais itens que entram no ambiente, evitando riscos à segurança, como acesso não permitido, roubos e furtos.
- **Presídios:** Otimiza a entrada das pessoas substituindo as revistas corporais e reprime a entrada de drogas e objetos proibidos, como celulares.

Baterias Nucleares

São dispositivos que utilizam o decaimento radioativo para gerar eletricidade. A primeira bateria nuclear lançada no espaço foi o SNAP 3B (US Navy, Transit 4A) em 1961, alimentada por 96 gramas de plutônio-238, fornecendo energia por mais de 15 anos. Desde então, baterias nucleares têm sido usadas com sucesso em missões espaciais, com tempos de operação muito superiores aos inicialmente concebidos e usados pelas principais agências espaciais do mundo.

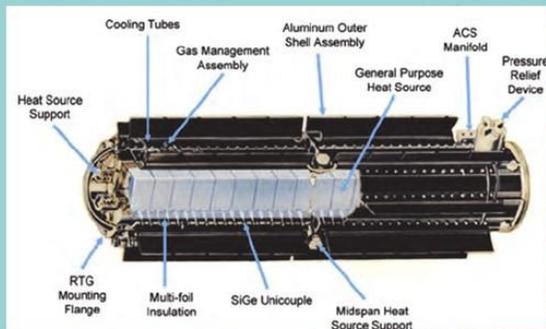


Laboratório Científico de Marte

Elas foram mostradas no filme "Perdido em Marte" e são essenciais para a exploração espacial.

O Laboratório Científico de Marte é uma espécie de jipe-robô, fabricado para fazer diversas pesquisas na superfície do planeta vermelho. Mas como em Marte faz um frio de até -60°C , uma bateria nuclear que usa Plutônio-238 foi instalada no módulo, que irá decair e gerar energia elétrica e calor para manter a sonda aquecida.

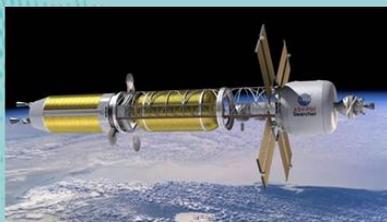
Bateria nuclear da NASA



09

O Futuro

Propulsão Nuclear



A NASA está desenvolvendo a propulsão nuclear com foguetes movidos por sistema term nuclear (NTP). Esses foguetes seriam mais potentes e mais eficientes que os motores químicos usados hoje, proporcionando viagens para lugares mais distantes, como Marte de maneira mais rápida enquanto queimam menos combustível.

O grande desafio é encontrar um combustível que resista a altas temperaturas dentro desse motor térmico e um sistema que evite que o material nuclear escape atingindo os astronautas.



Uma projeção dos sistemas USNC-Tech NTP



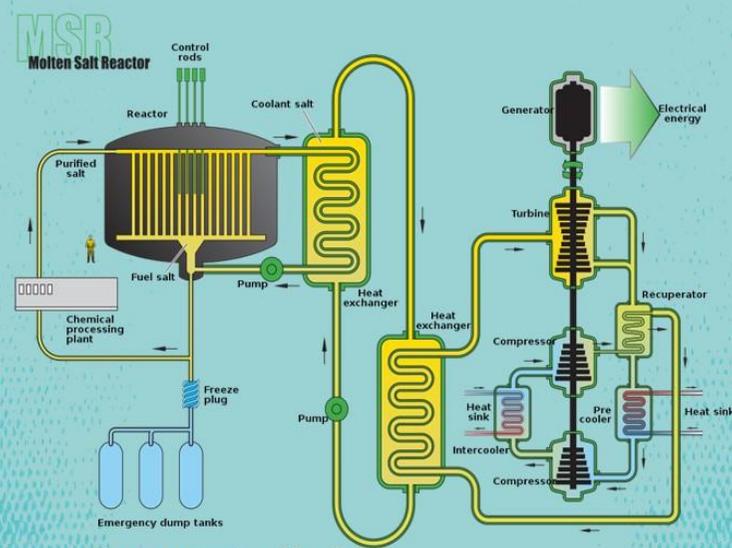
A USNC-Tech vem desenvolvendo um combustível que pode operar em temperaturas de até 2.400 graus Celsius, contendo um carboneto de silício, que forma uma barreira hermética impedindo o escape de produtos radioativos do reator nuclear para proteger os astronautas.

A construção desses motores nucleares poderá tornar possível a exploração do sistema solar!!!!

Nova tecnologia para reatores nucleares

O MSR (*Molten Salt Reactor*) é um tipo de reator nuclear onde o principal refrigerante é um sal fundido. Sua vantagem é esse tipo de reator pode funcionar a temperaturas mais altas que os refrigerados a base água, aumentando sua eficiência termodinâmica com baixa pressão de vapor. Outra vantagem é que se houver um acidente o sal simplesmente solidifica mantendo o reator seguro.

Alguns protótipos foram construídos e o esquema inicial de referência aponta para uma potência na ordem de 1000 megawatts. Prever-se que o primeiro reator desse tipo entre em operação em 2025.

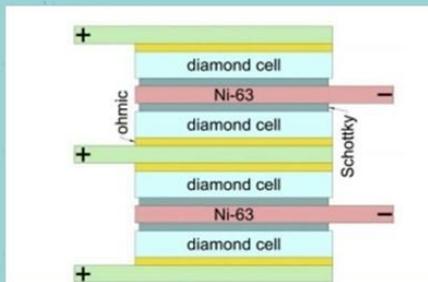


Exemplo de um reator de sal fundido

Bateria Betavoltaica

Seu próximo telefone celular poderá ser alimentado por uma bateria nuclear! Mas não é preciso se preocupar, porque a radiação é de baixa energia, podendo ser bloqueada por uma folha de papel, então o invólucro da bateria é mais do que suficiente para torná-la segura.

Essa bateria nuclear funciona a partir do decaimento beta de um isótopo radioativo, como o níquel-63. Hoje está sendo empregada em sensores mas a tecnologia continua avançando para que mais energia seja gerada.



Esquema da bateria nuclear de níquel-63 e semicondutores de diamante.



Bateria nuclear de Trítio da CityLabs



A principal vantagem dessas baterias é que os isótopos radioativos usados têm uma meia-vida que varia de dezenas a centenas de anos, de modo que sua potência permanece constante por muito tempo, se tornando uma bateria para a vida toda, ou mesmo para várias vidas.

Conclusão



As radiações estão presentes no nosso cotidiano e contribuem para nossa qualidade de vida!



Muito obrigado por ter lido nossa cartilha

Antes de formar uma opinião sobre qualquer assunto é importante estudar e procurar se informar.



Referências

OKUNO, E.; Radiação: efeitos, riscos e benefícios. Oficina de Textos. São Paulo, 2018, p.23-24; 30-39;61-104; 118-134.

CARDOSO, E. M. Apostila educativa Energia Nuclear. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN)Disponível em: <https://portalnuclear.cnem.gov.br/Material_didatico/apostilas/energia.pdf> Acesso em: set. 2021.

NOUAILHETAS, Y. Radiações Ionizantes e a vida. Apostila Educativa. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR- CNEN. Atualizado em jan.2022. Disponível em: radiações ionizantes — português (www.gov.br). Acesso em: set. 2021.

CENTRO REGIONAL DE CIÊNCIAS NUCLEARES DO CENTRO OESTE-CRCN-CO. Radiação ionizante. Disponível em: <http://www.sgc.goias.gov.br/upload/arquivos/2017-02/orientacoes-sobre-radiacao-ionizante.pdf> Acesso em: set. 2021.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Segurança do Trabalho e Biossegurança Radioisótopos. Curso Engenharia Bioquímica. ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA DEPARTAMENTO DE BIOTECNOLOGIA. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4474584/mod_resource/content/1/Biosseguran%C3%A7a%20E2%80%9320Aula%205_.pdf> Acesso em: Jan. 2022.

BRASIL. CONSELHO REGIONAL DE FARMÁCIA DO ESTADO DE SÃO PAULO. Departamento de Apoio Técnico e Educação Permanente. Comissão Assessora de Radiofarmácia. Radiofarmácia/ Conselho Regional de Farmácia do Estado de São Paulo. – São Paulo: Conselho Regional de Farmácia do Estado de São Paulo, 2019. 1ª edição. Disponível em: <<http://www.crfsp.org.br/images/cartilhas/radiofarmacia.pdf>> Acesso: set. 2021.

MOREIRA, A. A.; OLIVEIRA, V. K. ABCMED, 2013. Disponível em: <<https://www.abc.med.br/p/pesquisas/fluoroscopia/360174/como+e+a+fluoroscopia.htm>> Acesso em: set. 2021.

NASCIMENTO, F. B., PITTA, M. G., & RÊGO, M. J. (2015). Análise dos principais métodos de diagnóstico de câncer de mama como propulsores no processo inovativo. Arq. Med., Porto, v. 29, n. 6, p. 153-159, dez.

KOCAK, M. Manual MSD 2019. Disponível em: <<https://www.msmanuals.com/pt-br/profissional/t%C3%B3picos-especiais/princ%C3%ADpios-de-imagens-radiol%C3%B3gicas/tomografia-computadorizada>> Acesso em: set. 2021.

CARVALHO, R.P.; OLIVEIRA, S.M.V.; Aplicações da Energia Nuclear na Saúde. SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA-SBPC. São Paulo, 2017. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/v1/arquivos_diversos/Livros-e-Estudos/aplicacoes-da-energia-nuclear-na-saude.pdf> Acesso em: set. 2021.

SOUZA, CARLA D. de. Parâmetros para produção de fontes de iodo-125 utilizadas em Braquiterapia. Orientador: Maria Elisa Chuery Martins Rostelato. 2016. 75 f. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP, São Paulo. DOI: 10.11606/T.85.2016.tde-22102021-154454. Disponível em: <<http://repositorio.ipen.br/handle/123456789/29835>>. Acesso em: jun. 2021.

FERREIRA, R. Exposição à radiação: qual o limite tolerável? Radioproteção na Prática. 2022. Disponível em: <<https://radioprotecaonapratica.com.br/exposicao-a-radiacao/>> Acesso em Fev. 2022.

LIRA, J. C. L.; Escala Internacional de Acidentes Nucleares. Info Escola. 2022. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/radioatividade/escala-internacional-de-acidentes-nucleares/>> Acesso em: jan. 2022.

TERREMOTO, L. A. A., Encarando Chernobyl Sem Obscurantismos 2019. Disponível em: <<https://acrobat.adobe.com/link/track?uri=urn%3aaaid%3ascds%3aus%3a8c0c0eb4-adc5-444e-85e9-d826410089b2#pagenum=1>> Acesso em: jan. 2022.
SANTIAGO, A., Radioproteção na Prática. 2018. Disponível em: <<https://radioprotecaonapratica.com.br/acidente-nuclear-de-fukushima/> Acesso em: set. 2021.

SOUZA, C.D., KIM, B. J., KIM, J., KIM, J., JI, W., SON, K.J., CHOI, S M., JIN, G.J.K.A., Tae HONG, T.; The basics of betavoltaic nuclear batteries. Korean Atomic Energy Research Institute. 2021. International Journal of Current Advanced Research. Disponível em: www.journalijcar.org. Volume 10; Issue 11 (B); November 2021; Page No.25533-25544 DOI: <http://dx.doi.org/10.24327/ijcar.2021.25544.5098>

SCHWARTZ, L.I.; SHURE, H. J.; Survey of electric power plants for space applications, in: Fifty-Eight National Meeting of the American Institute of Chemical Engineers, Philadelphia, Pennsylvania, USA, 1965.

CATALDO, R.L.; BENNET, G.L.; U.S. Space radioisotope power systems and applications: past, present and future, Radioisotopes – Applications in Physical Sciences, 22 (2010).

SCHIRMER; H. P., GOMES, C. A.; RECIO, J.C.A.; Documentário do Acidente Radiológico de Goiânia. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Coordenação de Rejeitos Radioativos. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/go10anosdep/Cnen/doc/manu41.PDF>> Acesso em: Set. 2021.

CERUTTI, F. L. S., Radiodiagnóstico e procedimentos Radiológicos 2 editora Atena 2019. Disponível em: <<https://sistema.atenaeditora.com.br/index.php/admin/api/artigoPDF/33736>> Acesso em: jan. 2022.

MAXIMGROUP Consultoria de informação. Quais as Vantagens e Desvantagens da Energia Nuclear? 2020. Disponível em: <<https://maximgroup.com.br/quais-as-vantagens-e-desvantagens-da-energia-nuclear>> Acesso em: fev. 2022.

INB Indústrias Nucleares do Brasil. Ciclo do Combustível nuclear. Disponível em: <<http://www.inb.gov.br/Nossas-Atividades/Ciclo-do-combustivel-nuclear>> Acesso em: Abr.2022.

AMARANTE, J.W.; ASSUNÇÃO, H.S.; Serviço de Proteção Radiológica na Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto - CNAAA: uma perspectiva histórica. DEFESANET. 2021. <https://www.defesanet.com.br/nuclear/noticia/40318/Exposicao-a-Radiacao-na-Central-Nuclear-Almirante-Alvaro-Alberto/> Acesso em: Abr. 2022.

LEWIS, N.; CNN Brasil.2021. Foguete movido a energia nuclear pode levar astronautas a Marte mais rápido. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/foguete-movido-a-energia-nuclear-pode-levar-astronautas-a-marte-mais-rapido/>> Acesso em: Abr. 2022.

WILLIAMS, S.; How Molten Salt Reactors Might Spell a Nuclear Energy Revolution. ZME SCIENCE. 2021. Disponível em: <<https://www.zmescience.com/ecology/what-is-molten-salt-reactor-424343/>> Acesso em: Abr. 2022.

Figuras

1. Figura personagem feminina site: <https://br.freepik.com/vetores-gratis/personagem-de-desenho-animado-para-design-de-movimento_4221359.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses>
2. Figura átomo site: <Freepik <ahref="https://br.freepik.com/fotos-vetores-gratis/tecnologia">Tecnologia vetor criado por freepik - br.freepik.com
3. Figura personagem feminina site: <https://br.freepik.com/vetores-gratis/personagem-de-desenho-animado-para-design-de-movimento_4221359.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses>
4. Figura organismo site: <<https://dspace.uniceplac.edu.br/handle/123456789/1159>>
5. Figura personagem feminina site: <https://br.freepik.com/vetores-gratis/personagem-de-desenho-animado-para-design-de-movimento_4221359.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses>
6. Figura estrutura átomo site: <https://br.freepik.com/vetores-gratis/diagrama-mostrando-a-estrutura-do-atomo_26353679.htm#query=eletrons&position=6&from_view=keyword>
7. Figura personagem feminina site: <https://br.freepik.com/vetores-gratis/personagem-de-desenho-animado-para-design-de-movimento_4221359.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses>
8. Figura radiação site: Seta rabiscovetorcriadoporaliciamb-br.freepik.com
9. Figura radiação site: <energia_2004.pmd (cnen.gov.br)>
10. Figura espectro eletromagnético site: <https://www.wikiwand.com/pt/Espectro_eletromagn%C3%A9tico>
11. Figura radiação particulada site: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Part%C3%ADcula_beta#/media/Ficheiro:Beta-minus_Decay.svg>
12. Figura símbolo radiação óptica site: <01_revistasocesp_v27_02.pdf (bvsaud.org)>
13. Figura personagem feminina site: <https://br.freepik.com/vetores-gratis/personagem-de-desenho-animado-para-designemovimento_4221359.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses>
14. Figura radiação ionizante site: <radiofarmacia.pdf (crfsp.org.br)>
15. Figura natureza site: <ahref="https://br.freepik.com/fotos-vetores-gratis/natureza-desenho">Natureza desenho vetor criado por brgfx - br.freepik.com

16. Figura personagem feminina site: <https://br.freepik.com/vetores-gratis/personagem-de-desenho-animado-para-designemovimento_4221359.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses>
17. Figura praias: <<https://www.melhoresdestinos.com.br/guarapari.html>>
18. Figura CENEN site: <RADIOLOGIA IN FOCO: Supervisores de proteção radiológica terão de se submeter a exame de certificação>
19. Figura exposição à radiação site: <<https://www.gov.br/cnen/pt-br/aceso-rapido/centro-de-informacoes-nucleares/material-didatico-1/radiacoesionizanteseavida.pdf>>
20. Figura personagem feminina site: <https://br.freepik.com/vetores-gratis/personagem-de-desenho-animado-para-design-de-movimento_4221359.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses>
21. Figura tubo de Raio-X site: <<https://www.tutorbrasil.com.br/forum/viewtopic.php?t=58992>>
22. Figura irradiação e contaminação site: <https://www.saude.go.gov.br/images/imagens_migradas/upload/arquivos/2017-02/orientacoes-sobre-radiacao-ionizante.pdf>
23. Figura contador Geiger site: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4474584/mod_resource/content/1/Biosseguran%C3%A7a%20E%280%93%20Aula%205.pdf>
24. Figura átomo site: <https://br.freepik.com/fotos-premium/molecula-atomo-em-fundo-branco_3057385.htm#query=medicina%20nuclear&position=20&from_view=Search>
25. Figura irradiador site: <https://www.ipen.br/portal_por/portal/interna.php?secao_id=2500&campo=1798>
26. Figura irradiador site: <<https://www.gov.br/inpe/pt-br/area-conhecimento/biblioteca/noticias-da-biblioteca/processo-de-irradiacao-do-ipen-descontamina-mais-de-400-obras-do-acervo-do-inpe>>
27. Figura personagem feminina site: <https://br.freepik.com/vetores-gratis/executiva-jogo-com-diferente-posturas_2881078.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses>
28. Figura corpo humano site: <energia_2004.pmd (cnen.gov.br)>
29. Figura exame PER/CT site: <<https://pedipedia.org/artigo/estudo-petct-com-18f-fdg>>
30. Figura site: <<https://www.tuasaude.com/cintilografia-de-corpo-inteiro/>>
31. Figura personagem feminina site: <https://br.freepik.com/vetores-gratis/executiva-jogo-com-diferente-posturas_2881078.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses>
32. Figura IEA-R1: Autora

33.Figura personagem feminina site: <https://br.freepik.com/vetores-gratis/personagem-de-desenho-animado-para-design-de-movimento_4221359.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses>

34.Figura Hot-Ceel e Processamento de materiais site: <<https://www.youtube.com/watch?v=Q7O3lh7buHQ>>

35.Figura radiofármaco site: < <https://agencia.fapesp.br/ipen-se-equipa-para-produzir-nanorradiofarmacos/34571/>>

36.Figura radiografia site: <https://br.freepik.com/vetores-gratis/imagens-de-raios-x-realistas-de-ossos-humanos_6883253.htm#query=radiologia&position=32&from_view=Search>

37.Figura Raio-X site: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4474584/mod_resource/content/1/Biosseguran%C3%A7a%20%E2%80%93%20Aula%205_.pdf>

38.Figura Fluoroscopia site: <<https://corporisfabrica.tumblr.com/post/90913536901/the-ingestion-of-barium-a-contrast-medium-as>>

39.Figura personagem feminina site: <https://br.freepik.com/vetores-gratis/executiva-jogo-com-diferente-posturas_2881078.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses>

40.Figura tomografia site: <https://star.med.br/o-que-e-tomografia-computadorizada/#iLightbox/gallery94481/0>

41.Figura personagem feminina site: < https://br.freepik.com/vetores-gratis/executiva-jogo-com-diferente-posturas_2881078.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses>

42.Figura mamografia site: <Fonte:https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-A-mamografia-2D-e-B-tomossintese-3D-Padiao-denso-com-uma-lesao_fig1_344516195>

43.Figura Acelerador Linear site: <https://medicinas.com.br/accamargo-radioterapia-cancer/>

44.Figura Braquiterapia próstata site: <https://cdn.atenaeditora.com.br/artigos_anexos/16_6397866bd46ed8460b54641a39a74bc0a3e4f01f.pdf>

45.Figura Braquiterapia de mama site: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-ABZF9P/1/carla_fl_via_de_lima_final__3_final.pdf>

46.Figura personagem feminina site: <https://br.freepik.com/vetores-gratis/executiva-jogo-com-diferente-posturas_2881078.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses>

47.Figura Glove box para selagem de sementes site: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85131/tde-10092012-130603/publico/2012SouzaComparacao.pdf>>

48.Figura bomba site: <https://br.freepik.com/vetores-gratis/colecao-de-estilo-de-cartoon-de-efeitos-de-explosao_4971281.htm#page=2&query=bomba%20nuclear&position=2&from_view=Search>

49.Figura personagem feminina site: <https://br.freepik.com/vetores-gratis/personagem-de-desenho-animado-para-design-de-movimento_4221359.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses>

50.Figura Bomba Little Boy site: <Bomba atômica: como funciona e efeitos - Mundo Educação (uol.com.br)>

51.Figura explosão nuclear site: <Bomba atômica: como funciona e efeitos - Mundo Educação (uol.com.br)>

52.Figura acidente nuclear site: <Freepik<ahref='https://br.freepik.com/fotos-vetores-gratis/tecnologia'>Tecnologia vetor criado por freepik - br.freepik.com

53.Figura Tratado site: <<https://share.america.gov/pt-br/o-tratado-de-nao-proliferao-nuclear-aos-50/>>

54.Figura escala INES site: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Escala_Internacional_de_Acidentes_Nucleares>

55.Figura personagem feminina site: <https://br.freepik.com/vetores-gratis/executiva-jogo-com-diferente-posturas_2881078.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses>

56.Figura Parque Estadual Telma Ortegal: Autora

57.Figura acidente de Goiânia pessoas site: <<http://www.nuclear.ufrj.br/semana2019/apresentacoes/18acidentes/Magno.pdf>>

58.Figura acidente de Goiânia site: <<https://www.plurale.com.br/site/noticias-detalhes.php?cod=18931&codSecao=3>>

59.Figura rejeitos site: <<http://www.sgc.goias.gov.br/upload/arquivos/2017-02/orientacoes-sobre-radiacao-ionizante.pdf>>

60.Figura Chernobyl site: <<https://www.indiatoday.in/education-today/gk-current-affairs/story/chernobyl-6-worst-nuclear-explosions-history-319939-2016-04-26>>

61.Figura Sarcófago Chernobyl site: <https://en.m.wikipedia.org/wiki/Chernobyl_New_Safe_Confinement>

62.Figura mapa site: <<https://kids.britannica.com/students/assembly/view/241163>>

63.Figura Cryptococcus neoformans site: <<http://conter.gov.br/site/noticia/tecnologia-17-02-2020>>

64.Figura Fukushima site: <https://www.researchgate.net/publication/275389575_Responding_to_natural_disasters_with_satellite_imagery/figures?lo=1>

65.Figura personagem feminina site: <https://br.freepik.com/vetores-gratis/personagem-de-desenho-animado-para-design-de-movimento_4221359.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses>

66. Figura site: <<https://www.thefiscaltimes.com/Blogs/Business-Buzz/2011/03/17/Chernobyl-and-Fukushima-Ukraines-Lessons-for-Japan>>

67. Figura reatores site: <<https://www.thefiscaltimes.com/Blogs/Business-Buzz/2011/03/17/Chernobyl-and-Fukushima-Ukraines-Lessons-for-Japan>>

68. Figura átomo site: <Freeipik Tecnologia vetor criado por freeipik - br.freepik.com

69. Figura esquema usina nuclear site: <<https://www.todamateria.com.br/usina-nuclear/>>

70. Figura reator de Angra site: <<https://extra.globo.com/economia-e-financas/angra-3-veja-os-riscos-as-vantagens-da-energia-nuclear-bandeiras-tarifarias-poderiam-acabar-23814625.html>>

71. Figura energia nuclear site: <Freeipik <ahref="https://br.freepik.com/fotos-vetores-gratis/tecnologia">Tecnologia vetor criado por freeipik - br.freepik.com

72. Figura ciclo do combustível nuclear site: <<http://www.inb.gov.br/Nossas-Atividades/Ciclo-do-combustivel-nuclear>>

73. Figura combustível site:
<https://portalnuclear.cnen.gov.br/Material_didatico/apostilas/energia.pdf>

74. Figura barreiras de segurança site: <<https://energianuclear-bases.blogspot.com/2011/11/barreiras-de-seguranca.html>>

75. Figura personagem feminina site: <https://br.freepik.com/vetores-gratis/executiva-jogo-com-diferente-posturas_2881078.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses>

76. Figura mapa site: <cpeusinuclear.blogspot.com/2011/04/usina-nuclear.html>

77. Figura Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto site:
<<https://usinuclearnp.blogspot.com/>>

78. Figura resíduos de baixa radiação site: <<https://www.schwartzreport.net/2015/04/26/we-still-dont-know-where-to-bury-our-nuclear-waste/>>

79. Figura resíduos de alta radiação site: <<https://www.cnet.com/culture/mit-recommends-interim-storage-for-nuclear-waste/>>

80. Figura personagem feminina site: <https://br.freepik.com/vetores-gratis/executiva-jogo-com-diferente-posturas_2881078.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses>

81. Figura reprocessamento nuclear site:
<https://www.researchgate.net/publication/277020130_Analise_comparativa_entre_fontes_de_geracao_eletrica_segundo_criterios_socioambientais_e_economicos/figures>

82. Figura personagem com átomo site: <https://br.freepik.com/vetores-gratis/ilustracao-quantica-de-design-plano-desenhado-amao_22112076.htm?query=radia%C3%A7%C3%A3o%20desenhos&position=45&from_view=search>

83. Figura Radura site: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Irradia%C3%A7%C3%A3o_de_alimentos>

84. Figura irradiação de alimentos site:
<https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4474584/mod_resource/content/1/Biosseguran%C3%A7a%20%E2%80%9320Aula%205_.pdf>

85. Figura mosca-das-frutas site: <<https://www.canalrural.com.br/hara/mosca-das-frutas-como-controlar-essa-praga-na-fruticultura/>>

86. Figura Aedes Aegypti site: <<https://pixabay.com/pt/photos/mosquito-f%C3%A7%C3%A7%C3%A3o-aedes-albopictus-1332382/>>

87. Figura gamagrafia industrial site:
<<http://antigo.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/apostila-educativa-aplicacoes.pdf>>

88. Figura personagem feminina site: <https://br.freepik.com/vetores-gratis/executiva-jogo-com-diferente-posturas_2881078.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses>

89. Figura avião site: <<http://antigo.cnen.gov.br/Imagens/cnen/documentos/educativo/apostila-educativa-aplicacoes.pdf>>

90. Figura luvas site: <<https://www.berrio.pt/products/luvas-de-nitrilo-azuis-100-um>>

91. Figura seringa site: <https://br.freepik.com/vetores-gratis/agulhas-medicas-de-seringa-realistas-ilustracao-3d-isolada_8875092.htm#query=seringa&position=9&from_view=Search>

92. Figura Irradiador site: <https://www.ipen.br/portal_por/portal/interna.php?secao_id=739>

93. Figura mala site: <Fonte: <https://www.airway.com.br/como-o-raio-x-dos-aeroportos-enxergam-por-dentro-das-malas/>>

94. Figura mala passando no Raio-X site:
<<https://www.falandodeviagem.com.br/viewtopic.php?t=15232>>

95. Figura Laboratório Científico de Marte site:
<<https://www.techtudo.com.br/noticias/2011/11/bateria-nuclear-aquecera-o-novo-veiculo-marciano-da-nasa.ghtml>>

96. Figura bateria site: <https://www.researchgate.net/figure/Radioisotope-Thermoelectric-generator-RTG-Source-NASA-DOE-JPL_fig2_221918329>

97. Figura Futuro site: <https://br.freepik.com/fotos-gratis/energia-nuclear-ia-inovacao-futura-de-tecnologia-disruptiva_17850508.htm#query=futuro%20da%20energia%20nuclear&position=2&from_view=Search>

98. Figura foguete site: <<https://www.nasa.gov/press-release/nasa-announces-nuclear-thermal-propulsion-reactor-concept-awards>>

99. Figura personagem feminina site: <https://br.freepik.com/vetores-gratis/executiva-jogo-com-diferente-posturas_2881078.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses>

100. Figura USNC-Tech NTP: < <https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/foguete-movido-a-energia-nuclear-pode-levar-astronautas-a-marte-mais-rapido/>>

101. Figura MSR site: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Reator_a_sal_fundido#:~:text=MSR%20%C3%A9%20um%20acr%C3%B3nimo%20para%20Molten%20Salt%20Reactor,o%20combust%C3%ADvel%20pode%20ser%20um%20mistura%20de%20sais>

102. Figura Esquema bateria site: <<https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=bateria-nuclear-nao-precisa-recarregada-dura-sempre&id=010115180608#YsigqTfMKUk>>

103. Figura bateria site: <<https://citylabs.net/products/>>

104. Figura personagem feminina site: <https://br.freepik.com/vetores-gratis/executiva-jogo-com-diferente-posturas_2881078.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses>

105. Figura personagem feminina site: <https://br.freepik.com/vetores-gratis/executiva-jogo-com-diferente-posturas_2881078.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses>

106. Figura Epicteto site: < <https://frases.soescola.com/so-a-educacao-liberta-epiclete/>>

107. Figura Cotidiano site: <https://pt.dreamstime.com/as-pessoas-no-estilo-de-vida-cotidiano-estabelecem-pequenos-homens-freelancer-trabalhando-para-ganhar-dinheiro-do-dia-cenas-image219871055>

108. Figura da reação nuclear: https://www.researchgate.net/publication/331535442_Energia_Nuclear_aspectos_tecnicos_do_desastre_de_Fukushima/figures?lo=1



***O desenvolvimento teórico da cartilha foi estudado, desenvolvido e trabalhado pela aluna de Mestrado Alessandra Fabiana Aguiar Marques Fontolan e sua orientadora Dra. Carla de Souza Daruich do IPEN – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares no curso de Mestrado Profissional de Tecnologia das Radiações e Ciências da Saúde.

A cartilha foi feita utilizando o software PowerPoint e todas as imagens ilustrativas foram retiradas de sites de copyright livre. Os artistas foram atribuídos nas referências.

Essa cartilha se encontra gratuitamente para download no site 61a7139be421d.site123.me.

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Diretoria de Pesquisa, Desenvolvimento e Ensino
Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 – Cidade Universitária CEP: 05508-000
Fone (11) 2810-1570 ou (11) 2810-1572
SÃO PAULO – São Paulo – Brasil
<http://mprofissional.ipen.br>

O Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) é uma Autarquia vinculada à Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Governo do Estado de São Paulo e gerida técnica e administrativamente pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), órgão do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) do Governo Federal.
