



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE FÍSICA

KALINDA DE MOURA FERREIRA

**Centenário da Mecânica Quântica, Da Física Nuclear à Física Médica:
Processos e Percursos da Divulgação Científica como ponte para
Construção de uma Exposição no Museu Dica**

Uberlândia
2025

KALINDA DE MOURA FERREIRA

**Centenário da Mecânica Quântica, Da Física Nuclear à Física Médica:
Processos e Percursos da Divulgação Científica como ponte para
Construção de uma Exposição no Museu Dica**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto de Física da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para a obtenção do título de
Bacharel em Física Médica.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Paula Perini

Coorientador: Prof. Dr. Lucas Wilian Gonçalves
de Souza

Uberlândia

2025

KALINDA DE MOURA FERREIRA

**Centenário da Mecânica Quântica, Da Física Nuclear à Física Médica:
Processos e Percursos da Divulgação Científica como ponte para
Construção de uma Exposição no Museu Dica**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto de Física da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para a obtenção do título de
Bacharel em Física Médica.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Paula Perini

Coorientador: Prof. Dr. Lucas Wilian Gonçalves
de Souza

Uberlândia, 08 de maio de 2025.

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Ana Paula Perini

Orientadora

Profa. Dra. Silvia Martins dos Santos

Membro

Me. Matheus Barros

Membro

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

Instituto de Física

Av. João Naves de Ávila, 2121 - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902

Telefone: (34) 3239 4181 -

**ATA DE DEFESA - GRADUAÇÃO**

Curso de Graduação em:	Física Médica				
Defesa de:	Trabalho de Conclusão de Curso - INFIS39029				
Data:	08/05/2025	Hora de início:	14:00 h	Hora de encerramento:	15:30 h
Matrícula do Discente:	12011FMD015				
Nome do Discente:	Kalinda de Moura Ferreira				
Título do Trabalho:	Centenário da Mecânica Quântica, da Física Nuclear à Física Médica: Processos e Percursos da Divulgação Científica como ponte para a construção de uma exposição no Museu DICA				
A carga horária curricular foi cumprida integralmente?		(X) Sim () Não			

Reuniu-se no *Google Meet*, na sala: <https://meet.google.com/tht-tcmd-ici>, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Curso de Graduação em Física Médica, assim composta: Dr.^a Ana Paula Perini - INFIS/UFU - orientadora da candidata; Dr.^a Silvia Martins dos Santos - INFIS/UFU e o Sr. Matheus Barros - Doutorando em Ensino de Física (UFRGS).

Iniciando os trabalhos, a presidente da mesa, Dr.^a Ana Paula Perini, apresentou a Comissão Examinadora e a candidata, agradeceu a presença do público, e concedeu à discente a palavra, para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do curso.

A seguir o(a) senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovada Nota: 100

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Silvia Martins Dos Santos**, **Professor(a) do Magistério Superior**, em 08/05/2025, às 15:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ana Paula Perini, Professor(a) do Magistério Superior**, em 08/05/2025, às 15:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Matheus Barros, Usuário Externo**, em 08/05/2025, às 15:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6317451** e o código CRC **8FA50930**.

Referência: Processo nº 23117.026004/2025-72

SEI nº 6317451

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha mãe, meu alicerce por toda essa trajetória, aos meus demais familiares por todo o amparo que me permitiu chegar até aqui, ao meu namorado, meu grande companheiro nos tempos difíceis, a todos os amigos que me deram muito apoio ao longo dos anos de graduação.

Agradeço os meus professores que me acolheram e orientaram com muito carinho desde o início, Profa. Dr. Ana Paula Perini e Prof. Dr. Lucio P. Neves, aos demais professores da graduação que me incentivaram e não me deixaram desistir, ao meu coorientador Prof. Dr. Lucas Wilian Gonçalves de Souza pelo apoio na reta final da graduação, ao Museu DICA e todas as pessoas que conheci lá, que são um presente para mim, o DICA que esteve presente em toda a minha graduação, inclusive nesse momento de conclusão, em especial Me. Matheus Barros por todo o amparo.

Agradeço os órgãos MCTI, FAPEMIG e CNPq que permitiram que eu realizasse todos os trabalhos de pesquisas envolvidos nesse Trabalho de Conclusão de Curso. Este trabalho foi realizado com o apoio financeiro da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e pelas agências de fomento: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG: APQ-04215-22; APQ-01254-23; APQ-04348-23 e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq): Bolsa de Produtividade em Pesquisa 312124/2021-0 (Ana Paula Perini); Bolsa de Produtividade em Pesquisa 312160/2023-2 (Lucio Pereira Neves); Projeto UNIVERSAL 407493/2021-2. Este trabalho faz parte do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Instrumentação Nuclear e Aplicações na Indústria e Saúde (INCT/INAIS), projeto CNPq 406303/2022-3.

RESUMO

Introduzindo a evolução histórica da relação entre a Física e a Medicina, é evidenciado como conceitos físicos vêm sendo aplicados em práticas médicas desde a antiguidade, culminando na constituição da Física Médica como área essencial para o diagnóstico e tratamento de doenças. Apesar da relevância da Física Médica na vida cotidiana, observa-se um déficit significativo em sua divulgação científica, o que contribui para a falta de conscientização sobre os riscos e benefícios das radiações. Nesse contexto, os museus de ciências, como o Museu DICA, são destacados como espaços potenciais para a divulgação e popularização da ciência, capazes de comunicar de forma acessível temas complexos por meio de exposições interativas e educativas. A proposta do trabalho, portanto, é refletir sobre como esses espaços podem contribuir para uma divulgação mais efetiva da Física Médica, aproximando o conhecimento científico da sociedade. Para realizar esse trabalho foi necessária uma fundamentalização com base em levantamentos bibliográficos, inicialmente, investigou-se o conhecimento do público, especialmente de profissionais da saúde, sobre radiações ionizantes, com base em literatura especializada e na experiência de um minicurso previamente realizado. Além disso, também foi realizado um estudo sobre práticas de divulgação científica em museus, com foco na transposição didática de conteúdos complexos, como os da Física Médica. Por fim, desenvolve-se a construção expositiva a partir de níveis de profundidade informacional, visando promover uma comunicação acessível, interativa e cientificamente rigorosa. A construção dessa parte da exposição de Mecânica Quântica, nomeada Da Física Nuclear à Física Médica, é dividida então em 3 níveis, sendo o primeiro, contendo a estrutura presencial, todos os rótulos e parte interativa da exposição, que devem elucidar o público sobre radiações ionizantes e a Física Médica, sendo o segundo e o terceiro, níveis que irão trazer mais informações do tema e um conteúdo mais complexo, estes serão disponibilizados virtualmente. O resultado do trabalho trará uma divulgação científica para a área da Física Médica por meio do espaço da exposição de Mecânica Quântica, utilizando estratégias para tornar os conceitos mais acessíveis ao público. Apesar das limitações quanto à finalização da exposição, o estudo reforça a relevância de iniciativas que aproximem ciência e sociedade, especialmente em áreas de grande impacto no cotidiano.

Palavras-chave: Divulgação científica da Física Médica; Exposição em museus de ciências; Aplicação da Física na Medicina

ABSTRACT

Introducing the historical evolution of the relationship between Physics and Medicine, it becomes evident how physical concepts have been applied in medical practices since ancient times, culminating in the establishment of Medical Physics as an essential field for the diagnosis and treatment of diseases. Despite the relevance of Medical Physics in everyday life, there is a significant deficit in its scientific dissemination, which contributes to a lack of awareness about the risks and benefits of radiation. In this context, science museums, such as the DICA Museum, are highlighted as potential spaces for the dissemination and popularization of science, capable of communicating complex topics in an accessible way through interactive and educational exhibitions. The aim of this work, therefore, is to reflect on how these spaces can contribute to a more effective dissemination of Medical Physics, bringing scientific knowledge closer to society. To carry out this work, a foundation based on bibliographic research is necessary. Initially, the public's knowledge - especially that of healthcare professionals - about ionizing radiation is investigated, based on specialized literature and the experience of a previously conducted short course. This is followed by a study on science communication practices in museums, focusing on the didactic transposition of complex content such as that found in Medical Physics. Finally, the exhibition design is developed based on levels of informational depth, aiming to promote accessible, interactive, and scientifically rigorous communication. The construction of this part of the Quantum Mechanics exhibition, titled From Nuclear Physics to Medical Physics, is divided into three levels. The first level consists of the in-person structure, including all labels and the interactive part of the exhibition, intended to clarify the topic of ionizing radiation and Medical Physics for the public. The second and third levels will provide more detailed and complex information on the subject, which will be made available virtually. The result of the project will be the dissemination of science in the field of Medical Physics through the Quantum Mechanics exhibition space, using strategies to make the concepts more accessible to the public. Despite the limitations regarding the completion of the exhibition, the study reinforces the importance of initiatives that bridge science and society, especially in areas with a significant impact on daily life.

Keywords: Scientific dissemination of Medical Physics; Exhibition in science museums; Application of Physics in Medicine

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estudo de cores e fontes para exposição de Mecânica Quântica. Fonte: Própria Autora	23
Figura 2 - Relação de cores da logo da Física Médica disponibilizada pelo Instituto de Física-UFU. Fonte: Reprodução INIFIS e Própria Autora	23
Figura 3 - Estudo do espaço da exposição e materiais disponíveis para uso. Fonte: Própria Autora	24
Figura 4 - Conteúdos abordados no primeiro tópico do nível 1: o que é radiação e quais são os tipos de radiações. Fonte: Própria Autora	26
Figura 5 - Conteúdos abordados no segundo tópico do nível 1: contexto histórico da descoberta dos raios X e da radioatividade. Fonte: Própria Autora	27
Figura 6 - Conteúdos abordados no terceiro tópico do nível 1: o que é a Física Médica e a descrição de suas áreas. Fonte: Própria Autora	28
Figura 7 - Conteúdos abordados no quarto tópico do nível 1: aplicações da física nuclear. Fonte: Própria Autora	29
Figura 8 - Esquema de representação da atividade interativa da exposição presencial: jogo sobre as radiações. Fonte: Própria Autora	30
Figura 9 - Interface do site do Museu Dica: exposições virtuais. Fonte: Própria Autora	33
Figura 10 - Esquema de representação da disposição da exposição virtual: acesso aos níveis 2 e 3 de informação. Fonte: Própria Autora	33
Figura 11 - Representação da exposição presencial: distribuição dos conteúdos do nível 1. Fonte: Própria Autora	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	<i>A Física Aplicada a Medicina</i>	8
1.2	<i>Museus de Ciências</i>	11
1.3	<i>Divulgação da Física Médica em Museus de Ciências</i>	13
2	OBJETIVOS	14
3	METODOLOGIA.....	15
3.1	<i>Conhecimento acerca das Radiações Ionizantes.....</i>	16
3.2	<i>Divulgação Científica em Museus De Ciências</i>	18
3.3	<i>Construção de uma exposição</i>	21
4	DESENVOLVIMENTO DA EXPOSIÇÃO	23
4.1	<i>Conteúdo da exposição.....</i>	24
4.2	<i>Parte interativa da exposição.....</i>	30
4.3	<i>Exposição Virtual</i>	31
5	RESULTADOS ESPERADOS.....	35
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36
	REFERÊNCIAS	37
	APÊNDICE A	41

1 INTRODUÇÃO

1.1 A Física Aplicada à Medicina

A utilização de conceitos físicos para solucionar problemas na medicina remonta os primórdios da criação de tratamentos médicos, entre 3000 e 2500 a.C., o Papiro Cirúrgico, de Edwin Smith, já continha técnicas de cauterização para tratar abscessos mamários, enquanto Hipócrates, na Grécia, entre 460 e 377 a.C., descrevia o mapeamento da temperatura por toda a pele, método de diagnóstico como a termografia atual (Terini, 2018). Na área da cardiologia, entre 325 e 270 a.C., Herófilo já conseguia medir pulsações e comprovar a sincronia entre os batimentos cardíacos e o pulso (Terini, 2018). Ao longo dessas centenas de anos, inúmeras descobertas na área de saúde passaram a se fundir com conceitos físicos como os de temperatura, fluxo, tempo, óptica, entre outros (Duck, 2014).

Partindo de referências, relativamente mais atuais, no século XVI, é possível citar Leonardo da Vinci, que a partir de uma profunda análise anatômica do corpo humano, e detendo um grande conhecimento científico passou a ser considerado por muitos o primeiro físico médico devido suas contribuições (Terini, 2018). Entretanto, até este momento da história, o termo “Física Médica” ainda não havia sido utilizado para as aplicações da Física na Medicina. Somente a partir do grande avanço da ciência no século XIX, com importantes descobertas, como os Raios-X, por Röntgen e a aplicação deles por Marie Curie e sua filha durante a guerra, que a Física realmente se conectou com a Medicina, possibilitando que elas caminhassem juntas para tratamentos utilizando radiação ionizante para obtenção de imagens médicas (Costa, 2018).

O termo Física Médica é conceituado pela Associação Brasileira de Física Médica em seu site como:

O ramo da Física que compreende a aplicação dos conceitos, leis, modelos, agentes e métodos da Física para a prevenção, diagnóstico e tratamento de doenças, desempenhando uma importante função na assistência médica, na pesquisa biomédica e na otimização da proteção radiológica (ABFM, 2025).

A primeira vez que a expressão Física Médica foi citada, ocorreu em 1778 em Paris, quase 250 anos depois ainda há um número gigantesco de pessoas que não faz ideia do que seja a área (Duck, 2014).

A descoberta dos raios X, em 1895 por Wilhelm Conrad Röntgen, citada anteriormente alavancou a aplicação da Física, especificamente o uso das radiações na Medicina, essa descoberta ocorreu a partir de um estudo com raios catódicos, descobertos com o avanço das pesquisas do Eletromagnetismo, esses raios diferentemente dos catódicos causavam luminescência em uma placa com platinocianeto de bário a uma distância de 2 metros, eles então foram nomeados de raios X, a fim de se descobrir o que eram (Martins, 1997). Já a descoberta da radioatividade, em 1896 por Antoine Henri Becquerel, ocorreu numa pesquisa que consistia na impressão de chapas fotográficas por sais de urânio, portanto, havia então algo que parecia a descoberta de Röntgen, só que nesse caso dependia exclusivamente de uma emissão do urânio, com as contribuições de Marie e Pierre Curie, esse fenômeno foi então chamado de radioatividade (Okuno, 2018). A radioatividade era caracterizada por uma emissão radioativa que acontecia naturalmente, e alguns anos depois a filha do casal, Irene Curie descobriu que essa emissão radioativa poderia também ser induzida artificialmente com o bombardeamento de partículas. Devido as pesquisas de Rutherford, em 1899, foram observados dois tipos de emissão, a partícula beta e a partícula alfa e no ano seguinte, em 1900, Paul Villard descobriu raios mais penetrantes que os raios X e que não eram afetados por campos eletromagnéticos como as partículas, eram os chamados raios gama (Xavier *et al.*, 2007). Todo esse conjunto de descobertas colaboraram com o futuro do diagnóstico e tratamento de doenças e, culminaram no início da Física Moderna junto aos avanços da Quântica e da Relatividade, e alavancaram as pesquisas de aplicação da Física na Medicina.

Desde a antiguidade, já se acreditava que tudo no universo era composto de uma mesma estrutura, a primeira ideia de átomo surgiu com os gregos em 450 a.C. e com o avanço da ciência novas descobertas sobre os átomos foram feitas (Okuno, Yoshimura, 2010). Primeiramente acreditava-se que átomos eram estruturas indivisíveis, somente após a descoberta dos elétrons, em 1897, a partir também de pesquisas com raios catódicos e raios X, que novos “formatos” desses átomos foram imaginados (Zettili, 2009). Então a ideia dos modelos atômicos passou a evoluir conforme novas descobertas eram feitas, como o núcleo e sua composição de prótons e nêutrons por Rutherford e os modelos seguintes advindos de descobertas da quântica, resultantes das várias pesquisas sobre a estrutura do átomo, radioatividade e ondulatória, por grandes nomes como Niels Bohr, Louis De Broglie, Erwin Shrödinger e Wolfgang , Pauli, Werner Heisenberg e Paul Dirac, sendo destes nomes Bohr autor do modelo planetário e Shrödinger autor do modelo mais atual que utilizamos (Zettili, 2009; Griffiths, 2001).

Toda essa evolução da estrutura dos átomos, descobertas da Quântica e avanços da Física Nuclear, sendo esta última o ramo da física que estuda os núcleos atômicos, contribuíram para o avanço tecnológico e a aplicação da radiação para fins benéficos na sociedade. Além da estrutura citada do átomo, outras partículas foram descobertas nesse processo como pósitron, o neutrino e o méson, além dos quarks e léptons, sendo todas estas partículas elementares descobertas com os avanços da quântica (Eisberg; Resnick, 1974). Algumas dessas partículas, como o pósitron, são de extrema importância para o avanço da aplicação da física nuclear na medicina, para realização de exames de imagem (Costa, 2018). A partir dessa relação intrínseca das áreas, é possível concluir que a física médica consiste na aplicação de todos os conceitos apresentados para tratar e diagnosticar as pessoas, e o fato da radiação estar presente na vida de cada pessoa diariamente, seja pela necessidade de realização de exames ou tratamentos, seja com a presença de radiação no ambiente e seja pela radiação solar, torna indubitável a necessidade de levar uma conscientização sobre o uso das radiações, seus benefícios e riscos, e assim fazer uma divulgação científica acerca desse tema acessível para a sociedade.

Considerando todos os avanços científicos da Física apresentados e a proximidade da Medicina com o cotidiano de grande parte das pessoas, ainda se tem pouquíssima divulgação sobre o assunto, um dos fatores deve-se à dificuldade de acesso aos conteúdos científicos no Brasil, à falta de importância que a ciência recebe e à carência de popularização da área (Dela-bio *et al.*, 2021). Mesmo que, majoritariamente as pessoas possam ter contato com a Física Médica ao longo de sua vida, durante tratamentos e exames médicos como tomografia, raios-X, ressonância magnética, PET-scan, radioterapia e medicações com radioisótopos, é comum que haja pouco conhecimento sobre o conceito envolvido por parte da pessoa que está passando pelo procedimento (Rodrigues; Ferreira; Ferreira, 2023).

A carência de divulgação científica da área gera a falta de conscientização sobre os direitos de um paciente durante um exame, sobre os riscos que ele ou um acompanhante podem ser expostos, além de contribuir com a mistificação do uso de radiações ionizantes (Dias *et al.*, 2021). Essas questões nos levam à importância para que exista uma reflexão sobre como realizar a conscientização em torno da área da Física Médica.

Dentre os ambientes mais próximos ao dia a dia das pessoas, para realizar um trabalho de divulgação científica, existem os ambientes hospitalares, entretanto devido à burocracia que envolve este tipo de local, este não se torna tão viável para o desenvolvimento de certas

atividades de divulgação científica. Um outro ambiente, onde é possível que um número grande de pessoas tenha acesso à divulgação científica, é o espaço acadêmico, embora nem todas as pessoas tenham um acesso direcionado, este ainda é de domínio público e um espaço de possível visitação para todos. Na universidade têm-se três pilares, o ensino, a pesquisa e a extensão, sendo este último o responsável por levar o trabalho acadêmico até a população. Os três pilares têm o dever de realizar um bom trabalho de aproximação com o público, no pilar do ensino, a conscientização fica mais restrita a estudantes, mas é a partir desse âmbito que é possível adquirir informações que podem ser repassadas às pessoas pelos outros dois pilares, a pesquisa e a extensão. A pesquisa, ainda é mais direcionada à comunidade acadêmica, e não possui uma linguagem tão acessível, logo essa comunicação mais direta com a comunidade é realizada pelo pilar da extensão (Delabio *et al.*, 2021).

Na Universidade Federal de Uberlândia (UFU), o pilar da extensão aproxima a comunidade acadêmica da população por meio de ações dos inúmeros projetos de extensão, dentre essas ações está a divulgação científica. Nesse sentido, o Museu DICA - Diversão com Ciência e Arte, órgão complementar do Instituto de Física da Universidade Federal de Uberlândia, que desempenha um importante papel na extensão como um centro de ciências da universidade. O DICA realiza um trabalho de divulgação científica de áreas como Física, Química e Educação Ambiental, buscando aproximá-las do cotidiano das pessoas, com uma proposta mais divertida, artística e cultural (Jacobucci *et al.*, 2008). Museus de ciências possuem exposições com uma comunicação mais acessível e compreensível que tenta alcançar todos os públicos e então trazer um reconhecimento daquele conteúdo à eles, tendo-se então uma exposição que traga esses conceitos e que mostre também sua aplicação na Física permitindo que o público conheça um pouco mais a Física Médica.

1.2 Museus de Ciências

O museu, segundo a nova definição do Conselho Internacional de Museus (ICOM) de 2023, é descrita como:

[...] É uma instituição permanente, sem fins lucrativos e ao serviço da sociedade que pesquisa, coleciona, conserva, interpreta e expõe o patrimônio material e imaterial. Abertos ao público, acessíveis e inclusivos, os museus fomentam a diversidade e a sustentabilidade. Com a participação das comunidades, os museus funcionam e comunicam de forma ética e profissional, proporcionando experiências diversas para educação, fruição, reflexão e partilha de conhecimentos (ICOM, 2023).

Em conformidade com essa definição os museus de ciência, em específico, são um importante meio para a divulgação das ciências, porém foi somente partir da década de 1980, com o crescimento do número dessas instituições no país que houve também um aumento da necessidade de divulgação científica nos museus de ciências (Nascimento; Ventura, 2001; Moreira; Massarani, 2022; Marandino, 2008). Desse modo, segundo Cazelli, Marandino e Studart (2003, p. 6), “muitas das instituições museológicas criadas nesse período (1980) centraram ou promoveram atividades na perspectiva do público[...] introduzindo em sua museografia elementos interativos e/ou desenvolvendo ações educativas em diferentes níveis”.

Os museus de ciências são responsáveis por importantes exposições e ações, as quais tornam a ciência popular ao público, além de gerar entretenimento estes promovem também educação, de um modo não formal, sendo assim uma atividade organizada fora do sistema formal de educação (Marandino, 2003). Conforme é dito por McManus (2013, p. 23,24): “O museu deve ser percebido como um lugar onde é possível se ter a livre opção de se chegar lá e aprender”, ou seja, é um espaço diferente da escola, onde não há uma obrigatoriedade, mas pode haver um aprendizado, uma cativação do público.

A educação em museus de ciências vai além de despertar fascínio, é uma fonte de informação dos conteúdos e do procedimento da ciência (Marandino, 2008). É de extrema importância entender esse conceito pois o papel do museu de ciência é levar o conhecimento ao público, através da divulgação científica que pode estar incorporada a construção de uma exposição, ou por uma ação educativa para aproximar o público, ou seja, não é apenas sobre impressionar e impactar o visitante, mas sobre levar a ciência desde fatos simples a conceitos complexos de uma forma acessível.

A divulgação científica é definida por Barros e Martins (2023, p.13) como:

[...] processo que busca transpor e recontextualizar a ciência para o público de fora dos espaços de pesquisa e desenvolvimento em ciência e tecnologia. Porém, esse processo não deve ser realizado de forma imprudente e displicente, pois, essa atividade tem consigo a responsabilidade de apresentar a ciência de forma fiel aos seus conceitos, fenômenos e epistemologia.

Todo o trabalho realizado por um museu de ciências então deve ser pensado e planejado com prudência, a fim de levar os fatos de forma confiável e responsável sobre o conhecimento científico. A divulgação científica precisa estar de acordo com a comunicação científica, que é a comunicação realizada entre pares que ocorre na própria comunidade científica, para ser

realizada de forma coerente com o conteúdo científico (Valerio; Pinheiro, 2008; Silva, 2006). Em todo o seu processo de construção deve ser levado em conta o público almejado para desenvolvimento da linguagem empregada, toda a sua estrutura deve ser planejada de acordo com o tema abordado e cumprindo com a veracidade dos fatos, segundo a definição de divulgação científica apresentada.

1.3 Divulgação da Física Médica em Museus de Ciências

No Brasil existem muitos museus e espaços que realizam divulgação científica, porém a Física Médica ainda não possui um grande destaque nesses espaços. Apesar de apresentar conceitos próximos ao cotidiano das pessoas, como cita Dutra (2021), “você já fez uma radiografia para determinar se estava ou não com sinusite, ou conhece alguém que já fez uma tomografia para verificar se tinha cálculo renal ou quem precisou fazer uma cintilografia após um infarto”, a divulgação desse tema ainda é muito pequena em todo o país conforme apontam levantamentos de dados acerca do conhecimento da população quanto as radiações ionizantes. A partir de uma pesquisa online por centros de ciências que já abordaram ou abordam esse tema em exposições foram encontradas apenas 5 menções a área. É considerada uma menção muito pequena à Física Médica e as radiações ionizantes, uma vez que, segundo o livro Centros e Museus de Ciências do Brasil de 2015(ABCMC, 2015), existem 268 espaços científico cultural no país, embora haja uma variedade de tipos dentre esses espaços, desde zoológicos e jardins botânicos, até museus e acervos laboratoriais, ainda sim com esses dados é perceptível que existem uma quantidade mínima de atividades relacionadas à divulgação da Física Médica.

2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é identificar quais aspectos da divulgação da Física Médica podem contribuir para a compreensão do público sobre a Física Nuclear em uma exposição em um museu de ciências. Para isso, propõe-se o estudo, planejamento e construção de uma exposição que apresente ao público a trajetória da Física aplicada à Medicina, utilizando a Física Nuclear como ponto de partida para explicar conceitos como radioatividade, tipos de radiação e suas aplicações.

3 METODOLOGIA

Para desenvolver um trabalho que apresente os aspectos museográficos, a perspectiva da educação em museus de ciências e dos estudos em museus de ciências universitários, e principalmente desempenhe um papel de divulgação científica e dê visibilidade a Física Médica será agregado o espaço “Da Física Nuclear à Física Médica” à exposição de Mecânica Quântica que está sendo elaborada pela equipe educativa do Museu DICA.

A exposição tem o intuito de popularizar a temática da quântica e aproximar os conceitos do público. Ela contará com um espaço voltado à área da Física Médica, já que esta é uma área que está intrinsecamente ligada à Mecânica Quântica e sua aplicação está próxima a realidade das pessoas que ao longo da vida necessitam de diagnóstico ou tratamento com radiações ionizantes. Além desse espaço, sobre a Física Médica haverá outros com as temáticas de O que é a ciência, Centenário da Física Quântica, Clássica vs Quântica e Aplicações da Quântica, sendo todas essas temáticas construídas com uma linearidade para elucidar os visitantes sobre a ciência, apresentar os conceitos e as descobertas, além da aplicabilidade da mecânica quântica e sua contribuição para a sociedade.

Nesse sentido, para a realização de uma exposição dentro de um museu de ciências, primeiramente é preciso compreender o processo de divulgação científica nesses espaços, entender como é feita a comunicação com o público e ter um conhecimento museológico para construção da exposição (Knobel; Murriello, 2008). Dessa forma, a primeira etapa metodológica será uma breve revisão bibliográfica sobre o conhecimento das pessoas quanto à Física Médica e sobre como fazer a divulgação científica no formato de exposição em museus de ciência. Assim, será realizada uma transposição museográfica, que é a transformação e adaptação dos conceitos científicos para torná-los acessíveis e compreensíveis para todo o público, voltada para todo o público contemplando o conteúdo da Física Médica (Marandino, 2004; Barros, 2017). Espera-se que essa exposição apresente os conceitos e conteúdos de uma forma acessível, principalmente por se tratar de física aplicada à medicina, tema que engloba conceitos muito complexos para o público fora da comunidade acadêmica.

Com base nesse estudo bibliográfico sobre a física médica, principalmente sobre como é feita a divulgação em outros museus de ciências, será realizada por fim a construção dessa parte da exposição, a partir da produção dos artefatos - recursos criados para integrar exposições

museais, promovendo a comunicação dos conceitos científicos para os visitantes – que serão incorporados a exposição de Mecânica Quântica no Museu DICA (Barros, 2017).

3.1 Conhecimento acerca das Radiações Ionizantes

A Física Médica trabalha diretamente com as radiações ionizantes em suas três grandes áreas, o Radiodiagnóstico, a Radioterapia e a Medicina Nuclear. Os profissionais dessas áreas devem possuir um vasto conhecimento da aplicabilidade das radiações e da radioproteção, segundo as atribuições de cada área enunciadas pela Associação Brasileira de Física Médica, esses profissionais devem seguir as normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e as Resoluções da Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária RDC-AN-VISA. Segundo a ABFM (2025) são atribuições do Físico Médico: atuar organizando e apoiando o planejamento de programas de treinamento e formação, ou seja, desenvolver o treinamento e formação de recursos humanos nas áreas de Radioterapia, Radiodiagnóstico e a Medicina Nuclear.

Entretanto, segundo a RDC 611/22 para serviços de Radiodiagnóstico, Capítulo 2, Art. 14, p. 4:

“O responsável legal deve designar formalmente 1 (um) membro da equipe legalmente habilitado para assumir a responsabilidade pelas ações relativas à proteção radiológica de cada serviço de saúde que utilize radiações ionizantes para fins diagnósticos ou intervencionistas, denominado supervisor de proteção radiológica.”

Ainda segundo a RDC 611/22, Art. 3º, p. 2, esse supervisor de proteção radiológica pode ser qualquer “profissional com formação superior ou técnica com suas competências atribuídas por lei, e que cumpre todos os requisitos legais para o exercício da profissão”, não sendo especificada sua capacitação do profissional e conforme é citado na resolução ele será responsável pelo Programa de Educação Permanente e pelo Programa de Proteção Radiológica de toda a equipe, todavia nada consta na norma sobre o tempo de permanência desse profissional no serviço de Radiodiagnóstico.

Já quanto a CNEN 3.05 para serviços de Medicina Nuclear, é definido como parte do trabalho do Supervisor de Proteção Radiológica, segundo Art. 11 da CNEN, 2013, p. 5: “coordenar e orientar a execução dos programas de treinamento periódico em proteção radiológica dos Indivíduos Ocupacionalmente Expostos”. Na mesma norma é dito também no Art. 7 CNEN, 2013, p. 4: “O Supervisor de Proteção Radiológica deve estar disponível e acessível durante

todo o horário de funcionamento do Serviço de Medicina Nuclear”. Esse profissional também deve possuir uma capacitação na área de Medicina Nuclear, ao contrário da norma vigente para o Radiodiagnóstico, há uma especificação no Art. 10, da Seção IV da CNEN 3.05, que ainda determina o tempo mínimo de permanência do Supervisor de acordo com o nível de complexidade das instalações. Para instalações de baixa complexidade não é exigida a presença obrigatória de um SPR, logo o que é possível concluir com a análise da RDC 611/22 e da CNEN 3.05 é que a presença do profissional responsável pela radioproteção não é necessária durante todo o funcionamento desses setores. Como o Físico Médico e/ou o Supervisor de Proteção Radiológica, que normalmente são responsáveis pelo treinamento de radioproteção, não estão presentes durante todo o funcionamento de setores onde há utilização de radiações ionizantes, em alguns locais pode se haver uma desinformação por parte da equipe, que pode contar com profissionais que não sejam diretamente da radiologia, como enfermeiros, médicos e outros profissionais da saúde (Navarro, 2008). Essas análises, quanto ao conhecimento desses profissionais que podem ser expostos e a possível educação deficitária desse tema, é comumente feita em hospitais e de extrema relevância para a análise da necessidade de conscientização sobre as radiações ionizantes (Dias *et al.*, 2021).

As primeiras informações coletadas para a construção da exposição foram acerca do conhecimento das pessoas no que diz respeito a radiações ionizantes. A partir de uma revisão bibliográfica de artigos relacionados a essa pesquisa sobre conhecimento do público, foi evidenciado que grande parte dos periódicos encontrados continham informações do conhecimento do público principalmente da área da saúde, visto que no ambiente hospitalar esse tipo de pesquisa pode ser mais viável, visto que profissionais da área da saúde também se enquadram em possível público da exposição, um estudo entorno do tema foi realizado. O trabalho “Necessidade da conscientização de profissionais da saúde sobre radiações ionizantes – Revisão bibliográfica” foi submetido ao Congresso Brasileiro de Física Médica de 2024 (Ferreira; Neves; Perini, 2024a). Ele consistiu em um levantamento de artigos sobre o conhecimento de profissionais da área da enfermagem que podem ser indivíduos ocupacionalmente expostos (IOEs). Os dados encontrados nesse trabalho demonstram que em todos os 11 artigos há uma desinformação entre os profissionais da saúde em relação à proteção radiológica o que evidencia essa necessidade de maior conscientização sobre o uso seguro das radiações ionizantes. A análise desses dados inspirou a criação de um minicurso com registro no SIEX 32354 MINICURSO DE CONSCIENTIZAÇÃO SOBRE RADIAÇÕES IONIZANTES, que ocorreu do dia 28/08/2024 até 30/08/2024, voltado essencialmente para os estudantes da área da saúde

da Universidade Federal de Uberlândia, que poderiam eventualmente durante a sua carreira serem profissionais ocupacionalmente expostos, mas também aberto à toda comunidade. O minicurso foi descrito no trabalho submetido ao Simpósio de Física Aplicada à Medicina, realizado no final de 2024 (Ferreira; Neves; Perini, 2024b). Nele, são analisados aspectos como a adesão do público e os cursos de origem dos participantes. Os resultados do minicurso também evidenciaram uma significativa carência na divulgação científica da área, visto que o público não possuía conhecimento sobre todos os temas apresentados nas palestras, ressaltando a importância de levar informações sobre radiações ionizantes e sobre a Física aplicada à Medicina, de forma geral, ao público.

Além dos trabalhos de autoria própria, a literatura apresenta diversas outras pesquisas acadêmicas que evidenciam a falta de conhecimento da população sobre as radiações. Um exemplo é o estudo de Dias *et al.* (2021), que analisou 15 artigos e constatou, em todos eles, uma carência significativa de conhecimento em radioproteção. Essa fragilidade na disseminação das informações reforça a necessidade urgente de ampliar a conscientização sobre as radiações ionizantes.

Se no ambiente hospitalar, onde o contato com as radiações ionizantes e com físicos médicos, a conscientização sobre radiações ionizantes carece de melhorias, a divulgação fora desse ambiente é ainda mais deficiente. A população em geral está submetida às radiações no ambiente a todo momento e pode ser submetida à tratamentos e diagnósticos com radiações ionizantes a qualquer momento durante a sua vida, entretanto, há pouco conhecimento popular acerca do tema, o que traz reflexões quanto a como realizar então essa popularização, como mostrar ao público como a Física é aplicada na Medicina e como esse fato é importante no seu cotidiano.

3.2 Divulgação Científica em Museus de Ciências

Além do levantamento bibliográfico sobre a necessidade da divulgação científica da área da Física Médica, é preciso um estudo sobre como realizar essa divulgação em museus de ciências. A comunicação nesses espaços é diferente da comunicação científica que ocorre na academia entre pares, ela tenta apresentar ao público o conteúdo de maneira mais acessível, porém, ainda possui um rigor quanto à conceitos das ideias desenvolvidas, principalmente

entorno das temáticas abordadas como a Mecânica Quântica, a Física Nuclear e a Física Médica. Todas as áreas citadas envolvem conceitos complexos, que devem ser transpostos de uma forma mais compreensível para o público leigo, utilizando recursos para tornar acessível a informação ao público não especializado (Loureiro, 2009; Prudêncio, 2009). No intuito de compreender como melhor desenvolver a divulgação científica nesses espaços, uma breve revisão bibliográfica também foi realizada. Artigos relacionados à divulgação científica em museus de ciência foram consultados para o desenvolvimento de toda a exposição, fundamentados no Plano Museológico do Museu Dica (Barros, 2017).

Primeiramente é conceituada o que é de fato uma exposição e qual o seu papel no museu, a partir da utilização dos artefatos museais, a exposição é dita como uma estratégia narrativa que visa trazer os conceitos à materialidade e dar visibilidade à temas menos acessíveis (Loureiro, 2009). Quanto aos artefatos museais, os objetos da exposição, há uma ideia de coleção, um número de itens que são correlacionados e intencionalmente são agrupados para construir a exposição. Todo esse contexto da utilização dessa coleção, da relação entre os objetos dela, conferem a exposição a possibilidade de comunicar-se com o público, sendo então a parte fundamental da divulgação científica em museus (Loureiro, 2009).

Para realizar uma exposição em um museu de ciências é preciso entender os conceitos por trás da divulgação científica nesses espaços, segundo Cazelli, Marandino e Studart (2003, p. 11):

As exposições são meios peculiares e fundamentais no processo de comunicação com o público. Para isso é crucial que elas sejam atraentes, motivadoras e envolventes, emocional e intelectualmente. No caso particular dos museus de ciência, essas informações são, algumas vezes, provenientes de textos-fonte (saber de referência) ou de textos de divulgação científica. De qualquer forma, essas informações, para terem significado por parte do visitante, necessitam passar por um processo de mediação didática que considere as especificidades das linguagens científica e expositiva.

Conforme é citado a concepção de uma exposição deve pensar no olhar de quem vai contemplar os objetos, os textos, as estruturas, esse é um pensamento crescente nas exposições atuais, ter em mente a experiência do visitante, afinal de nada importa tentar transmitir uma ideia sem levar em conta como ela será recebida. Além disso, é necessário tornar as informações acessíveis, tentar promover o significado a exposição de maneira clara para que o visitante possa tentar compreendê-la.

A divulgação científica tem o ideal de apresentar a ciência para a população, por meio da transformação de conceitos com a finalidade de alcançar o público que não tenha conhecimento na área, esse tipo de abordagem pode levar a conclusões errôneas de conceitos e o alastramento de falsas interpretações (Meneghelli *et al.*, 2022). Apesar de querer apresentar uma ideia, o resultado de como ela será interpretada pelo público é uma incógnita, então é necessário que essa transformação dos conceitos seja realizada da maneira correta, a fim de que essa adaptação do conteúdo não atrapalhe mais a compreensão do público e a comunicação da exposição (Marandino, 2003). Por isso, um cuidado deve ser tomado ao realizar a construção de uma exposição que incorpore conceitos tão complexos como a Mecânica Quântica.

Quanto ao diálogo entre a concepção da produção e a montagem da exposição, há uma abordagem conceitual disciplinar muito presente na produção de uma exposição, uma necessidade de organização das exposições focada mais na transmissão de conceitos e teorias científicas, o que remete a estrutura disciplinar escolar (Prudêncio, 2009). Em contrapartida, Prudêncio (2009, p.121) cita “àquelas e àqueles que não dominam os conceitos, as linguagens e as especificidades do conhecimento científico se destinam o deslumbre e o encantamento com o que é trazido pelos Museus científicos”, é perceptível uma quebra no conceito da abordagem conceitual, quando aplicada à montagem da exposição, uma vez que o público que não tem conhecimento na área se deslumbra e encanta, entretanto pode não absorver os conceitos e teorias.

Para incorporar o público à exposição e assim facilitar seu processo de aprendizagem, para que ele possa compreender melhor a ciência, surgem as tendências pedagógicas. Elas enfatizam a presença da ação do visitante na aprendizagem com a exposição, nesse sentido os artefatos presentes podem desempenhar diferentes papéis de interação, além de contemplativo, podem ser interativos. As ideias de aplicação da educação em ciências e propostas pedagógicas estão em concordância com a importância de fazer o visitante interativo na exposição, uma vez que, a evolução dos museus transformou essas instituições em espaços de aproximação dos avanços tecnológicos e científicos com o público, deixando no passado a ideia de espaços meramente contemplativos (Cazelli *et al.*, 2008). A ciência nem sempre pode ser somente explicada, é necessário que ela seja também experimentada.

A partir da ideia de experimentação, o trabalho de Coelho *et al.* (2019), sobre os Museus de História Natural como importante ferramenta de divulgação científica, apresenta resultados quanto a essa ampliação da interação do público nas visitas. Ele demonstra assim como essa

interação contribui para o despertar de interesse e da alfabetização científica do visitante, processo que desenvolve no público uma capacidade de entender e expressar opiniões sobre a ciência. Para absorver melhor então os conceitos e teorias, torna-se preciso que no processo de produção da exposição a interação do público tenha um papel primordial, visto que essa permite a interação do visitante diretamente com as peças expostas, através dos sentidos sensoriais, da manipulação e da experimentação (Coelho *et al.*, 2019). Por isso a interatividade é uma facilitadora da aprendizagem e um grande atrativo para o museu por despertar o interesse do público.

Todos os estudos analisados apontam para aspectos fundamentais para o processo de construção de uma exposição e estão em consonância com as ideias de se entender a divulgação científica em museus de ciências, com a necessidade de evitar ambiguidades na comunicação científica, a incorporação de tendências pedagógicas e abordagem conceitual da educação formal ao contexto museal, além da importância de incorporar o olhar do visitante na construção das exposições, tornando-as interativas e atrativas ao público (Barros, 2017).

3.3 Construção de uma exposição

A construção de uma exposição dentro de um museu de ciências demanda um delicado processo para de elaboração da apresentação dos conceitos que desejam ser expostos. Esses conceitos devem ser transpostos ao público de uma forma compreensível, levando em conta as diversas possibilidades de visitantes que a exposição possa ter, tendo compromisso e transparência com a veracidade da ciência, porém respeitando as crenças e individualidades de qualquer público. Em temas que possuem tantos desdobramentos e apropriações de termo quanto a quântica, um cuidado deve ser tomado quanto como expor os fatos, quais conteúdos apresentar e como causar um entendimento de um tema tão difícil.

Quanto ao tipo de exposição, conforme define Chelini e Lopes (2008, v. 2, p. 214), há um modelo de exposições em que “o conceito é que está em foco e o importante é a mensagem/informação. O objetivo é proporcionar a apreensão do conceito [...] Nas exposições educativas, embora o objeto esteja presente [...], os textos são essenciais para a compreensão da proposta da exposição”. Em exposições como a de Mecânica Quântica do Museu DICA, em que há muitos conceitos envolvidos, é preciso que o foco esteja majoritariamente na

informação, para que o público possa compreender os conceitos, entretanto conforme a ideia de interatividade apresentada na seção anterior, além dos textos a presença de objetos é essencial.

Considerando essas necessidades, quanto à apresentação das informações, a exposição será desenvolvida a partir de um estudo de níveis conforme descreve Barros e Martins (2023, p. 64), sendo três níveis de informação que levam em conta o tempo e a interatividade individual de cada visitante:

1º – Este nível é mais simples, porém, deve garantir as conexões e as lógicas que a exposição busca para com o visitante. As informações estão à superfície dos artefatos e dos banners, e não necessitam de mais que uma “passada de olho” para que sejam interpretadas[...].

2º – Este nível é intermediário e pode estar em dobraduras, gavetas, janelas, entre outros elementos da exposição que permitam a adição de mais algum texto ou contexto sobre o conteúdo expositivo. Assim, este nível permite complemento ao nível anterior, ou mesmo com informações independentes[...].

3º – Este é o último nível, e pode ser um nível com uma informação tanto mais complexa como mais acessível, pode ser separado em camadas para que atenda diversos níveis de formação, e permite que seja em uma plataforma virtual e de acesso através da própria exposição[...].

A definição dos níveis organiza as ideias a serem dispostas na exposição facilitando a distribuição dos conteúdos abordados. No caso dos conteúdos da Física Médica, que são o foco desse trabalho, serão introduzidos os tópicos desde o que é a radiação até a sua aplicação na medicina, evidenciando o papel do Físico Médico e mostrando os benefícios e malefícios relacionado às radiações ionizantes.

Além do estudo sobre a distribuição das informações em cada nível, a construção da exposição requer uma pesquisa prévia sobre a disponibilidade de materiais para a criação dos artefatos museais, especialmente aqueles que comporão a exposição física. Também se faz necessário um estudo do espaço disponível e da melhor forma de distribuir as informações nos suportes escolhidos. Essa trajetória de estudos começa a delinear a estrutura da exposição e, no caso específico do espaço dedicado à Física Médica, permite o desenvolvimento dos conteúdos de forma mais direcionada e eficiente.

4 DESENVOLVIMENTO DA EXPOSIÇÃO

O primeiro passo de desenvolvimento da exposição foi a criação de uma identidade visual. Essa criação dá de fato uma cara ao objeto final, caracterizando a exposição e apresentando seus objetivos. Para isso, utilizando o aplicativo Canva, foram escolhidas as cores e fontes utilizadas em toda a exposição, conforme a Figura 1.

Figura 1 – Estudo de cores e fontes para exposição de Mecânica Quântica.



Fonte: Própria autora.

A escolha de cores para a temática Da Física Nuclear à Física Médica, com tons de azul turquesa e amarelo, teve como inspiração a logo do curso de Física Médica da Universidade Federal de Uberlândia (Figura 2), disponível no site do Instituto de Física (Portal INFIS, 2021), como um gesto de referência e homenagem ao curso que foi a inspiração desse espaço da exposição.

Figura 2 – Relação de cores da logo da Física Médica disponibilizada pelo Instituto de Física-UFU.

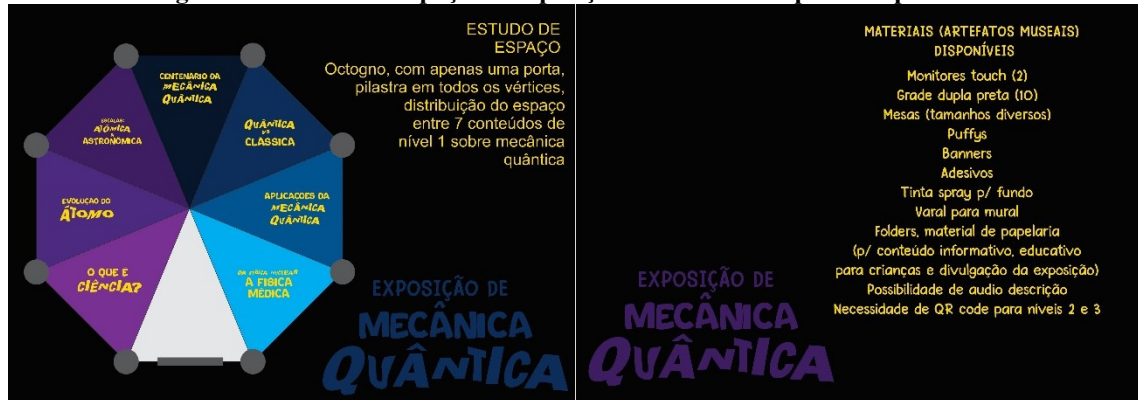


Fonte: Reprodução Portal INFIS (2021) e própria autora.

A estrutura de como a exposição foi planejada é apresentada na Figura 3, que demonstra a linearidade das ideias pensadas, que parte desde conceituar o que é a ciência, caminhando pela evolução dos átomos, a ideia de escala atômica e chega na explicação do que é a quântica

(Zettili, 2009; Griffiths, 2001), para enfim demonstrar suas aplicações e chegar-se ao resultado desse trabalho, a demonstração da aplicação da Física na Medicina (Okuno, 2018).

Figura 3 – Estudo do espaço da exposição e materiais disponíveis para uso.



Fonte: Própria autora.

4.1 Conteúdo da exposição

A escolha do conteúdo apresentado na exposição foi construída a partir da análise de como são introduzidos os conteúdos na grade do curso de Física Médica na Universidade Federal de Uberlândia (Portal INFIS, 2021). Inicialmente são apresentados os conceitos, as descobertas que levaram a aplicação das radiações na medicina e a partir da construção dessas ideias são apresentadas as áreas mais específicas como o Radiodiagnóstico, a Radioterapia e a Medicina Nuclear, e essa é a ideia escolhida para apresentar ao público que acompanha a evolução dos conteúdos apresentados no curso de Física Médica. É indubitavelmente necessário que se leve em conta quais são os visitantes dessa exposição, eles podem ser físicos, podem ser de áreas com conhecimento em radiações ionizantes, porém podem também não ter nenhum conhecimento da área, como é comum no caso das visitas agendadas no Museu Dica, então isso deve tornar a apresentação desses conceitos o mais acessível, abrangendo ao máximo as faixas etárias e níveis escolares do possível público.

Partindo desses princípios o primeiro tópico abordado no espaço da física médica será “O que é radiação?” e “Quais são os tipos de radiações?”, no intuito de mostrar uma definição ao público e começar a introduzir os conceitos envolvidos (Figura 4). A utilização de recursos visuais nesse momento é de suma importância, uma vez que falamos de algo que não está no espectro visível do olho humano, apresentar esse espectro e demonstrar a ideia de onda e

partícula (Zettili, 2009; Griffiths, 2001), já presente na exposição devido aos conceitos de quântica, ajuda o receptor a assimilar as informações.

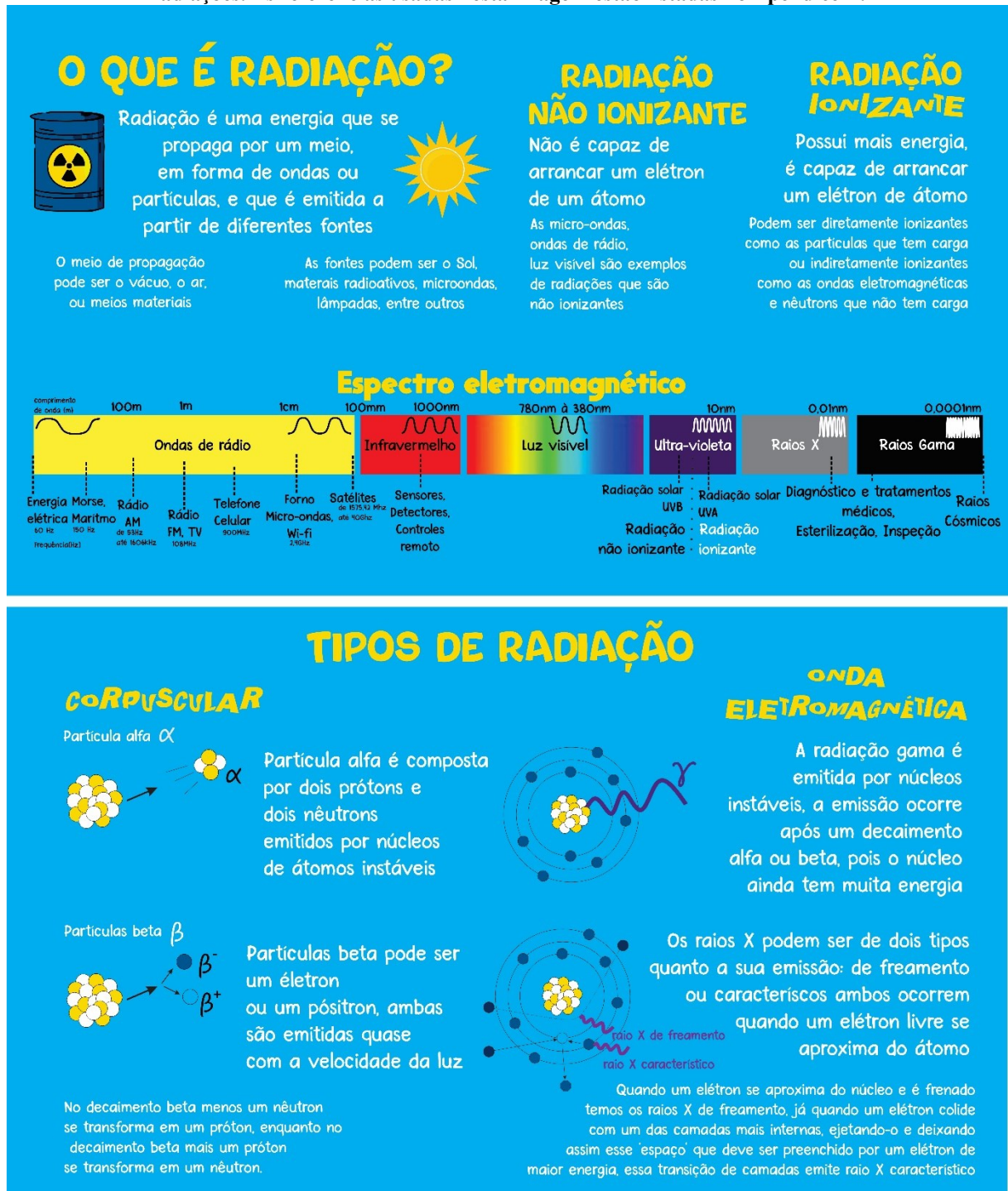
Esses conceitos existem, são claros para qualquer conhecedor da área, mas então eles devem ser elucidados ao visitante como experimentalmente chegaram nesses conceitos. Para isso o segundo tópico abordado será o contexto histórico, uma breve contextualização sobre a descoberta dos raios X e da radioatividade (Figura 5), que deve ser aprofundada nos níveis 2 e 3 de forma virtual (Barros, Martins, 2023). Além de mostrar de onde surgiram os conceitos apresentados, a parte histórica pode aproximar também públicos que tenham mais interesse em acontecimentos históricos.

Seguindo a ideia de linearidade da exposição, após mostrar as descobertas históricas, serão então apresentados os avanços dessas descobertas, que dão um gancho para a aplicação das radiações e esse fato leva ao terceiro tópico: “O que é a Física Médica?” (Figura 6). Aqui de fato será introduzida a aplicabilidade da física na medicina.

Além das áreas da física médica de diagnóstico e tratamento com radiações, no contexto geral as radiações têm outras aplicabilidades, como energia nuclear, bombas atômicas, por isso o último tópico do nível 1 da exposição será a “Aplicação da física nuclear”, demonstrando como os conceitos apresentados estão presentes na vida das pessoas (Figura 7).

A partir da definição dos tópicos há então a necessidade da construção dos rótulos, e a partir da pesquisa feita quanto a disponibilidade de recursos, ficou definida a utilização de material PVC adesivado com as informações escolhidas para ser disposto na exposição por meio de grades duplas. Todo o processo de criação de rótulos teve como base as pesquisas de divulgação científica em museus de ciências, para que o material criado seguisse os princípios apresentados na metodologia do presente trabalho, todos os textos presentes nas figuras 4 a 7, bem como todas as referências utilizadas para produção dos textos estão contidas no Apêndice A deste trabalho.

Figura 4 – Conteúdos abordados no primeiro tópico do nível 1: o que é radiação e quais são os tipos de radiações. As referências usadas nesta imagem estão listadas no Apêndice A.



TIPOS DE RADIAÇÃO

CORPUSCULAR

Partícula alfa α

Partícula alfa é composta por dois prótons e dois nêutrons emitidos por núcleos de átomos instáveis

Partículas beta β

Partículas beta pode ser um elétron ou um pósitron, ambas são emitidas quase com a velocidade da luz

No decaimento beta menos um nêutron se transforma em um próton, enquanto no decaimento beta mais um próton se transforma em um nêutron.

ONDA ELETROMAGNÉTICA

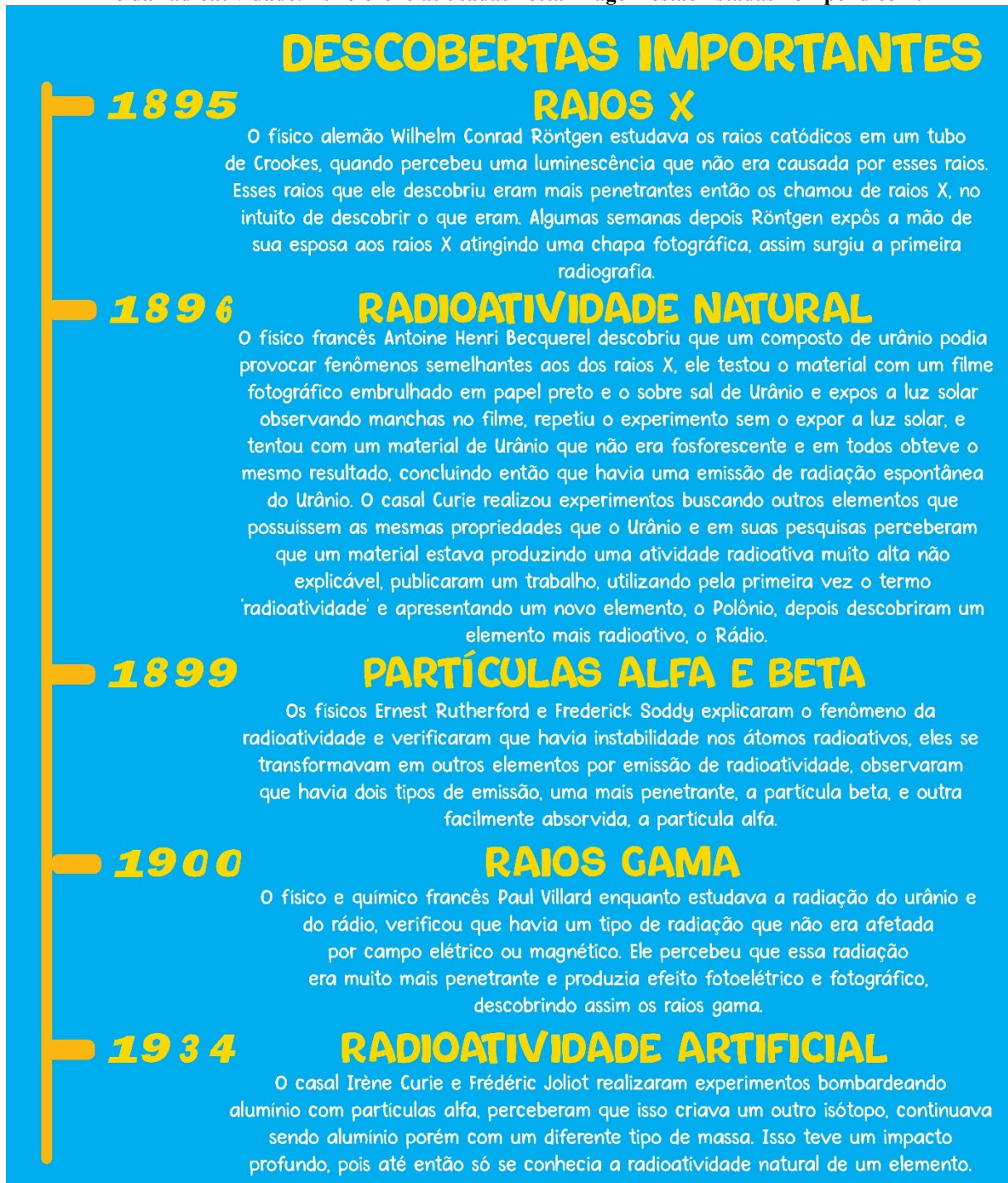
A radiação gama é emitida por núcleos instáveis, a emissão ocorre após um decaimento alfa ou beta, pois o núcleo ainda tem muita energia

Os raios X podem ser de dois tipos quanto a sua emissão: de freamento ou característicos ambos ocorrem quando um elétron livre se aproxima do átomo

Quando um elétron se aproxima do núcleo e é frenado temos os raios X de freamento, já quando um elétron colide com um das camadas mais internas, ejetando-o e deixando assim esse 'espaço' que deve ser preenchido por um elétron de maior energia, essa transição de camadas emite raio X característico

Fonte: Própria autora.

Figura 5 - Conteúdos abordados no segundo tópico do nível 1: contexto histórico da descoberta dos raios X e da radioatividade. As referências usadas nesta imagem estão listadas no Apêndice A.



Fonte: Própria autora.

Figura 6 - Conteúdos abordados no terceiro tópico do nível 1: o que é a Física Médica e a descrição de suas áreas. As referências usadas nesta imagem estão listadas no Apêndice A.

O QUE É A FÍSICA MÉDICA?

Você já ouviu falar da Física Médica? Apesar de ser uma área em grande expansão e presente em importantes técnicas da medicina, essa não é uma área tão conhecida.

A Física Médica é o ramo da Física que compreende a aplicação dos conceitos, leis, modelos, agentes e métodos da Física para a prevenção, diagnóstico e tratamento de doenças, desempenhando uma importante função na assistência médica, na pesquisa biomédica e na otimização da proteção radiológica.

Em resumo um Físico Médico trabalha com 3 grandes áreas: o Radiodiagnóstico, a Radioterapia, a Medicina Nuclear. Em todas essas áreas o físico deve se preocupar com dois fatores importantes a dose e a radioproteção, ele avalia e controla os níveis de radiação em hospitais e clínicas, cuida da segurança de pacientes, profissionais da saúde e do público em geral.

RADIOLOGIA



O radiodiagnóstico é uma área da medicina que usa radiações ionizantes (raios X) para gerar imagens do interior do corpo, ajudando no diagnóstico de doenças e lesões.

TIPOS DE EXAMES

Radiografia (raio X): muito usada para ver ossos, tórax e dentes.
 Tomografia Computadorizada (TC): imagens em 3D de órgãos internos.
 Fluoroscopia: muito usada em procedimentos de radiologia intervencionista.
 Mamografia: exame das mamas, usado na detecção precoce do câncer.
 Ressonância Magnética: é um exame de imagem que usa campos magnéticos e ondas de rádio para criar imagens detalhadas do corpo.
 Ultrassom é um exame de imagem que usa ondas sonoras para criar imagens do interior do corpo.

A ressonância e o ultrassom não utilizam radiação ionizante, mas utilizam métodos físicos para obter imagens.

O princípio básico de funcionamento dos aparelhos é a emissão de raios X que atravessam o corpo. Tecidos mais densos (como ossos) absorvem mais radiação e aparecem mais claros. A partir da interação com a radiação, o detector fornece uma imagem.



RADIOTERAPIA



A radioterapia é um tratamento médico que usa radiação ionizante para destruir células cancerígenas ou impedir que elas se multipliquem. Ela pode tratar o câncer e ser aliada da quimioterapia, pode reduzir tumores e até prevenir a volta do câncer após a cirurgia.

COMO FUNCIONA

A radiação danifica o DNA das células tumorais, impedindo que se dividam. As células saudáveis também podem ser atingidas, mas se recuperam melhor que as cancerígenas.

O tratamento é planejado com precisão, usando imagens como tomografia para direcionar a radiação só onde precisa.

TIPOS DE TRATAMENTOS

É dividida em dois principais tipos de procedimento quanto ao tipo de exposição, a teleterapia externa ao corpo e a braquiterapia interna ao corpo.

Radioterapia externa: Feixes de radiação são emitidos por um aparelho (como o acelerador linear) e direcionados ao tumor.

Braquiterapia (interna): Pequenas fontes de radiação são colocadas dentro ou perto do tumor, por pouco tempo.

MEDICINA NUCLEAR

A medicina nuclear é uma especialidade que usa substâncias radioativas, os radiofármacos, para diagnosticar e tratar doenças.

COMO FUNCIONA

O paciente ingere ou recebe por injeção uma pequena dose de radiofármaco. Esse material vai até o órgão ou tecido alvo (ex: coração, rins, ossos, cérebro).

A radiação emitida é captada por equipamentos como a gama-câmara ou o PET-CT formando imagens funcionais do corpo (mostram além da anatomia, o metabolismo do paciente).

Para o tratamento se usa doses maiores de radiação. É comum tratamentos de doenças da tireoide, com iodo-131, metástases ósseas e alguns tipos de linfomas ou tumores neuroendócrinos.

TIPOS DE EXAMES

Os exames mais comuns da medicina nuclear são classificados como:

- Cintilografia, geralmente óssea, renal, cardíaca, tireoide.
- PET-CT geralmente exames oncológicos.

Nesses exames temos a emissão de radiação gama e a partículas beta devido a administração de radiofármacos.



Fonte: Própria autora.

Figura 7 - Conteúdos abordados no quarto tópico do nível 1: aplicações da física nuclear.
As referências usadas nesta imagem estão listadas no Apêndice A.

APLICAÇÕES DA FÍSICA NUCLEAR

Além da aplicação na área da saúde, a física nuclear é amplamente usada no dia das pessoas e também pouco reconhecida, áreas como produção de energia sempre são lembradas, quando se usa o termo nuclear, mas a aplicação de conceitos da física nuclear se estende desde indústria, agricultura, alimentos, segurança e até mesmo na história.



USINAS NUCLEARES

Em reatores nucleares, átomos (geralmente de urânio ou plutônio) passam por fissão nuclear, liberando uma enorme quantidade de energia. Essa energia aquece a água que vira vapor e movimenta turbinas para gerar eletricidade. Seus principais benefícios são a alta produção de energia com pouca matéria-prima e a baixa emissão de gases poluentes.

INDÚSTRIA

Para controle de qualidade e medição precisa, utilizamos conceitos da física nuclear, como na medição de espessura de papéis, plásticos ou metais com fontes de radiação beta. Radiografia industrial para inspecionar soldas e estruturas metálicas, procurando defeitos internos sem quebrar nada.

SEGURANÇA

Detectores de radiação são usados em aeroportos, portos e fronteiras para identificar materiais suspeitos. Detectores de cintilação são utilizados em portos e fronteiras para detectar materiais radioativos escondidos em cargas, contêineres, bagagens ou veículos.

AGRICULTURA E ALIMENTOS

A Física nuclear também ajuda na produção e conservação de alimentos. Na agricultura ela é usada no melhoramento genético. Radiação é usada para induzir mutações em sementes, criando plantas mais resistentes a pragas e clima. Além disso os alimentos são expostos à radiação controlada para matar bactérias, fungos e parasitas, aumentando a durabilidade e segurança sem alterar o sabor ou valor nutricional. Esse processo é chamado de Irradiação.



ARQUEOLOGIA

A famosa datação por Carbono-14 ($C-14$) é baseada em física nuclear. Permite determinar a idade de fósseis, objetos antigos e até múmias, analisando a quantidade de $C-14$ restante em materiais orgânicos.

BOMBAS NUCLEARES

A física nuclear também é usada na criação de armas nucleares, como as bombas atômicas e termonucleares. Essas armas liberam enormes quantidades de energia em explosões devastadoras, baseadas nos princípios da fissão ou fusão nuclear.



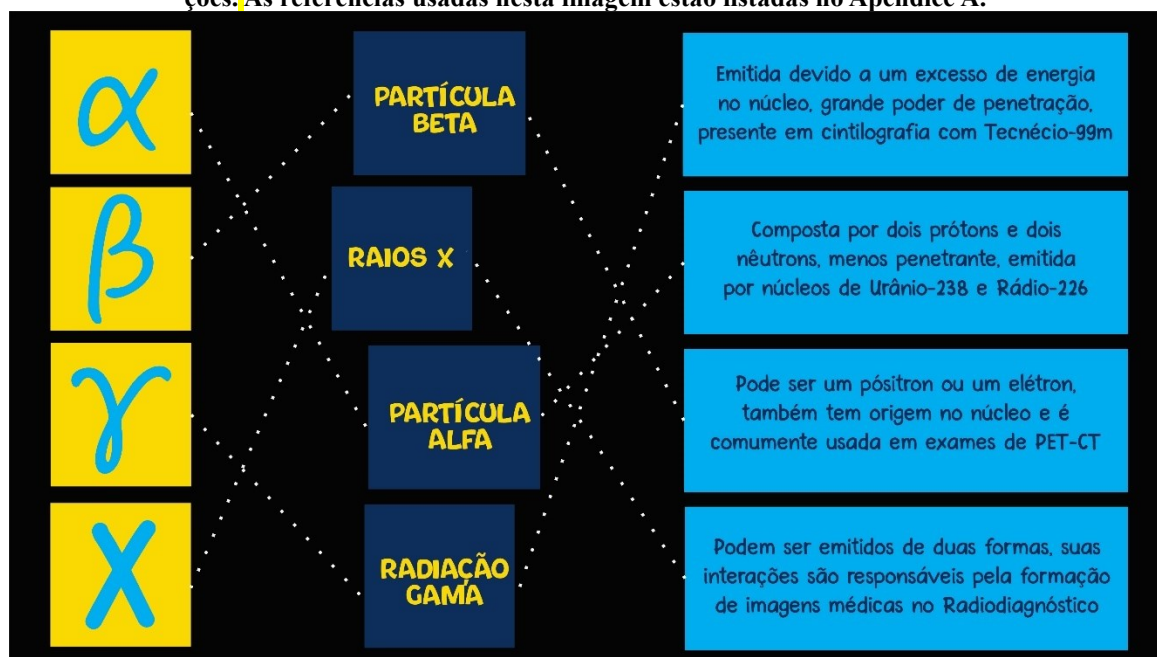
Fonte: Própria autora.

4.2 Parte interativa da exposição

Com o princípio de aproximar o público e torná-lo parte interativa da exposição, também será desenvolvido um jogo para a exposição presencial, que consiste em utilizar as ideias de radiações e partículas apresentadas no material com sua aplicação. Por mais que pareça uma ideia simples, esse jogo pode ajudar o visitante a fixar as ideias apresentadas na exposição e pode ser interessante principalmente para o público escolar, que geralmente busca em museus de ciências um aprendizado diferente da educação formal da sala de aula. Essa interatividade aumenta também a atratividade da exposição, ao fugir do convencional ir para o museu contemplar, mas ir para o museu aprender fazendo algo.

A descrição da atividade interativa, assim como seu esquema de funcionamento, está apresentada na Figura 8. No entanto, ainda não há uma definição final quanto à forma de implementação do jogo, pois isso dependerá dos recursos disponíveis para a exposição como um todo. Considera-se, por enquanto, a possibilidade de desenvolver uma versão virtual, utilizando um computador com tela *touch*, ou uma versão física, com peças confeccionadas em materiais como acrílico ou madeira. A definição da distribuição de recursos como uma tela *touch*, só será possível com a conclusão dos conteúdos da exposição que ainda estão em andamento.

Figura 8 – Esquema de representação da atividade interativa da exposição presencial: jogo sobre as radiações. As referências usadas nesta imagem estão listadas no Apêndice A.



Fonte: Própria autora.

4.3 Exposição Virtual

A apresentação de conteúdos em níveis, torna evidente que não é possível construir uma exposição com esse grau de complexidade, sem a divisão da parte presencial e da parte virtual. A parte virtual de uma exposição traz então uma consolidação do assunto tratado na exposição presencial e apresenta novas possibilidades ao visitante. Tendo em vista essa ideia de continuidade, os tópicos selecionados para os níveis 2 e 3 da exposição seguem uma concordância com o conteúdo do nível 1, são eles:

Nível 2:

- **Toda a história e contribuições da física médica**

Além do contexto histórico apresentado na exposição presencial, nesse tópico será realizado um aprofundamento sobre a história da evolução das ideias da física como isso influenciou a sociedade, mostrando casos importantes como a aplicação da radiação na indústria, os casos de morte por exposição indevida às radiações ionizantes e o avanço da física médica.

- **Interações das radiações ionizantes**

Aprofundar o conhecimento sobre as interações das radiações com a matéria apresentadas na exposição presencial, demonstrar por meio de figuras e imagens os efeitos das interações, como os espalhamentos, a produção de pares e o efeito fotoelétrico.

- **Efeitos biológicos da radiação no corpo humano**

Apresentar os riscos e benefícios da radiação no corpo humano, de uma forma mais branda por ainda se tratar do nível 2, sem exibição de imagens impactantes, apenas um conteúdo um pouco mais biológico sobre os efeitos das radiações.

- **Conheça as áreas da Física Médica**

Exemplificar mais sobre as áreas apresentadas no nível anterior, trazer imagens e dados sobre cada uma das áreas, para não deixar dúvidas ao público quanto aos tipos de tratamento e diagnóstico realizados.

Nível 3:

- **Formação de imagens médicas**

Tratamentos com radiações ionizantes

Equipamentos de diagnóstico e tratamento com radiações

Todas as aplicações das interações da radiação com a matéria serão detalhadas nesse nível, contendo inclusive link para acesso a artigos ou recomendação de livros onde o assunto é mais aprofundado, já que esse nível é destinado àqueles quem tem um interesse de adquirir mais informações. Temas como a formação de imagens médicas, tratamento com radiações ionizantes e funcionamento dos equipamentos de diagnóstico e tratamento com radiações, demandam um desdobramento maior do conhecimento e devem ser abordados nesse nível com o uso de equações, detalhamento de funcionamento dos equipamentos e conceituação dos procedimentos envolvendo radiações ionizantes.

- **Energia Nuclear**

A aplicação da Física Nuclear vai muito além da Medicina, a energia nuclear é um excelente exemplo de aplicação da Física Nuclear na geração de energia. Atualmente o Dica possui uma exposição virtual sobre os caminhos da eletricidade, que fala um pouco sobre as formas de energia, há exemplos de hidrelétrica, eólica e solar, a partir desse tópico, as exposições virtuais contarão também com uma explicação detalhada de como é gerada energia na usina nuclear, essa é uma importante fonte de energia no país e no mundo, por isso sua explicação se torna muito necessário nesse contexto.

- **Acidentes Nucleares**

As consequências do uso das radiações de forma indevida também devem ser apresentadas ao público mais interessado, principalmente os maiores acidentes nucleares. É importante apresentar a energia nuclear, mas mostrar também os riscos envolvidos ao seu uso indevido, além do uso catastrófico de bombas atômicas e seus resultados para humanidade. Acidentes como do Césio-137 em Goiânia, que poderiam ser evitados com maior cuidado no descarte de material radioativo e maior conscientização da população, devem ser apresentados na exposição para elucidar a importância da divulgação científica.

- **Atividades desenvolvidas pelo físico médico**

Explicação detalhada sobre a dosimetria e a proteção radiológica, a importância do físico médico no controle de doses e garantia de qualidade nos equipamentos de diagnóstico e tratamento. Além de um convite para o público interessado a ingressar na área, trazendo informações técnicas da graduação, do ambiente de trabalho e perspectivas do mercado de trabalho.

Todo o conteúdo detalhado acima estará contido no site oficial do Museu DICA, na aba de exposições virtuais e será acessado pelo visitante tanto remotamente, quanto presencialmente a partir de QR Codes. A interface do site do DICA (<https://dicaufu.com.br/atividades/exp-virtuais>) está representada na Figura 9 e a partir da ideia das exposições que já estão presentes lá, será desenvolvida toda a exposição virtual de Mecânica Quântica.

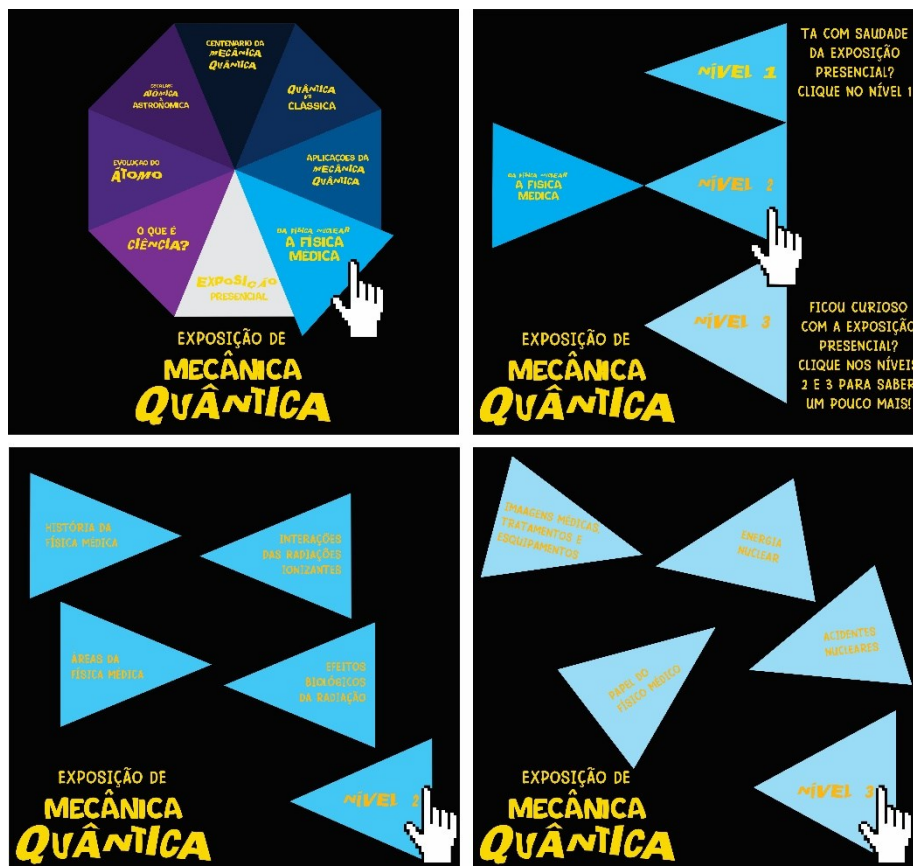
Figura 9 – Interface do site do Museu Dica: exposições virtuais.



Fonte: Reprodução Museu DICA.

O espaço da Física Nuclear à Física Médica deverá ter uma aparência seguindo a escolha de cores da exposição presencial, conforme a Figura 10, que demonstra como ficarão dispostos os níveis e seus respectivos tópicos, em um nível de desorganização maior conforme aprofundamos o nível de conhecimentos (Barros, Martins, 2023). A ideia é que ao acessar o site e clicar na exposição virtual Mecânica Quântica o visitante veja o octógono com todos os conteúdos da exposição, e ao clicar no triângulo Da Física Nuclear à Física Médica ele seja direcionado ao acesso aos níveis, onde poderá escolher quais conteúdos gostaria de ver. Ao clicar no nível 1 ele verá o mesmo material exposto na exposição presencial, já ao clicar no nível 2 e 3 irá desbloquear os triângulos com os conteúdos detalhados nos tópicos do nível 2 e 3, e assim conforme sua escolha poderá adquirir conhecimento sobre cada um dos temas.

Figura 10 – Esquema de representação da disposição da exposição virtual: acesso aos níveis 2 e 3 de informação.



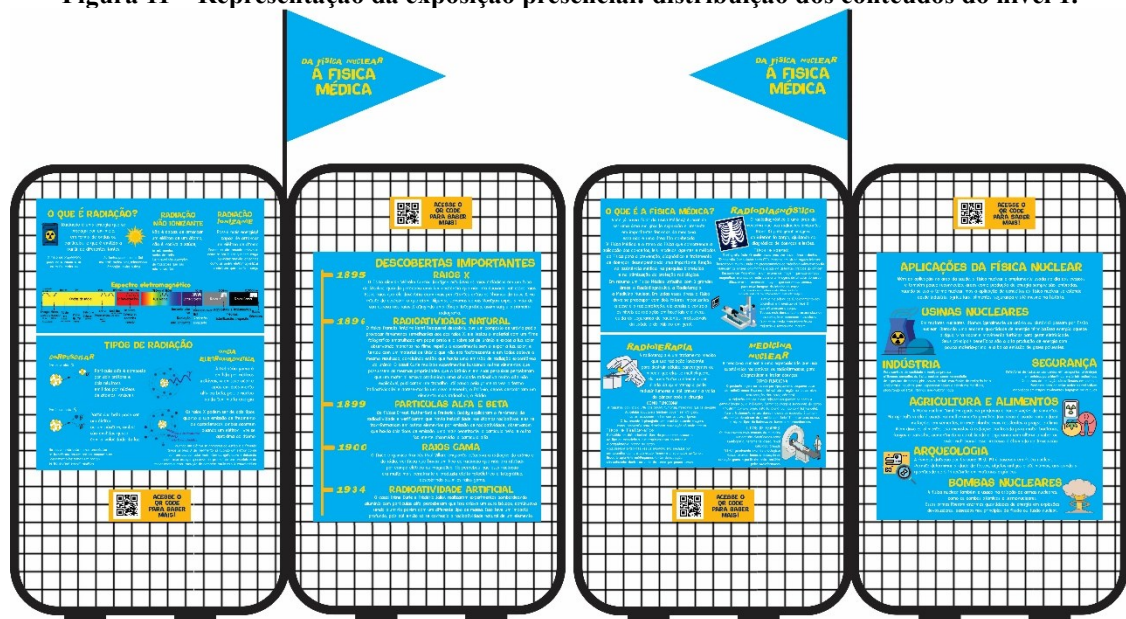
Fonte: Própria autora.

5 RESULTADOS ESPERADOS

Espera-se que a exposição resultante desta pesquisa facilite a compreensão pública da física médica e de seus conceitos, por meio de uma construção interativa, divertida e acessível. A partir da teoria envolvida nos princípios físicos aplicados à medicina moderna, busca-se explicar como esses princípios são utilizados em equipamentos de imagem médica, em tratamentos radioterápicos, entre outros procedimentos. O objetivo é evidenciar de que forma cada um desses processos pode impactar positivamente a vida das pessoas, apresentando ao público leigo o campo da física médica.

O resultado esperado para a seção da exposição *Da Física Nuclear à Física Médica* será representado conforme ilustrado na Figura 11, que mostra a disposição dos conteúdos abordados durante o desenvolvimento da parte presencial da exposição. Esses conteúdos correspondem aos artefatos museais que deverão ser organizados de forma a comunicar, ao público em geral, os conceitos discutidos neste trabalho — desde o que é radiação até as aplicações da física nuclear no cotidiano das pessoas.

Figura 11 – Representação da exposição presencial: distribuição dos conteúdos do nível 1.



Fonte: Própria autora.

Além da parte presencial, a parte interativa e a parte virtual também devem tomar forma conforme o restante da exposição seja concluída ao longo desse ano, já que estas partes dependem de recursos, como os materiais e disposição de profissionais para sua execução final, não sendo possível até o presente momento esboçá-las de forma mais clara.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo principal realizar a divulgação científica da área da física médica, buscando compreender e refletir sobre o conhecimento das pessoas acerca das radiações ionizantes e a importância da divulgação científica na sociedade. Ao longo da pesquisa, foi possível identificar a carência de disseminação dos conteúdos da física médica, seja pela falta de espaços de ciências que façam divulgação da área ou seja pelo déficit de conhecimento de profissionais na área da saúde quanto às radiações, o que contribuiu significativamente para a construção da exposição que abordasse a área da Física Médica.

A partir da análise dos dados e da revisão bibliográfica, constatou-se como a exposição deveria ser construída, com base em conceitos fundamentais, como a importância do cuidado na divulgação científica, a necessidade de incorporar o olhar do visitante, a criação de exposições que aproximem museus e sociedade, e a aplicação de tendências pedagógicas no desenvolvimento da mostra. Esses conceitos reforçam a relevância de construir uma exposição que promova a difusão dos conhecimentos da física médica, aproximando essa área do público. Além disso, evidenciam a urgência de ampliar a divulgação da física médica, levando suas contribuições de forma mais efetiva à sociedade.

Apesar das contribuições alcançadas, este estudo apresenta algumas limitações. A principal delas diz respeito à finalização da exposição, uma vez que a divulgação científica proposta só poderá ser efetivamente realizada quando o público tiver acesso ao material expositivo. Esse contratempo deve ser resolvido com urgência, à medida que, pelo menos, o nível 1 da exposição seja exposto ao público no Museu DICA. Além disso, é evidente que um único trabalho realizado em um museu de ciências não é suficiente para suprir toda a carência de divulgação da física médica. Esse cenário evidencia a necessidade de pesquisas futuras que aprofundem essa temática e complementem aspectos que, por limitações de escopo ou tempo, não serão explorados com maior profundidade nesta exposição.

Por fim, espera-se que este trabalho possa servir como base para novas discussões e iniciativas, incentivando a divulgação científica de áreas em geral da ciência que carecem ser popularizadas e acessadas por todas as pessoas, principalmente áreas tão próximas do cotidiano das pessoas como a Física Médica e tão mal interpretadas quanto a Mecânica Quântica

REFERÊNCIAS

ABFM. **O que é a Física Médica?** 2025. Disponível em: <<https://www.abfm.org.br/paginas/conheca-a-fisica-medica.php>>. Acesso em 11 nov. 2024.

BARROS, M. **Construindo artefatos digitais para o Museu DICA: contribuições para a formação de professores de Física.** 2017. Monografia (Licenciatura em Física) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/26403>>. Acesso em 19 set. 2024.

BARROS, M. **Os desafios na divulgação e na popularização da mecânica quântica: o olhar dos pesquisadores.** 2023. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023. Disponível em: <<http://doi.org/10.14393/ufu.di.2023.635>>. Acesso em 15 out. 2024.

BARROS, M.; MARTINS, S. **Dicas do Dica: Divulgação Científica para Cientistas e Educadores.** v.1, eduCAPES, 2023, E-book. Disponível em: <<http://educapes.capes.gov.br/handle/capes/743093>>. Acesso em: 10 out. 2024.

BRASIL. Associação Brasileira de Centros e Museus de Ciência (ABCMC). **Centros e museus de ciência do Brasil 2015.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Centros e Museus de Ciência: UFRJ.FCC. Casa da Ciência: Fiocruz. Museu da Vida, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.canalciencia.ibict.br/files/original/31d82e37f259e520d5de4a1f005a646aeb7360ba.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2025.

BRASIL. Comissão Nacional de Energia Nuclear. **CNEN-NN-3.05: Requisitos de Radioproteção e Segurança para Serviços de Medicina Nuclear.** Rio de Janeiro: CNEN, 2013. Disponível em: <<https://www.gov.br/cnen/pt-br/centrais-de-conteudo/normas/seguranca-nuclear/nn-3-05.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2025.

BRASIL. Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Brasil) . Ministério da Saúde/Agência Nacional de Vigilância Sanitária/Diretoria Colegiada. **Resolução - RDC nº 611, de 09 de março de 2022.** Brasil: Diário Oficial da União, ano 2022, p. 107-110, 16 mar. 2022. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-611-de-9-de-marco-de-2022-386107075>>. Acesso em: 22 mar. 2025.

CAZELLI, S.; MARANDINO, M.; STUDART, D. Educação e Comunicação em Museus de Ciências: aspectos históricos, pesquisa e prática. In: **Educação e Museu: a construção social do caráter educativo dos museus de ciências.** Rio de Janeiro: FAPERJ, Editora Access, 2003.

CAZELLI, S. *et al.* Tendências Pedagógicas das Exposições em um Museu de Ciência. II ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 2008. Disponível em: <<https://fep.if.usp.br/~profis/arquivo/encontros/enpec/iienpec/Dados/trabalhos/G48.pdf>>. Acesso em: 2 dez. 2024.

CHELINI, M.-JE; LOPES, SGB de C. **Exposições em museus de ciências: reflexões e critérios para análise.** Anais do Museu Paulista, São Paulo, v. 2, pág. 205–238, jul. 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0101-47142008000200007>>. Acesso em: 17 fev. 2025.

COELHO, T.B. *et al.* **Museus de História Natural como ferramentas de divulgação científica.** V Seminário de Extensão e Pesquisa, v. 5, 2019. Disponível em: <<http://seer.unica-demia.edu.br/index.php/ANL/article/viewFile/2318/1544>>. Acesso em: 2 fev. 2025.

COSTA, P. O impacto da física na medicina moderna. **Jornal da USP**, São Paulo, 22 nov. 2018. Disponível em: <<https://jornal.usp.br/artigos/o-impacto-da-fisica-na-medicina-mor-derna/>>. Acesso em: 31 nov. 2024.

DELABIO, F. *et al.* Divulgação científica e percepção pública de brasileiros(as) sobre ciência e tecnologia. **Revista Insignare Scientia - RIS**, v. 4, n. 3, p. 273-290, 3 mar. 2021. DOI: 10.36661/2595-4520.2021v4i3.12132. Disponível em: <<https://doi.org/10.36661/2595-4520.2021v4i3.12132>>. Acesso em: 3 out. 2024.

DIAS, J. H., *et al.* Educação em proteção radiológica na perspectiva dos profissionais de saúde: uma revisão integrativa. **Revista Brasileira em Promoção da Saúde**, Vitória, v. 23, n. 1, p. 114–123, jan./mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.47456/rbps.v23i1.33000>.

DUCK, F. A. The origins of medical physics. **Physica Medica: European Journal of Medical Physics**, [S. L.], v. 30, n. 4, p. 397-402, jun. 2014. DOI: 10.1016/j.ejmp.2014.03.005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2014.03.005>>. Acesso em: 28 ago. 2024.

DUTRA, J. **O que é Física Médica?** Blog Janaína Dutra, 7 abr. 2021. Disponível em: <<https://janainadutra.com/o-que-e-fisica-medica/>>. Acesso em: 7 jan. 2025.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei and Particles.** 1. ed. John Wiley & Sons, 1974.

FERREIRA, K.M.; NEVES, L.P.; PERINI, A. P. **Minicurso de conscientização sobre radiações ionizantes.** IV Simpósio de Física aplicada a Medicina, 2024b. Disponível em: <https://8631e4cf-2f13-4629-9247-d0b6154ffc30.filesusr.com/ugd/46e020_05ba-ede555ee4353831e0b52f569d130.pdf>

FERREIRA, K.M.; NEVES, L.P.; PERINI, A. P. **Necessidade da conscientização de profissionais da saúde sobre radiações ionizantes – Revisão bibliográfica.** XXVIII Congresso Brasileiro de Física Médica, 2024. Anais do 28º Congresso Brasileiro de Física Médica: Anais do CBFM 2024a. **Revista Brasileira De Física Médica**, 18. Disponível em: <<https://doi.org/10.29384/rbfm.2024.v18.19849001825>>

GRIFFITHS, D. J. **Mecânica Quântica.** 2. ed. Pearson Education, 2011.

ICOM, International Council of Museums. (2022). Nova Definição de Museu. Praga: **ICOM**, [2022]. Disponível em: <<https://www.icom.org.br/nova-definicao-de-museu-2/>>. Acesso em: 4 abr. de 2025.

JACOBUECCI, D. *et al.* A dica chegou! Centro de ciências da universidade Federal de Uberlândia: proposta, percepções dos docentes e perspectivas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [S. L.], v. 25, n. 2, p. 354-367, 8 maio 2008. DOI: 10.5007/2175-7941.2008v25n2p354. Disponível em: <<https://doi.org/10.5007/2175-7941.2008v25n2p354>>. Acesso em: 18 nov. 2024.

KNOBEL, M.; MURRIELLO, S. Exposições e museus de ciência no Brasil. **ComCiência**, Campinas, n. 100, 2008. Disponível em: <http://comciencia.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-76542008000300009&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 2 dez. 2024.

LOUREIRO, ML de NM. Divulgação científica em museus: as coleções e seu papel na linguagem expográfica. In: **Seminário de Investigação de Museologia dos Países de Língua Portuguesa e Espanhola**, 2009. Porto: Universidade do Porto, 2009. v. 2, pág. 207–215. Disponível em: <<https://ler.letras.up.pt/uploads/ficheiros/8197.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2025.

MCMANUS, P. Educação em Museus: Pesquisa e Prática. In: MARANDINO, M.; MONACO, L. (Org.). **Educação em Museus: Pesquisa e Prática**. São Paulo: Faculdade de Educação, USP, 2013. p. 20-30.

MARANDINO, M. *et al.* **A educação não formal e a divulgação científica: o que pensa quem faz**. 2003, Anais. Bauru, SP: ENPEC/ABRAPEC, 2003. Disponível em: <https://abrapec.com/atas_enpec/ivenpec/Arquivos/Orais/ORAL009.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2025.

MARANDINO, M. Transposição ou recontextualização? Sobre a produção de saberes na educação em museus de ciências. **Revista Brasileira de Educação**, Rio de Janeiro, n. 26, p. 95-108, ago. 2004. Disponível em: <http://educa.fcc.org.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-24782004000200008&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 20 jan. 2025.

MARANDINO, M. Educação, comunicação e museus. In: **Educação em Museus: mediação em foco**. São Paulo, SP: Geenf / FEUSP, 2008. Cap. 1, p. 7-17. Disponível em: <<http://www.geenf.fe.usp.br/v2/wp-content/uploads/2012/10/MediacaoemFoco.pdf>>. Acesso em: 2 dez. 2024.

MARTINS, R. A. Investigando o invisível: as pesquisas sobre raios X logo após a sua descoberta por Röntgen. **Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, Campinas, n. 17, p. 81-102, 1997.

MOREIRA, I.; MASSARANI, I.C. Aspectos históricos da divulgação científica no Brasil. In: MASSARANI, L.; MOREIRA, I. C.; BRITO, F. (Orgs.) **Ciência e Público: caminhos da divulgação científica no Brasil**. Rio de Janeiro: Casa da Ciência, UFRJ, 2002. Disponível em: <https://www.academia.edu/2140291/Aspectos_hist%C3%B3ricos_da_divulga%C3%A7%C3%A3o_cient%C3%ADfica_no_Brasil>. Acesso em: 20 dez. 2024

NAVARRO, M. V. T. *et al.* Controle de riscos à saúde em radiodiagnóstico: uma perspectiva histórica. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v. 15, n. 4, p. 1039–1047, out. 2008. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/hcsm/a/fhvKsgyHWVWR7pwXsR9CFKM/?lang=pt&format=pdf>>. Acesso em 30 out. 2024.

NASCIMENTO, S. S. do; VENTURA, P. C. S. (2001). Mutações na construção dos museus de ciências. **Pro-Posições**, v.12, n.1 (34) – março, p.126-138. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/proposic/article/view/8644016>>. Acesso em: 20 dez. 2024

OKUNO, E. História das Radiações. In: **Radiação: efeitos, riscos e benefícios**. São Paulo: Oficina de Textos, 2018. cap. 1, p. 5-25.

OKUNO, E.; YOSHIMURA, E. M. **Física das radiações**. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2010.

Portal INFIS. **Curso de Graduação Física Médica**, 2021 Instituto de Física da Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em: <<https://infis.ufu.br/graduacao/fisica-medica/conheca>>. Acesso em: 14 fev. 2025.

PRUDÊNCIO, C. A. V. **Divulgação científica em Museus de Ciências: diálogos possíveis entre as concepções dos responsáveis e a montagem das exposições**. Dissertação (Mestrado em Ciências Humanas) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/2486>>. Acesso em: 20 mar. 2025

RODRIGUES, J. L.; FERREIRA, W. S.; FERREIRA, S. R. B. Física Médica: da Física a Medicina. **Caderno de Física da UEFS**, [S. l.], v. 20, n. 01, p. 1603.1–19, 2023. DOI: 10.13102/cadfsuefs.v20i01.9269. Disponível em: <<https://periodicos.uefs.br/index.php/cad-fis/article/view/9269>>. Acesso em: 2 set. 2024.

SILVA, H. C. O que é divulgação científica? **Ciência & Ensino**, v. 1, n. 1, 2006di. Disponível em: <<https://www.slideshare.net/slideshow/o-que-divulgao-cientfica-henrique-csarda-silva/87002561>>. Acesso em 25 jan. 2025.

TERINI, R. A. A História da Física Médica na formação do Físico Médico. **Revista Brasileira de Física Médica**, [S. l.], v. 12, n. 3, p. 2–6, 2018. DOI: 10.29384/rbfm.2018.v12.n3.p2-6. Disponível em: <<https://www.rbfm.org.br/rbfm/article/view/473>>. Acesso em: 1 set. 2024.

VALERIO, P. M.; PINHEIRO, L. V. R. Da comunicação científica à divulgação. **TransInformação**, Campinas, 20(2), p. 159-169, 2008. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/tinf/a/jXWgggxBhXfsT57JDVbghp/>>. Acesso em: 14 jan. 2025

XAVIER, A. M. *et al.* Marcos da história da radioatividade e tendências atuais. **Química Nova**, v. 30, n. 1, p. 83–91, 2007. DOI: 10.1590/S0100-40422007000100019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000100019>>. Acesso em: 20 dez. 2024.

ZETTILI, N. **Quantum Mechanics Concepts And Applications**. 2. ed. Wiley, 2009. p. 1-4.

APÊNDICE A

Conteúdos abordados no primeiro tópico do nível 1: o que é radiação e quais são os tipos de radiações

O que é radiação? Radiação é uma energia que se propaga por um meio, em forma de ondas ou partículas, e que é emitida a partir de diferentes fontes. O meio de propagação pode ser o vácuo, o ar, ou meios materiais. As fontes podem ser o Sol, materiais radioativos, micro-ondas, lâmpadas, entre outros (Okuno, 2010).

Radiação não ionizante: Não é capaz de arrancar um elétron de um átomo. As micro-ondas, ondas de rádio, luz visível são exemplos de radiações que são não ionizantes (Okuno, 2010).

Radiação ionizante: Possui mais energia, é capaz de arrancar um elétron de átomo. Podem ser diretamente ionizantes como as partículas que tem carga ou indiretamente ionizantes como as ondas eletromagnéticas e nêutrons que não tem carga (Okuno, 2010).

Espectro Eletromagnético

(A figura do espectro eletromagnético usada foi desenvolvida pela autora com base em nas informações do espectro presentes nas referências citadas abaixo).

Tipos de Radiação

Corpuscular

Partícula alfa é composta por dois prótons e dois nêutrons emitidos por núcleos de átomos instáveis (Okuno, 2018).

Partículas beta pode ser um elétron ou um pósitron, ambas são emitidas quase com a velocidade da luz. No decaimento beta menos um nêutron se transforma em um próton, enquanto no decaimento beta mais um próton se transforma em um nêutron (Okuno, 2018).

Onda eletromagnética

A radiação gama é emitida por núcleos instáveis, a emissão ocorre após um decaimento alfa ou beta, pois o núcleo ainda tem muita energia (Okuno, 2018).

Os raios X podem ser de dois tipos quanto a sua emissão: de freamento ou característicos ambos ocorrem quando um elétron livre se aproxima do átomo. quando um elétron se aproxima do núcleo e é freado temos os raios X de freamento, já quando um elétron colide com uma das camadas mais internas, ejetando-o e deixando assim esse ‘espaço’ que deve ser preenchido por um elétron de maior energia, essa transição de camadas emite raio X característico (Okuno, 2018).

Referências:

OKUNO, E. História das Radiações. In: Radiação: efeitos, riscos e benefícios. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.

OKUNO, E.; YOSHIMURA, E. M. Física das radiações. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2010.

GRIFFITHS, D. J. Eletrodinâmica. 3. ed. São Paulo: Pearson, 2012.

KHAN ACADEMY. O espectro eletromagnético. Disponível em: <<https://pt.khanacademy.org/science/9-ano/materia-e-energia-as-ondas/ondas-eletromagneticas/a/o-espectro-eletromagnetico>>. Acesso em: 1 abr. 2025.

Conteúdos abordados no segundo tópico do nível 1: contexto histórico da descoberta dos raios X e da radioatividade

DESCOBERTAS IMPORTANTES

Raios X

O físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen estudava os raios catódicos em um tubo de Crookes, quando percebeu uma luminescência que não era causada por esses raios. Esses raios que ele descobriu eram mais penetrantes então os chamou de raios X, no intuito de descobrir o que eram. Algumas semanas depois Röntgen expôs a mão de sua esposa aos raios X atingindo uma chapa fotográfica, assim surgiu a primeira radiografia (Okuno, 2018; Martins, 2019)

Radioatividade Natural

O físico francês Antoine Henri Becquerel descobriu que um composto de urânio podia provocar fenômenos semelhantes aos dos raios X, ele testou o material com um filme fotográfico embrulhado em papel preto e o sobre sal de Urânio e expôs a luz solar observando manchas no filme, repetiu o experimento sem o expor a luz solar, e tentou com um material de Urânio que não era fosforescente e em todos obteve o mesmo resultado, concluindo então que havia uma emissão de radiação espontânea do Urânio. O casal Curie realizou experimentos buscando outros elementos que possuísem as mesmas propriedades que o Urânio e em suas pesquisas perceberam que um material estava produzindo uma atividade radioativa muito alta não explicável, publicaram um trabalho, utilizando pela primeira vez o termo ‘radioatividade’ e apresentando um novo elemento, o Polônio, depois descobriram um elemento mais radioativo, o Rádio (Okuno 2018; Silva *et al.*, 2006)

Partículas Alfa e Beta

Os físicos Ernest Rutherford e Frederick Soddy explicaram o fenômeno da radioatividade e verificaram que havia instabilidade nos átomos radioativos, eles se transformavam em outros elementos por emissão de radioatividade, observaram que havia dois tipos de emissão, uma mais penetrante, a partícula beta, e outra facilmente absorvida, a partícula alfa (Santos, 2008).

Raios Gama

O físico e químico francês Paul Villard enquanto estudava a radiação do urânio e do rádio, verificou que havia um tipo de radiação que não era afetada por campo elétrico ou magnético. Ele percebeu que essa radiação era muito mais penetrante e produzia efeito fotoelétrico e fotográfico, descobrindo assim os raios gama (Marinho, 2014)

Radioatividade Artificial

O casal Irène Curie e Frédéric Joliot realizaram experimentos bombardeando alumínio com partículas alfa, perceberam que isso criava um outro isótopo, continuava sendo alumínio, porém com um diferente tipo de massa. Isso teve um impacto profundo, pois até então só se conhecia a radioatividade natural de um elemento (Xavier *et al.*, 2007)

Referências

OKUNO, E. História das Radiações. In: Radiação: efeitos, riscos e benefícios. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.

MARTINS, R. A. Raios-X: fascinação, medo e ciência. Química Nova, v. 32, n. 1, p. 239–245, 2009. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/xtjYm7RZvYjTyGf5zJJjgCQ/>>. Acesso em: 16 abr. 2025.

SILVA, R. L. *et al.* História dos estudos sobre radioatividade, de Becquerel a Marie Curie. Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 23, n. 3, p. 525–540, 2006. Disponível em: <<https://www.academia.edu/26995363/>>. Acesso em: 1 abr. 2025.

SANTOS, C. A. dos. Do espalhamento de partículas alfa à energia nuclear: caminhos científicos. In: 60ª Reunião Anual da SBPC. SBPC, 2008. Disponível em: <<https://www.sbpc-net.org.br/livro/60ra/textos/CO-CarlosAlbertoSantos.pdf>>. Acesso em: 1 abr. 2025.

MARINHO, F. C. Radiação gama. Revista de Ciência Elementar, v. 2, n. 2, 2014. Disponível em: <<https://rce.casadasciencias.org/rceapp/art/2014/084/>>. Acesso em: 1 abr. 2025.

XAVIER, A. M. *et al.* Marcos da história da radioatividade e tendências atuais. Química Nova, v. 30, n. 1, p. 83–91, 2007. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/c4djyQQXB-CLfrZNfFNWB7nC/>>. Acesso em: 1 abr. 2025.

Conteúdos abordados no terceiro tópico do nível 1: o que é a Física Médica e a descrição de suas áreas

O que é a Física Médica?

Você já ouviu falar da Física Médica? Apesar de ser uma área em grande expansão e presente em importantes técnicas da medicina, essa não é uma área tão conhecida. ‘A Física Médica é o ramo da Física que compreende a aplicação dos conceitos, leis, modelos, agentes e métodos da Física para a prevenção, diagnóstico e tratamento de doenças, desempenhando uma importante função na assistência médica, na pesquisa biomédica e na otimização da proteção radiológica.’ Em resumo um Físico Médico trabalha com 3 grandes áreas: o Radiodiagnóstico, a Radioterapia, a Medicina Nuclear. Em todas essas áreas o físico deve se preocupar com dois fatores importantes a dose e a radioproteção, ele avalia e controla os níveis de radiação em hospitais e clínicas, cuida da segurança de pacientes, profissionais da saúde e do público em geral (ABFM, 2025a; ABMF, 2025b).

Radiodiagnóstico

O radiodiagnóstico é uma área da medicina que usa radiações ionizantes (raios X) para gerar imagens do interior do corpo, ajudando no diagnóstico de doenças e lesões. TIPOS DE EXAMES: Radiografia (raio X): muito usada para ver ossos, tórax e dentes. Tomografia Computadorizada (TC): imagens em 3D de órgãos internos. Fluoroscopia: muito usada em procedimentos de radiologia intervencionista. Mamografia: exame das mamas, usado na detecção precoce do câncer. Ressonância Magnética: é um exame de imagem que usa campos magnéticos e ondas de rádio para criar imagens detalhadas do corpo. Ultrassom um exame de imagem que usa ondas sonoras para criar imagens do interior do corpo. A ressonância e o ultrassom não utilizam radiação ionizante, mas utilizam métodos físicos para obter imagens. COMO FUNCIONA: O princípio básico de funcionamento dos aparelhos é a emissão de raios X que atravessam o corpo. Tecidos mais densos (como ossos) absorvem mais radiação e aparecem mais claros. A partir da interação com a radiação, o detector fornece uma imagem (Navarro, 2009, BLOG MEDGUIAS, 2023).

Radioterapia

A radioterapia é um tratamento médico que usa radiação ionizante para destruir células cancerígenas ou impedir que elas se multipliquem. Ela pode tratar o câncer e ser aliada da

quimioterapia, pode reduzir tumores e até prevenir a volta do câncer após a cirurgia. COMO FUNCIONA: A radiação danifica o DNA das células tumorais, impedindo que se dividam. As células saudáveis também podem ser atingidas, mas se recuperam melhor que as cancerígenas. O tratamento é planejado com precisão, usando imagens como tomografia para direcionar a radiação só onde precisa. TIPOS DE TRATAMENTO: É dividida em dois principais tipos de procedimento quanto ao tipo de exposição, a teleterapia externa ao corpo e a braquiterapia interna ao corpo. Radioterapia externa: Feixes de radiação são emitidos por um aparelho (como o acelerador linear) e direcionados ao tumor. Braquiterapia (interna): Pequenas fontes de radiação são colocadas dentro ou perto do tumor, por pouco tempo (INCA, 2025a; INCA, 2025b).

Medicina Nuclear

A medicina nuclear é uma especialidade que usa substâncias radioativas, os radiofármacos, para diagnosticar e tratar doenças. COMO FUNCIONA: O paciente ingere ou recebe por injeção uma pequena dose de radiofármaco. Esse material vai até o órgão ou tecido alvo (ex: coração, rins, ossos, cérebro). A radiação emitida é captada por equipamentos como a gama-câmara ou o PET-CT, formando imagens funcionais do corpo (mostram, além da anatomia, o metabolismo do paciente). Para o tratamento se usa doses maiores de radiação. É comum tratamentos de doenças da tireoide, com iodo-131, metástases ósseas e alguns tipos de linfomas ou tumores neuroendócrinos. TIPOS DE EXAME: os exames mais comuns da medicina nuclear são classificados como Cintilografia, geralmente óssea, renal, cardíaca, tireoide. PET-CT geralmente exames oncológicos. Nesses exames temos a emissão de radiação gama e a partículas beta devido a administração de radiofármacos (Castro *et al.*, 2020; SBMN, 2025).

Referências:

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FÍSICA MÉDICA (ABFM). O que é a Física Médica?. Disponível em: <<https://www.abfm.org.br/paginas/conheca-a-fisica-medica.php>>. Acesso em: 6 abr. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FÍSICA MÉDICA (ABFM). Atribuições do Especialista em Física Médica. Disponível em: <<https://abfm.org.br/paginas/atribuicoes-do-especialista.html>>. Acesso em: 6 abr. 2025.

NAVARRO, M. V. T. O radiodiagnóstico na saúde pública. In: _____. Risco, radiodiagnóstico e vigilância sanitária. Salvador: EDUFBA, 2009. p. 25-30. ISBN 978-85-232-0924-7.

BLOG MEDGUIAS. Dez Tópicos Essenciais Sobre Radiodiagnóstico. 2023. Disponível em: <<https://blog.medguias.com.br/2023/07/06/dez-topicos-essenciais-sobre-radiodiagnostico/>>. Acesso em: 6 abr. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER (INCA). Radioterapia: orientações aos pacientes. Disponível em: <<https://www.inca.gov.br/publicacoes/cartilhas/radioterapia>>. Acesso em: 6 abr. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER (INCA). Manual para Técnicos em Radioterapia. Disponível em: <<https://www.inca.gov.br/publicacoes/manuais/manual-para-tecnicos-em-radioterapia>>. Acesso em: 6 abr. 2025.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE MEDICINA NUCLEAR (SBMN). Conheça a Medicina Nuclear. Disponível em: <<https://sbmn.org.br/comunicacao/conheca-a-medicina-nuclear/>>. Acesso em: 6 abr. 2025.

CASTRO, A. A. de *et al.* A Medicina Nuclear no Sistema Único de Saúde. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 25, n. 5, p. 1803-1812, 2020. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/csc/a/dLhzRSvWCCDrqrKRxrwBncB/?lang=pt>>. Acesso em: 6 abr. 2025.

Conteúdos abordados no quarto tópico do nível 1: aplicações da física nuclear

Aplicações da Física Nuclear

Além da aplicação na área da saúde, a física nuclear é amplamente usada no dia das pessoas e também pouco reconhecida, áreas como produção de energia sempre são lembradas, quando se usa o termo nuclear, mas a aplicação de conceitos da física nuclear se estende desde indústria, agricultura, alimentos, segurança e até mesmo na história (CNEN, 2023; CNEN 2025).

Usinas Nucleares

Em reatores nucleares, átomos (geralmente de urânio ou plutônio) passam por fissão nuclear, liberando uma enorme quantidade de energia. Essa energia aquece a água que vira vapor e movimenta turbinas para gerar eletricidade. Seus principais benefícios são a alta produção de energia com pouca matéria-prima, e a baixa emissão de gases poluentes (CNEN, 2023; IAEA, 2024).

Indústria

Para controle de qualidade e medição precisa., utilizamos conceitos da física nuclear, como na medição de espessura de papéis, plásticos ou metais com fontes de radiação beta. Radiografia industrial para inspecionar soldas e estruturas metálicas, procurando defeitos internos sem quebrar nada (CNEN, 2023; CNEN 2025; PET Física UNICENTRO, 2022; AMAZUL, 2025).

Segurança

Detectores de radiação são usados em aeroportos, portos e fronteiras para identificar materiais suspeitos. Detectores de cintilação são utilizados em portos e fronteiras para detectar materiais radioativos escondidos em cargas, contêineres, bagagens ou veículos (CNEN, 2023; Silva, 2022; EPA, 2025).

Agricultura e Alimentos

A Física nuclear também ajuda na produção e conservação de alimentos. Na agricultura ela é usada no melhoramento genético. Radiação é usada para induzir mutações em sementes, criando plantas mais resistentes a pragas e clima. Além disso os alimentos são expostos à radiação controlada para matar bactérias, fungos e parasitas, aumentando a durabilidade e segurança sem alterar o sabor ou valor nutricional. Esse processo é chamado de Irradiação (CNEN, 2023; CNEN 2025; SBPC, 2017).

Arqueologia

A famosa datação por Carbono-14 (C-14) é baseada em física nuclear. Permite determinar a idade de fósseis, objetos antigos e até múmias, analisando a quantidade de C-14 restante em materiais orgânicos (CNEN, 2023; CNEN 2025; GRUPO UNIBRA, 2021).

Bombas Nucleares

A física nuclear também é usada na criação de armas nucleares, como as bombas atômicas e termonucleares. Essas armas liberam enormes quantidades de energia em explosões devastadoras, baseadas nos princípios da fissão ou fusão nuclear (Carvalho 2025).

Referências:

CNEN. Aplicações da Energia Nuclear. Disponível em: <<https://www.gov.br/cnen/pt-br/material-divulgacao-videos-imagens-publicacoes/publicacoes-1/aplicacoesdaenergianuclear.pdf>>. Acesso em: 6 abr. 2025.

CNEN. Energia Nuclear e suas Aplicações: aprendendo com o nuclídeo. 4 ed. Rio de Janeiro. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/cnen/pt-br/material-divulgacao-videos-imagens-publicacoes/publicacoes-1/apostilaeducativaaplicacoesinfantojuvenil.pdf>>. Acesso em: 6 abr. 2025.

PET Física UNICENTRO. Física Nuclear e suas aplicações no dia a dia. 2022. Disponível em: <<https://www3.unicentro.br/petfisica/2022/04/22/fisica-nuclear-e-suas-aplicacoes-no-dia-a-dia/>>. Acesso em: 6 abr. 2025.

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA ATÔMICA (IAEA). 2024. O que é a energia nuclear? Disponível em: <<https://www.iaea.org/es/newscenter/news/que-es-la-energia-nuclear-la-ciencia-de-la-energia-nucleoelectrica>>. Acesso em: 6 abr. 2025.

AMAZUL. Aplicações da Energia Nuclear na Indústria. Disponível em: <<https://www.amazul.mar.mil.br/portal-saber-nuclear/aplicacoes-da-energia-nuclear-na-industria>>. Acesso em: 6 abr. 2025.

SILVA, W. Segurança e riscos da radiação nos aeroportos brasileiros. 2022. Disponível em: <https://cdn.prod.website-files.com/647e410aa35e6ce70fed96cd/647e410aa35e6ce70feda5a0_96_TCC%20Weber-son%20Silva%20corre%C3%A7%C3%A3o%2010-12.pdf>. Acesso em: 6 abr. 2025.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Radiation and airport security scanning. Disponível em: <<https://www.epa.gov/radtown/radiation-and-airport-security-scanning>>. Acesso em: 6 abr. 2025.

SBPC. Aplicações das Técnicas Nucleares na Agricultura e Ambiente. 2017. Disponível em: <https://www.sbpcnet.org.br/livro/69ra/PDFs/arq_5331_2791.pdf>. Acesso em: 6 abr. 2025.

GRUPO UNIBRA. Paleoradiologia: a utilização da radiação no estudo arqueológico de múmias e a datação de artefatos históricos. 2021. Disponível em: <<https://www.grupounibra.com/repositorio/RADI/2021/paleoradiologia-a-utilizacao-da-radiacao-no-estudo-arqueologico-de-mumias-e-a-datacao-de-artefatos-historicos24.pdf>>. Acesso em: 6 abr. 2025.

CARVALHO, J. F. de. A gênese da bomba. Estudos Avançados, v. 29, n. 84, p. 197–208, 2015. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ea/a/vwPMRDqfn6TQrdmhfVGLbXv/>>. Acesso em: 6 abr. 2025.

Atividade interativa da exposição presencial: jogo sobre as radiações

Raios-X: Podem ser emitidos de duas formas, suas interações são responsáveis pela formação de imagens médicas no Radiodiagnóstico (Okuno, 2010)

Radiação Gama: Emitida devido a um excesso de energia no núcleo, grande poder de penetração, presente em cintilografia com Tecnécio-99m (CNEN, 2023)

Partícula Alfa: Composta por dois prótons e dois nêutrons, menos penetrante, emitida por núcleos de Urânio-238 e Rádio-226 (CNEN, 2023)

Partícula Beta: Pode ser um pósitron ou um elétron, também tem origem no núcleo e é comumente usada em exames de PET-CT (Okuno, 2018)

Referências:

OKUNO, E. História das Radiações. In: Radiação: efeitos, riscos e benefícios. São Paulo: Oficina de Textos, 2018. cap. 1, p. 5-25.

OKUNO, E.; YOSHIMURA, E. M. Física das radiações. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2010.

CNEN. Energia Nuclear e suas Aplicações: aprendendo com o nuclídeo. 4 ed. Rio de Janeiro. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/cnen/pt-br/material-divulgacao-videos-imagens-publicacoes/publicacoes-1/apostilaeducativaaplicacoesinfantojuvenil.pdf>>. Acesso em: 6 abr. 2025.