

# Implementação de um laboratório virtual de física médica

## Implementation of a virtual medical physics laboratory

Raquel Solares Soares<sup>1</sup>, Samara Prass dos Santos<sup>1</sup>, Cibele Cruz Marques<sup>1</sup>,  
Gustavo de Carvalho<sup>1</sup>, Felipe Fernando Muller dos Santos<sup>1</sup>, Maíra Tiemi Yoshizumi<sup>1</sup>,  
Thatiane Alves Pianoschi Alva<sup>1</sup>, Henrique Trombini<sup>\*1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre, Grupo de Física Médica Experimental e Computacional, Porto Alegre, RS, Brasil.

Recebido em 02 de março de 2024. Revisado em 15 de maio de 2024. Aceito em 15 de maio de 2024.

O uso de simulações computacionais que representam experimentos reais de física médica é uma alternativa para diminuir custos e proporcionar uma maior variedade de experimentos que utilizam radiações ionizantes. O laboratório virtual permite explorar uma série de conceitos de maneira semelhante aos abordados experimentalmente, possibilitando utilizar uma infinidade de fontes, materiais e detectores sem agregar custos. Além disso, as simulações computacionais permitem explorar aspectos inatingíveis com os experimentos reais. Este artigo descreve a implementação de um Laboratório Virtual de Física Médica que, através de interfaces gráficas intuitivas, roteiros guiados e contextualização histórica explora experimentos de física médica amplamente utilizados nas áreas da medicina nuclear, radiodiagnóstico e radioterapia. Como exemplo, apresentamos o experimento de atenuação da radiação (raios X e gama) com a matéria. Os experimentos foram implementados através da linguagem de programação Python. A interface gráfica foi desenvolvida através do framework Streamlit. O uso do Laboratório Virtual de Física Médica tem se mostrado uma ferramenta alternativa para alinhar o ensino prático ao teórico.

**Palavras-chave:** Laboratório virtual, atenuação da radiação, simulação computacional, ensino de física.

The use of computer simulations that represent real experiments in medical physics is an alternative to reduce costs and provide a greater variety of experiments involving ionizing radiation. The virtual laboratory allows the exploration of a range of concepts in a similar manner to experimental approaches, enabling the utilization of a multitude of sources, materials, and detectors without incurring additional costs. Furthermore, computer simulations allow the exploration of aspects that are unattainable with real experiments. This article describes the implementation of a Virtual Medical Physics Laboratory that, through intuitive graphical interfaces, guided scripts, and historical context, explores widely used experiments in the areas of nuclear medicine, radiodiagnosics, and radiotherapy. As an example, we present the experiment on radiation attenuation (X-rays and gamma rays) with matter. The experiments were implemented using the Python programming language. The graphical interface was developed using the Streamlit framework. The use of the Virtual Medical Physics Laboratory has proven to be an alternative tool for bridging the gap between practical and theoretical teaching.

**Keywords:** Virtual laboratory, radiation attenuation, computational simulation, physics teaching.

## 1. Introdução

O ensino de física das radiações para cursos de graduação tem se mostrado desafiador na atualidade. No contexto da educação brasileira, este tema aborda conceitos que geralmente não são vistos no ensino médio, ou ainda vistos de forma superficial, proporcionando um entendimento raso acerca dessa temática no ensino superior, em comparação a outras áreas da física. O ensino de física moderna e contemporânea então, fica a cargo dos professores universitários, que geralmente, acabam por ter como metodologias de ensino apenas aulas teóricas e resolução de listas de exercícios, resultando em um aprendizado passivo e mecânico e em altos níveis de reprovação dos alunos [1].

No âmbito da física médica a radiação ionizante é muito relevante, sendo imprescindível a consolidação deste conhecimento por parte dos discentes para a compreensão de disciplinas como Física das Radiações, Proteção Radiológica, Radioterapia, Medicina Nuclear e Radiodiagnóstico. Para a prática profissional, o conhecimento da natureza das radiações ionizantes, assim como suas interações, é fundamental devido às suas inúmeras aplicações na medicina (radiologia convencional, tomografia computadorizada, medicina nuclear e radioterapia) [2, 3], na indústria (esterilização de medicamentos e instrumentos cirúrgicos, inativação de sementes, ensaios não destrutivos como gamagrafia e radiografia industrial) [4], na produção de energia [5] e na pesquisa (por exemplo, distribuição de dose em tumores ou em uma cultura celular e caracterização de materiais) [6–8].

\*Endereço de correspondência: [henrique.trombini@ufcspa.edu.br](mailto:henrique.trombini@ufcspa.edu.br)

A utilização de metodologias experimentais pode ser considerada uma aliada no ensino de física, de modo que os estudantes são levados a uma aprendizagem significativa e consistente já que passam a estar incluídos no processo, tendo seu interesse despertado pelo assunto abordado. Dessa forma, o ensino empírico representa uma boa possibilidade de complementação às aulas expositivas [9].

Porém, o emprego de radiações ionizantes em atividades experimentais envolve diversas problemáticas, como o valor dos materiais essenciais para se realizar os experimentos, a necessidade de infraestrutura e equipamentos de proteção adequados, a supervisão especializada para a aquisição e manipulação das fontes radioativas e a meia-vida curta de certos radioisótopos. Estes fatores resultam em altos custos e complexidade na prática do laboratório, dos quais a maior parte das instituições públicas de ensino do país não tem condições de manter. Além disso, a pandemia de Covid-19 trouxe novos desafios para o ensino de modo geral e principalmente no ensino prático. Com as aulas sendo ministradas de forma remota, muitas instituições de ensino sentiram dificuldade em criar e manter um laboratório físico. Nesse cenário, a demanda por laboratórios virtuais cresceu, pois esses ambientes permitem aos alunos explorar conceitos de maneira semelhante aos experimentos tradicionais, sem as limitações associadas aos custos e complexidade da prática experimental. Mesmo após o término da pandemia, os laboratórios virtuais devem continuar sendo utilizados para aprimorar o aprendizado desenvolvido em sala de aula.

Portanto, um laboratório virtual é uma forma de contornar o cenário exposto acima, pois permite explorar uma série de conceitos de maneira semelhante aos abordados experimentalmente, utilizando ainda, de uma infinidade de fontes, materiais e detectores sem agregar custos. Artigos como Da Silva (2015), Fernandez (2021) e Neto (2022) demonstram que o meio virtual vem sendo cada vez mais utilizado para o ensino de física [10–12]. Dessa forma, o presente trabalho apresenta as principais funcionalidades do Laboratório Virtual de Física Médica (LabFISMED) disponível online através do *link* <https://labfismed.streamlit.app>. O LabFISMED foi implementado em linguagem Python e sua interface gráfica desenvolvida através do *framework* Streamlit. O experimento da atenuação da radiação ionizante (raios X e gama) na matéria é apresentado com o intuito de exemplificar as potencialidades presentes no laboratório virtual.

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1. Implementação do laboratório virtual de física médica

A fim de alcançarmos os objetivos deste trabalho, foi necessária uma combinação de ferramentas e tecnologias adequadas para a criação de um Laboratório Virtual de

Física Médica. Nesta seção, discutiremos as tecnologias utilizadas para criar o LabFISMED, incluindo Python, Streamlit, GitHub e Visual Studio Code, buscando fornecer uma plataforma versátil e amigável para os alunos explorarem os princípios físicos abordados nos experimentos de física médica.

#### 2.1.1. Python

Python é uma linguagem de programação popular e amplamente utilizada em pesquisa científica e educação. É conhecida por sua simplicidade, legibilidade e versatilidade, tornando-a uma ótima candidata para a criação de softwares educacionais e simulações. O Python foi escolhido por sua facilidade de uso e compatibilidade com uma ampla gama de bibliotecas e ferramentas científicas. É também uma linguagem de código aberto, o que significa que é de uso gratuito e pode ser modificada por qualquer pessoa [13]. Essas características foram decisivas na escolha da linguagem de programação Python para implementação do laboratório virtual que visa fornecer recursos educacionais acessíveis. No caso do LabFISMED, o Python foi utilizado para escrever os scripts e algoritmos que alimentam o laboratório virtual.

#### 2.1.2. Streamlit

Streamlit é uma ferramenta de código aberto para criação de aplicativos web interativos em linguagem Python e amplamente utilizada em ciência de dados [14]. Ele permite que os desenvolvedores criem interfaces interativas e envolventes para visualização e análise de dados, sem a necessidade de amplo conhecimento em desenvolvimento web, sendo este, portanto, escolhido devido à sua facilidade de uso e flexibilidade. Fornecendo uma variedade de componentes e *widgets* pré-construídos que podem ser facilmente personalizados para atender às necessidades do projeto, ele também permite atualizações em tempo real e *feedback* instantâneo, o que é essencial para um laboratório virtual que depende dos parâmetros de entrada fornecidos pelo usuário. No caso do LabFISMED, o Streamlit foi usado para criar a interface entre o usuário e o laboratório virtual.

#### 2.1.3. GitHub

O GitHub é uma plataforma popular para hospedagem e compartilhamento de códigos. Esta fornece uma variedade de recursos e ferramentas que facilitam a colaboração no código com outros desenvolvedores, bem como armazenamento e controle de versão do código [15].

O GitHub também pode ser usado para hospedar e compartilhar aplicativos desenvolvidos com o Streamlit, o qual foi utilizado para o LabFISMED de acordo com o processo detalhado a seguir. Ao criar um repositório público no GitHub, com o código e as dependências, os desenvolvedores podem realizar o *deploy* facilmente de seus aplicativos utilizando o *Streamlit Community*

*Cloud*. Para isto, é necessário acessar com a conta do GitHub, realizar a escolha do repositório, do *branch* e do arquivo principal e, por fim, fazer o *deploy*. Dessa forma, toda vez que o código fonte for alterado, o aplicativo será atualizado imediatamente [16].

#### 2.1.4. Visual studio code

O Visual Studio Code é um editor de código-fonte versátil e amplamente utilizado no desenvolvimento de *softwares*. Ele fornece uma variedade de recursos e ferramentas que facilitam escrever, depurar e gerenciar códigos de programação. Ele fornece uma variedade de extensões e *plug-ins* que podem ser usados para personalizar o editor para projetos e fluxos de trabalho específicos. Ele também fornece ferramentas de depuração e integração com sistemas de controle de origem, tornando-o a escolha ideal para um projeto de desenvolvimento colaborativo [17]. No caso do LabFISMED, o Visual Studio Code foi utilizado como ambiente de desenvolvimento primário para o laboratório virtual, sendo selecionado por seus numerosos recursos e compatibilidade com uma ampla gama de linguagens de programação e estruturas.

### 2.2. Visão geral do laboratório virtual de física médica

O *link* do LabFISMED irá direcionar o usuário para a página inicial do aplicativo web, como apresentado na Figura 1. Essa página apresenta informações sobre a Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (UFCSPA), a qual os participantes estão

vinculados, além de descrever o projeto de iniciação à docência (PID-UFCSPA) da universidade, que possibilitou o desenvolvimento do LabFISMED. A página também conta com uma breve descrição dos professores e alunos envolvidos neste projeto. Na aba lateral podemos acessar os experimentos virtuais já implementados como, por exemplo, o experimento de atenuação da radiação ionizante com a matéria e do decaimento radioativo.

### 2.3. Funcionalidades do laboratório virtual de física médica

O LabFISMED foi implementado com funcionalidades que visam melhorar a aprendizagem do estudante. Isso é feito através de simulações interativas que possibilitam ao estudante explorar os conceitos envolvidos nos experimentos de forma segura e controlada. Os resultados obtidos são apresentados através de gráficos e tabelas que viabilizam uma melhor compreensão dos conceitos abordados. Ao selecionar um experimento, o usuário pode escolher entre duas opções: experimento livre ou experimento guiado. No primeiro caso é possível modificar livremente os diversos parâmetros experimentais. Já no segundo caso o aluno é conduzido por meio de uma história ilustrada interativa e, a partir de perguntas, tarefas e sugestões, compreende os principais conceitos físicos envolvidos no experimento.

#### 2.3.1. Experimento guiado

Há a opção de selecionar o *Experimento guiado básico* ou o *Experimento guiado avançado*. O experimento



Figura 1: Página inicial do Laboratório Virtual de Física Médica.

guiado avançado não está finalizado e, assim como novos experimentos virtuais, como por exemplo, o decaimento radioativo, que estão sendo implementados, aparecerá na página do LabFISMED como página em desenvolvimento. A história interativa é a mesma para os dois casos, mas as perguntas e tarefas levam em consideração o nível de conhecimento que o estudante possui. Dessa forma, um mesmo conteúdo pode ser abordado de forma introdutória ou de forma mais aprofundada. Assim, os experimentos guiados do LabFISMED podem ser aplicados tanto em turmas do ensino médio, início da graduação em física médica ou cursos correlatos como biomedicina, técnico em radiologia e medicina, como para estudantes que se encontram no final da graduação em física e física médica.

### 2.3.2. Experimento livre

Outra possibilidade é realizar o experimento no formato livre que, comparado ao experimento guiado, não apresenta nenhuma história interativa, mas conta com uma maior variedade de parâmetros que podem ser selecionados, tornando possível simular diversas condições. Esse formato mais flexível e personalizado aumenta a autonomia do professor que pode modificar e ajustar os parâmetros de um experimento para atender às suas necessidades e os objetivos de aprendizagem dos seus alunos. Isso melhora a relação ensino-aprendizagem uma vez que leva em consideração o contexto no qual o estudante está inserido.

### 2.3.3. Contexto histórico e curiosidades

Além disso, o estudante pode selecionar uma aba de contexto histórico, onde são abordados os principais acontecimentos vinculados aos experimentos implementados através de uma linha do tempo interativa. O processo de ensino-aprendizagem ocorre de maneira multidisciplinar, relacionando diferentes ferramentas didáticas e áreas do conhecimento que, apoiando-se uma na outra, auxiliam na resolução de problemas e, conseqüentemente, na evolução das diversas ciências [18]. A História, como ciência que estuda as ações humanas em diferentes contextos, permite a desmistificação das teorias científicas e uma visão que justifica a construção do conhecimento como algo relativo e não linear [19]. O uso, por exemplo, de linhas do tempo como recurso interativo para o entendimento da formação do conhecimento das ciências, fornece uma forma acessível e estruturada para a fixação de uma pluralidade de informações que contribuem para a aprendizagem dos indivíduos. Ainda, os diferentes tipos de linguagem, como textos, ilustrações, fotografias, entre outros, contribuem para enriquecer o ensino da Física e de outras ciências, desenvolvendo a forma de comunicar o conhecimento e, aprimorando o senso crítico. Por meio de imagens, as informações são transmitidas de maneira direta, podendo ser ilustradas e, no caso das fotografias, auxiliar na preservação do passado, possibilitando a

visualização dos fatos e das circunstâncias dos contextos históricos que marcaram a sociedade e configuraram o conhecimento científico ao longo do tempo [20].

## 3. Resultados e Discussão

As funcionalidades previamente mencionadas estão exemplificadas através do experimento de atenuação da radiação com a matéria, a seguir.

### 3.1. Experimento da atenuação da radiação ionizante na matéria

A teoria e os conceitos por trás do experimento da atenuação da radiação ionizante na matéria são fundamentais nas áreas de física médica, física, engenharia nuclear, biomedicina e tecnologia em radiologia por exemplo e geralmente, são abordados nas disciplinas de Física das Radiações, Radiologia, Dosimetria e Proteção Radiológica de cursos técnicos e superiores. Abaixo iremos descrever brevemente a fundamentação teórica envolvida nesse experimento.

As radiações eletromagnéticas ionizantes, consideradas neste experimento, são os raios X e gama. Devido às suas propriedades ondulatórias e à falta de carga e massa de repouso, essas radiações podem penetrar profundamente na matéria, interagindo poucas vezes ou quase nenhuma, dependendo da energia.

A interação dos raios X e gama com a matéria ocorre de forma probabilística e depende da energia do fóton, do número atômico e da densidade do material [21, 22]. As principais formas de interação dessas radiações com a matéria, nas energias utilizadas clinicamente, são o espalhamento Rayleigh, o efeito fotoelétrico, o espalhamento Compton e a produção de pares.

Portanto, no experimento da atenuação da radiação com a matéria utilizamos uma fonte emissora de fótons, na forma de um feixe estreito e monoenergético que incide sobre um determinado material onde, devido aos processos já citados, parte dos fótons é espalhado, parte é absorvido e uma fração atravessa o material sem interagir. Essa quantidade de radiação que atravessa o material sem ter interagido pode ser mensurada por meio de um detector de radiação. A intensidade do feixe emergente está associada à intensidade do feixe incidente, pela relação:

$$I = I_0 e^{-\mu L}$$

em que  $I_0$  é a intensidade inicial da radiação,  $I$  é a intensidade medida pelo detector após atravessar um material de espessura  $L$ , e  $\mu$  é o coeficiente de atenuação linear, que é específico para cada material e energia do feixe.

O experimento para medir essa atenuação da radiação pode ser realizado utilizando um detector de radiação, como por exemplo um detector Geiger-Müller, e um material absorvedor. Durante o experimento, o detector

é colocado a uma distância fixa do material absorvedor, e a intensidade da radiação incidente é medida. A distância entre o detector e o material absorvedor precisa ser cuidadosamente avaliada para minimizar a probabilidade de detectar um fóton espalhado através do espalhamento Compton. A primeira medida é registrada sem a presença do material absorvedor com o objetivo de quantificar a intensidade inicial de radiação. Em seguida, o material absorvedor é inserido entre a fonte de radiação e o detector, e a intensidade da radiação transmitida é medida. A partir dessas medidas e conhecendo a espessura do material absorvedor, é possível calcular o coeficiente de atenuação linear do material.

Os resultados simulados no LabFISMED desconsideram quaisquer eventuais interferências de um experimento real, já que o objetivo é o entendimento fundamental do conteúdo por parte do aluno. Em um experimento real de atenuação da radiação ionizante com a matéria, várias interferências podem ocorrer. Por exemplo, a presença de ruído de fundo pode ser causada por equipamentos eletrônicos próximos ou pela própria radiação ambiente. Variações na geometria do experimento, como a posição do detector, podem afetar a quantidade de radiação detectada. As propriedades do material absorvedor, como a composição química e a densidade, também podem variar, influenciando a interação dos fótons com a matéria. Correções associadas às condições ambientais e do detector, como temperatura, umidade e a calibração do instrumento de medida, são essenciais para garantir a precisão das medidas em um experimento real. Além disso, as flutuações nas medidas devido às propriedades estocásticas da interação da radiação com a matéria não são consideradas, pois o software utiliza uma equação analítica para descrever a atenuação da radiação.

Como exposto anteriormente, a equação da atenuação é utilizada em diversas áreas. Dentre elas, podemos destacar sua aplicação nos cálculos de blindagens de salas e invólucros de radionuclídeos com emissão gama ou de equipamentos que, quando ligados, emitem raios X. Estes cálculos são muito importantes na radioproteção e permitem o controle da dose de radiação absorvida pelos indivíduos que lidam diretamente com essas fontes de radiação (Indivíduos Ocupacionalmente Expostos) e pelo público em geral, garantindo assim, o uso seguro das radiações ionizantes [23].

Além disso, ela é fundamental para o entendimento de como são obtidas as imagens médicas por meio dos equipamentos que emitem radiação (como o raio X convencional, a tomografia, o arco-cirúrgico, entre outras modalidades) [24, 25] ou detectam a radiação (tomografia por emissão de fóton simples e tomografia por emissão de pósitrons) [26]. Estes equipamentos são muito empregados no setor médico, para diagnósticos e terapia [27], e no setor industrial, para inspeção de materiais e peças [21]. Podemos destacar também, sua utilização na caracterização de materiais que, para diversas técnicas de análise, torna-se necessária uma

correção da atenuação da radiação incidente ou emitida pelo próprio material analisado [8].

Nos experimentos guiados básico e avançado propostos exemplificamos a importância da equação de atenuação em uma situação real em que técnicos de radiologia precisam decidir qual técnica radiográfica deve ser utilizada para a correta aquisição de uma imagem médica através de um equipamento de raios X convencional. Os experimentos livre, guiado básico e guiado avançado são apresentados abaixo com maiores detalhes.

### 3.2. Implementação do experimento de atenuação da radiação

O LabFISMED oferece experimentos guiados com roteiros básicos e avançados que levam em consideração o grau de conhecimento do estudante. Esses experimentos podem ser aplicados em diferentes níveis de ensino, incluindo cursos correlatos. Há também a opção de experimentos livres, que permitem tanto ao aluno quanto ao professor explorarem o conteúdo à sua própria maneira, ajustando parâmetros de acordo com as suas necessidades. Essa flexibilidade aumenta a autonomia de quem está realizando o experimento e melhora a relação ensino-aprendizagem. A seguir é possível observar como o experimento de 'Atenuação da Radiação' foi abordado nessas distintas modalidades.

#### 3.2.1. Experimento livre

O experimento de atenuação da radiação com a matéria na modalidade livre inicia-se com a definição, pelo usuário, do número de fótons iniciais para a simulação conforme apresentado na Figura 2a, depois ele deve selecionar a energia do feixe monoenergético da radiação eletromagnética (Figura 2b), podendo escolher entre as seguintes opções: 30 keV, 60 keV, 150 keV, 250 keV, 500 keV, 1250 keV, 6000 keV e 10000 keV. Após esta etapa, a espessura desejada (Figura 2c) e o material utilizado para a simulação de atenuação (Figura 2d) devem ser informados; os materiais disponíveis são 'Alumínio', 'Chumbo', 'Concreto', 'Urânio', 'Concreto Baritado', 'Mama', 'Acrílico', 'Músculo', 'Osso', 'Tecido Mole', 'Tecido Adiposo' e 'Água'. A partir de todas as características definidas, já é apresentado o número de fótons detectados ao atravessar a blindagem (Figura 2e). Ao final é possível determinar os intervalos dos pontos de detecção conforme apresentado na Figura 3a e são gerados gráficos de número de fótons detectados pela espessura como mostra a Figura 3b.

#### 3.2.2. Experimento guiado básico

Para implementar este experimento, foi elaborado um roteiro focado nos conceitos básicos da atenuação da radiação com a matéria. Desenvolvemos uma história com perguntas e curiosidades para guiar os estudantes e

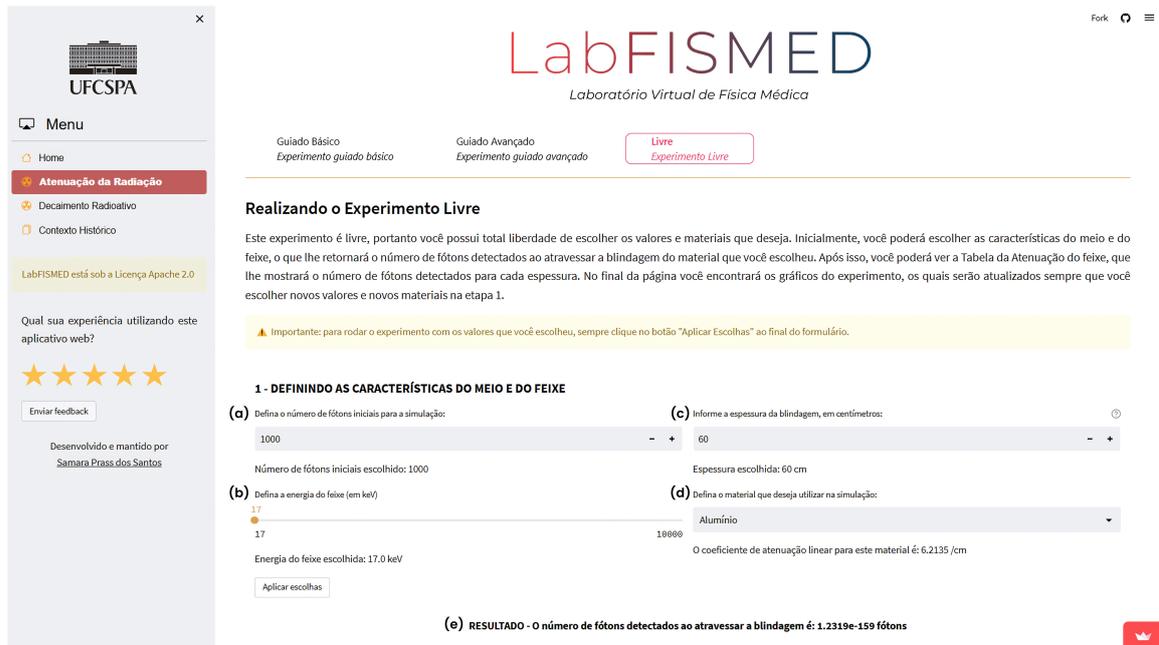


Figura 2: Página do experimento de Atenuação da Radiação na modalidade livre na qual o usuário poderá informar os seguintes parâmetros: (a) número de fótons iniciais, (b) energia do feixe de radiação, (c) espessura da blindagem, (d) material atenuador. A figura 2(e) apresenta o resultado da simulação baseado nos parâmetros informados.

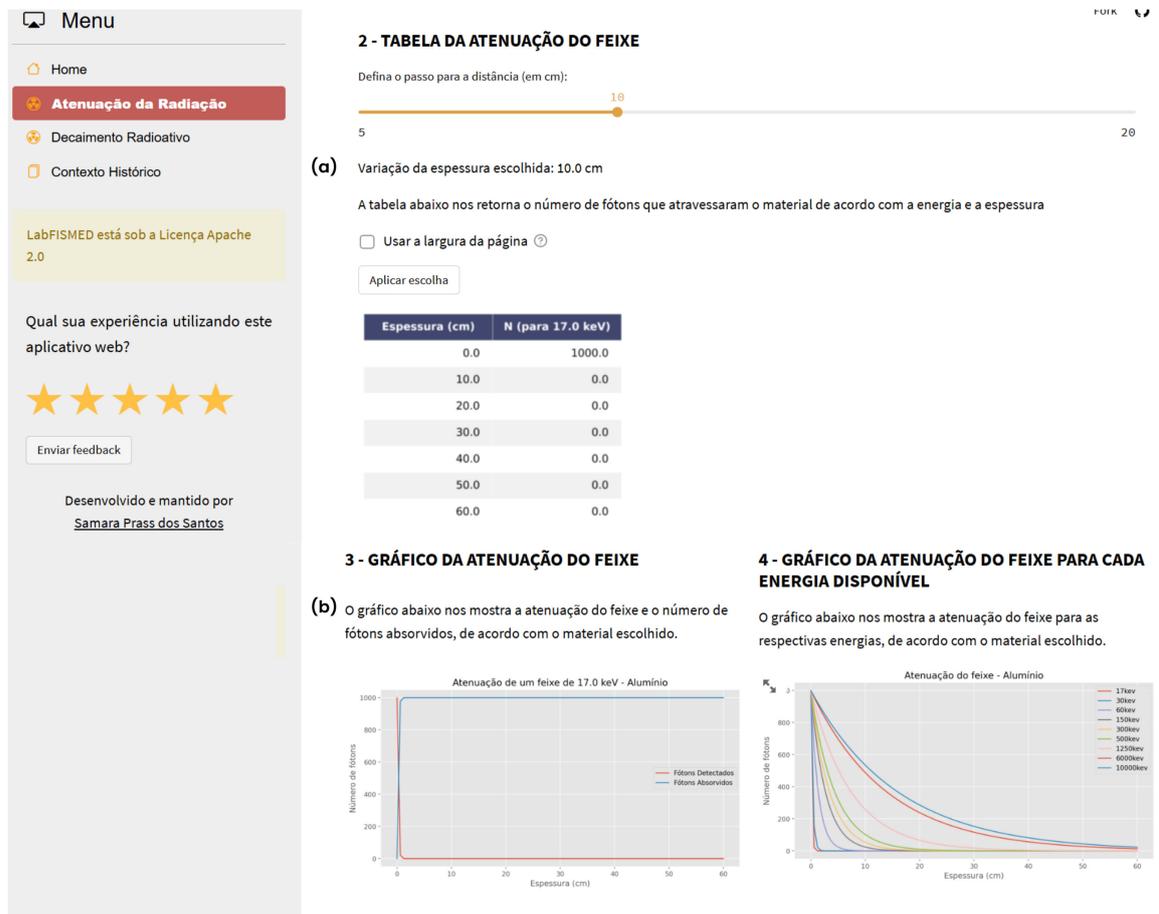


Figura 3: Continuação da página do experimento de Atenuação da Radiação na modalidade livre. Na parte (a) o usuário poderá determinar os intervalos dos pontos de detecção e na parte (b) são gerados gráficos do número de fótons detectados em função da espessura.

The image shows the initial page of the 'Atenuação da Radiação' experiment in the 'Guiado Básico' modality. On the left is a sidebar menu with a 'Menu' icon and options: 'Home', 'Atenuação da Radiação' (highlighted), 'Decaimento Radioativo', and 'Contexto Histórico'. Below the menu, it states 'LabFISMED está sob a Licença Apache 2.0' and asks for user experience with a star rating and 'Enviar feedback' button. At the bottom of the sidebar, it credits 'Desenvolvido e mantido por Samara Prass dos Santos'. The main content area has the 'LabFISMED Laboratório Virtual de Física Médica' logo. Below the logo are two buttons: 'Guiado Básico Experimento guiado básico' and 'Guiado Avançado Experimento guiado avançado'. A progress bar shows 8 modules, with the first module highlighted. Below the progress bar is an illustration of a person on a bicycle with the text: 'Imagine que você está andando de bicicleta... Imagine que você estava pedalando distraído em sua bicicleta até que bateu em uma pedra, caiu e se machucou.'

**Figura 4:** Página inicial do experimento de Atenuação da Radiação na modalidade Guiado Básico.

demonstrar, de forma interativa, a equação da atenuação da radiação. Essa equação mostra a dependência da atenuação em relação à espessura ( $L$ ) e ao coeficiente de atenuação linear ( $\mu$ ). Este último está associado à dependência com a energia ( $E$ ) e o número atômico ( $Z$ ) do tecido ou estrutura irradiada. A narrativa inicia-se pedindo para que o usuário imagine que está andando de bicicleta distraído e caiu, se machucando, conforme pode ser visualizado na Figura 4.

### 3.2.3. Experimento guiado avançado

Na implementação do experimento guiado avançado, foi elaborado um roteiro que explora conceitos de física das radiações, incluindo os processos de interação da radiação com a matéria. A história do guiado básico foi mantida, mas, em vez de simplesmente demonstrar a equação da atenuação da radiação, as perguntas e curiosidades foram baseadas nessa equação para compreender profundamente o coeficiente de atenuação linear. Como resultado, foram abordadas as seções de choque: efeito fotoelétrico, efeito Compton, produção de pares e espalhamento Rayleigh, ou seja, os processos de interação que ocorrem quando um material (com determinado número

atômico e espessura) absorve radiação em baixas ou altas energias.

### 3.3. Contexto histórico e curiosidades

Na aba de contexto histórico, a linha do tempo interativa conta, em ordem cronológica, com alguns dos principais marcos na história dos experimentos trabalhados no LabFISMED. São apresentados tópicos como a descoberta dos raios X por Wilhelm Conrad Röntgen em 1895, as primeiras aplicações dessa radiação em tratamentos de câncer em 1896, os aprimoramentos e desenvolvimentos de equipamentos para produção dos raios X e sua utilização no radiodiagnóstico convencional ao longo do século XX, entre outros acontecimentos históricos.

Com o auxílio de imagens e textos informativos, a linha do tempo se torna uma ferramenta de aprendizagem de simples entendimento, sendo capaz de mostrar importantes eventos e mudanças na história dos experimentos da atenuação da radiação com a matéria e do decaimento radioativo ao longo dos anos. O aspecto visual da linha do tempo, atrelado ao propósito de apresentar aos estudantes importantes experimentos da física de maneira virtual, fornece uma forma prática e



**Figura 5:** Parte inicial da aba de Contexto Histórico, com a linha do tempo interativa.

organizada de compreender as biografias dos cientistas envolvidos, os avanços na ciência para o desenvolvimento de equipamentos de extrema relevância para a sociedade e o desenvolvimento do conhecimento científico com o passar dos anos. A Figura 5 demonstra a apresentação inicial da aba de contexto histórico, com a linha do tempo interativa.

Além da linha do tempo, as curiosidades apresentadas ao longo dos experimentos também acrescentam conhecimento de forma atrativa e didática. Conforme o aluno avança as etapas do experimento guiado, algumas perguntas e curiosidades relacionadas ao tema são apresentadas a ele, como por exemplo, o comportamento do feixe de raios X ao atravessar determinados materiais. Dentre os materiais disponibilizados para esta simulação está o chumbo, que é amplamente utilizado como blindagem para locais onde há risco de exposição à radiação e na confecção de EPI's, como aventais plumbíferos, por exemplo. Ao trabalhar com esse material o aluno descobre que, embora antes chamados de aventais de chumbo, os aventais com os quais contamos hoje já não são mais fabricados com este material e sim com uma borracha plumbífera, que é análogo ao chumbo e cumpre seu papel na atenuação da radiação, além de fornecer uma maior maleabilidade ao equipamento de proteção.

### 3.4. Vantagens e desvantagens

O LabFISMED é um aplicativo web que permite que estudantes, professores e o público em geral tenham acesso fácil e amplo aos experimentos de física aplicada

à medicina e biologia. Ele pode ser utilizado de qualquer ambiente que tenha acesso à internet e, além disso, novos experimentos e atualizações podem ser facilmente implementados sem a necessidade de ações por parte dos usuários. Dessa forma, o LabFISMED oferece diversas vantagens como acessibilidade, compatibilidade com uma ampla gama de dispositivos, utilização simultânea por vários usuários e fácil compartilhamento. Ademais, viabiliza uma infinidade de fontes, detectores, energias e materiais atenuadores. O menor tempo de preparação do experimento, a não necessidade de espaço físico e o baixo custo operacional também são fatores que tornam o uso do laboratório virtual atraente. Os experimentos disponíveis não apresentam imprecisões e nem interferências externas que possam prejudicar a obtenção dos resultados, já que eles não serão dependentes, por exemplo, da acurácia visual humana, da eficiência, exatidão, calibração dos equipamentos de detecção, entre outros parâmetros. Os fatores mencionados tornam o LabFISMED prático para os estudantes e professores que desejam aprender e ensinar os conteúdos envolvidos nos experimentos implementados.

Embora o laboratório virtual seja uma excelente alternativa, ele pode apresentar algumas desvantagens em relação aos experimentos físicos pelo fato do aluno não vivenciar situações que apenas um experimento real pode proporcionar, como a montagem e manuseio dos equipamentos, o alinhamento correto das peças, a tentativa de reduzir ao máximo fatores de interferência, entre outros. Além disso, o aluno não colocará em prática os protocolos de proteção e segurança necessários ao lidar com radiações ionizantes.

O laboratório virtual é uma excelente ferramenta didática para explorar aspectos que não seriam possíveis em um experimento real, além de alcançar pessoas que não teriam oportunidade ou meios de vivenciar essa experiência. É relevante ressaltar que o laboratório virtual é complementar à prática presencial, dessa forma, ele não substitui o papel da aula e do experimento real. Ao realizarem a simulação, os alunos devem compreender que a observação e experimentação são parte fundamental para o melhor entendimento da teoria.

#### 4. Conclusões

Esse trabalho apresentou o desenvolvimento de um Laboratório Virtual de Física Médica, o qual permite explorar, através de um ambiente interativo, simulações computacionais de experimentos que permeiam a física médica. Suas potencialidades foram exploradas através do experimento de atenuação da radiação com a matéria nas modalidades “livre”, “guiado básico” e “guiado avançado”, voltado para um público alvo composto por alunos do ensino médio e superior. Novos experimentos serão adicionados ao LabFISMED como por exemplo, a produção de raios X e sua influência na qualidade da imagem diagnóstica, decaimento radioativo e suas aplicações em medicina nuclear e experimentos sobre os princípios de proteção radiológica. Além disso, novas funcionalidades irão somar à experiência do usuário e facilitar sua utilização em sala de aula, tal como a elaboração automática de um relatório em formato *Portable Document Format* (pdf), com os principais resultados e progressos alcançados.

A criação de um laboratório virtual representa uma inovação significativa em tecnologia educacional, oferecendo aos alunos uma maneira segura, acessível e envolvente de aprender sobre os princípios da física. Aproveitando as funcionalidades combinadas do Python, Streamlit, GitHub e Visual Studio Code, foi possível criar um laboratório virtual de uso versátil e amigável em formato de aplicativo web, tornando-se um potencial disseminador do ensino das aplicações das radiações.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao programa de iniciação à docência (PID) da Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre pelas bolsas disponibilizadas.

#### Referências

- [1] M.A. Moreira, *Revista do Professor de Física* **1**, 1 (2017).
- [2] F.H. Attix, *Introduction to radiological physics and radiation dosimetry* (John Wiley & Sons, Weinheim, 2008).
- [3] A. Penelope e J. Williams, *Farr's physics for medical imaging* (Elsevier, Philadelphia, 2008), 2 ed.
- [4] E.S. Pino e C. Giovedi, *UNILUS Ensino e Pesquisa* **2**, 47 (2013).

- [5] R.P. Moreira, T.Y. Tatei, D.G. Araujo, J.M.S. Ayoub, J.A. Seneda, M.A.S. Duque, I.C. Oliveira, em: *Proceedings of the INAC 2019: international nuclear atlantic conference. Nuclear new horizons: fueling our future* (Santos, 2019).
- [6] M.S. Alva-Sánchez e T.A. Pianoschi, *Radiation Physics and Chemistry* **167**, 108428 (2020).
- [7] R.G. Malanga, T.A. Pianoschi, C. Viccari, H. Trombini, F.F. Busatto, D. Jaqueline e M.S. Alva-Sánchez, *Brazilian Journal of Radiation Sciences* **11**, 01 (2023).
- [8] J.V.B. Batista, H. Trombini, A. Otsuka, I.S. Silveira, L.V.E. Caldas, A.O. Souza, A.S. Souza, J.L.O. Santos, V. Coelho e H. Lima, *Dalton Transactions* **52**, 6407 (2023).
- [9] M.S.T. Araújo e M.L.V.S. Abib, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **25**, 176 (2003).
- [10] N.C. Da Silva, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **32**, 542 (2015).
- [11] J.V.M. Fernandez, A.L. Lixandrão Filho, S. Guedes, P.D. Monteleone, I. Prearo, G. Cordeiro, A.A. Hernandez e J.C. Hadler Neto, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **43**, e20210295 (2021).
- [12] R.S.R. Neto, F.M.L. Souza, A.L.E. Fidelis, A.M. Rocha, L.G.O. de Santana, L.A.R. Rosa e S.C. Cardoso, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **45**, e20220231 (2022).
- [13] PYTHON SOFTWARE FOUNDATION, *Python Brasil, 2023*, disponível em: <https://www.python.org/download/>, acessado em: 21/06/2023.
- [14] STREAMLIT, *A faster way to build and share data apps*, disponível em: <https://streamlit.io/>, acessado em: 21/06/2023.
- [15] GITHUB, *GitHub: Let's build from here*, disponível em: <https://github.com>, acessado em: 21/06/2023.
- [16] STREAMLIT, *Deploy na app*, disponível em: <https://docs.streamlit.io/streamlit-community-cloud/get-started/deploy-an-app>, acessado em: 21/06/2023.
- [17] MICROSOFT, *Visual Studio Code - Code Editing. Redefined, 2023*, disponível em: <https://code.visualstudio.com>, acessado em: 22/06/2023.
- [18] R. Nardi e O. Castiblanco, *Didática da Física* (Cultura Acadêmica, São Paulo, 2014).
- [19] N.V. Pereira, T.I. Oliveira, C. Boghi, J. Schimiguel e D.M. Shitsuka, *Research, Society and Development* **4**, 251 (2017).
- [20] S.R. Guedes, *A utilização de imagens no ensino de história e sua contribuição para a construção de conhecimento*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira (2015).
- [21] L. Tauhata, I. Salati, R. Di Prinzio e A.R. Di Prinzio, *Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos* (IRD/CNEN, Rio de Janeiro, 2014).
- [22] E. Okuno e E. Yoshimura, *Física das Radiações* (Oficina de Textos, São Paulo, 2010), v. 70.
- [23] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, *Diretrizes básicas de radioproteção: Resolução CNEN nº 27/2004, Norma CNEN-NN-3.01. 2004*, disponível em: <https://www.gov.br/cnen/pt-br/aceso-rapido/normas/grupo-3/grupo3-nrm301.pdf>.
- [24] J.C. Soares, *Princípios básicos de física em radiodiagnóstico* (Colégio Brasileiro de Radiologia, São Paulo, 2008), 2 ed.

- [25] D.R. Dance, S. Christofides, A.D.A. Maidment, I.D. McLean e K.H. Ng, *Diagnostic radiology physics: A handbook for teachers and students* (International Atomic Energy Agency, New York, 2014).
- [26] D.L. Bailey, J.L. Humm, A. Todd-Pokropek e A. van Aswegen, *Nuclear Medicine Physics: A Handbook for Teachers and Students* (International Atomic Energy Agency, New York, 2014).
- [27] E.B. Podgorsak, *Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students* (International Atomic Energy Agency, Viena, 2005).