



USO DA TECNOLOGIA NOS EXPERIMENTOS DE FÍSICA: DETECÇÃO DE RADIAÇÃO IONIZANTE POR SENSOR DIGITAL CMOS DE CÂMERA FOTOGRÁFICA

HENRIQUE CESAR FONSECA

Presidente Prudente – SP

Julho de 2023



USO DA TECNOLOGIA NOS EXPERIMENTOS DE FÍSICA: DETECÇÃO DE RADIAÇÃO IONIZANTE POR SENSOR DIGITAL CMOS DE CÂMERA FOTOGRÁFICA

HENRIQUE CESAR FONSECA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Unesp no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

**Orientadora: Profa. Dra. Ana Maria
Osório Araya**

Presidente Prudente – SP

Julho de 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

F676u Fonseca, Henrique Cesar
Uso da tecnologia nos experimentos de Física: detecção de radiação ionizante por sensor digital CMOS de câmera fotográfica / Henrique Cesar Fonseca. -- Presidente Prudente, 2023
238 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (Mestrado profissional - Ensino de Física (MNPEF)) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente
Orientadora: Ana Maria Osorio Araya

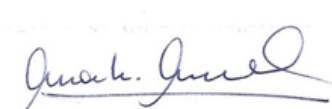
1. Física. 2. Detecção de radiação gama. 3. Sensor CMOS. 4. Experimentos de Física moderna realizados em sala de aula. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE HENRIQUE CESAR FONSECA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CÂMPUS DE PRESIDENTE PRUDENTE.

Aos 26 dias do mês de julho do ano de 2023, às 14:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de HENRIQUE CESAR FONSECA, intitulada **Uso da tecnologia nos experimentos de física: detecção de radiação ionizante por sensor digital CMOS de câmera fotográfica**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Profa. Dra. ANA MARIA OSORIO ARAYA (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Física/Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente, Prof. Dr. JOÃO RICARDO NEVES DA SILVA (Participação Virtual) do(a) Instituto de Física e Química / Universidade Federal de Itajubá, Prof. Dr. MOACIR PEREIRA DE SOUZA FILHO (Participação Virtual) do(a) Departamento de Física / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente. Após a exposição pelo mestrando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: **Aprovado**. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

A handwritten signature in blue ink, which appears to read "Ana Maria Osorio Araya", is positioned above the printed name of the signatory.

Profa. Dra. ANA MARIA OSORIO ARAYA

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), código 001.

À Sociedade Brasileira de Física pela oportunidade aberta aos professores para realizar este Mestrado.

Agradeço à Universidade Estadual Paulista pelo apoio ao programa.

A todos os professores do MPEF, pela competência, dedicação e paciência.

RESUMO

Henrique Cesar Fonseca

Orientadora: Ana Maria Osório Araya

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da FCT–UNESP no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Resumo

Esta dissertação foi desenvolvida no âmbito do programa Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, implantado pela Sociedade Brasileira de Física. O referencial e a organização das atividades a serem desenvolvidas foram realizadas no período de pandemia, sendo que as atividades com alunos foram realizadas de forma presencial no primeiro semestre de 2022, tomando todas as precauções necessárias devido ainda a presença do COVID. O objetivo principal desta dissertação é demonstrar um experimento de Física Moderna que pode ser realizado em sala de aula utilizando uma tecnologia de baixo custo e ao alcance de professores e escolas. O experimento consiste, basicamente, em captar radiação ionizante do tipo gama em uma câmera do tipo webcam, analisar as imagens em tempo real através de um software desenvolvido para este fim, mostrando a quantidade de pontos detectados, uma imagem com todos os pontos detectados -constantemente atualizada - e uma segunda imagem em tempo real do que está sendo captado. Ao final do experimento os dados e todas as imagens em que foram detectadas radiação ficam disponíveis em um diretório do computador para posterior análise. O experimento proporciona ao aluno uma melhor compreensão da radiação ionizante e de um dos processos de detecção desta, além de permitir que ele participe ativamente da experiência, segundo os preceitos da aprendizagem significativa. O software utilizado no experimento de detecção de radiação gama foi desenvolvido pelo autor desta dissertação utilizando a linguagem C++. O código fonte e o programa executável estão disponíveis para download (apenas para ambiente Windows) pelo site do GitHub (https://github.com/HenriqueCesarFonseca/gamma_detector). O experimento foi realizado com alunos da segunda série do ensino médio de uma Escola Estadual de

Presidente Prudente. O experimento está inserido dentro de uma Sequência Didática e os dados foram analisados à luz dos depoimentos dos alunos.

Palavras-Chave: Radiação gama. Sensor CMOS. Física experimental. Tecnologia e Ensino.

ABSTRACT

Henrique Cesar Fonseca

Advisor: Ana Maria Osorio Araya

This dissertation was developed within the framework of the National Professional Master's program in Physics Teaching, implemented by the Brazilian Society of Physics. The framework and organization of the activities to be developed were carried out during the pandemic period, and activities with students were carried out in person in the first half of 2022, taking all the necessary precautions due to the presence of COVID. The main objective of this dissertation is to demonstrate a Modern Physics experiment that can be carried out in the classroom using a low-cost technology within reach of teachers and schools. The experiment basically consisted of capturing gamma-type ionizing radiation in a webcam-type camera, analyzing the images in real time through a software developed for this purpose, showing the number of detected points, a constantly updated image with all the detected points, and a second real-time image of what is being captured. By the end of the experiment, the data and all images in which radiation was detected are available in a computer directory for further analysis. The experiment provides the student with a better understanding of ionizing radiation and one of its detection processes, in addition to allowing one to actively participate in the experience, according to the principles of meaningful learning. The software was developed to run in Windows environment. Source and executable code are available for download. The experiment was carried out with students in the second year of high school at a State School in Presidente Prudente. The experiment is inserted within a Didactic Sequence and the data were analyzed according to the students' testimonies.

Keywords: Gamma radiation. CMOS sensor. Experimental physics. Technology and Education.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Apresentação da variação da aprendizagem memorística até a significativa proposta por Novak (1996).....	22
Figura 2 – Relação entre professor, aluno e atividades no processo de aprendizagem significativa.....	23
Figura 3 – Espectro eletromagnético.	Erro! Indicador não definido.
Figura 4 – Efeito fotoelétrico (A), Efeito Compton (B) e produção de pares (C).	33
Figura 5 – Representação da atenuação da radiação na matéria.	34
Figura 6 – Radiografia da mão esquerda da Sra. Anna Bertha Ludwig.	35
Figura 7 – Alcance e interações das partículas alfa e beta com a matéria.	37
Figura 8 – Séries Radioativas Naturais.....	44
Figura 9 – Experimento CMS do CERN.....	46
Figura 10 – Estrutura com a configuração de polarização (a) e símbolo e corrente reversa (b).	47
Figura 11 – Zona de depleção quando diodo diretamente (a) e reversamente (b) polarizado.	48
Figura 12 – Absorção de luz por um semicondutor.....	49
Figura 13 – Configuração básica de um sensor CMOS.....	49
Figura 14 – Arquitetura básica de um sensor CMOS.....	50
Figura 15 – Sensor CMOS OV2640 (com a lente desacoplada).	51
Figura 16 – o esquema básico de um sensor CMOS OV7675 da empresa OmniVision Technologies Inc.....	51
Figura 17 – Filtro Bayer: produz imagens coloridas com sensores digitais. ...	52
Figura 18 – Cada fotodiodo capta apenas a cor filtrada.	53
Figura 19 – Exemplos de diferentes combinações do sistema RGB de 24 bits.	54

Figura 20 – Webcam escolhida para o experimento.....	55
Figura 21 – Webcam sem a lente óptica.....	55
Figura 22 – Fita isolante deixando exposto apenas o sensor CMOS.	56
Figura 23 – Fita isolante deixando exposto apenas o sensor CMOS	56
Figura 24 – Fonte de radiação presa com fita adesiva	57
Figura 25 – Lata fechada com sensor na parte superior.....	57
Figura 26 – Lata menor será colocada no interior de uma lata maior.	57
Figura 27 – Montagem finalizada.....	58
Figura 28 – Janelas criadas pelo software.....	58
Figura 29 – Dois pontos na janela “MATRIZ DE PONTOS ACUMULADOS”. ..	59
Figura 30 – Conteúdo do arquivo de pontos detectados.	60
Figura 31 – Imagem criada ao finalizar o programa.....	61
Figura 32 – A seta vermelha mostra um ponto detectado.	62
Figura 33 – Todos os arquivos criados ao finalizar o programa	62
Figura 34 – Aplicativo Paint do Windows aberto com uma das imagens captadas.	63
Figura 35 – Representação da força nuclear forte.....	71
Figura 36 – Aluna experimentando a força de repulsão entre dois ímãs.	72
Figura 37 – Bandeja de uralina.	73
Figura 38 – Dosímetro.	73
Figura 39 – Dosímetro e areia monazítica.	75
Figura 40 – Aluna observando areia monazítica.....	75
Figura 41 – Experimento virtual “Monte um Átomo”.....	76
Figura 42 – Lousa com lista de isótopos radioativos.	77
Figura 43 – Atividade simulando decaimento radioativo.....	77
Figura 44 – Apresentação dos trabalhos.	78
Figura 45 – Apresentação dos trabalhos.	78

Figura 46 – Leitura de trechos do livro “Os Homens do Fim do Mundo”.....	80
Figura 47 – Experimento com alta tensão.	81
Figura 48 – Terminais com alta tensão.	82
Figura 49 – Fonte de radiação presa na extremidade de um canudo de papelão.	82
Figura 50 – Moeda e fonte de radiação utilizados no experimento.....	83
Figura 51 – Fonte de radiação próxima aos terminais.	84
Figura 52 – Centelha entre os terminais.	85
Figura 53 – Pontos detectados.	87
Figura 54 – Coordenadas de todos os pontos detectados.....	87
Figura 55 – Alunos analisando imagens captadas.....	88
Figura 56 – Alunos analisando imagens captadas.....	88
Figura 57 – Aluna experimentando a força de repulsão entre dois ímãs.	93
Figura 58 – Representação da força nuclear forte.....	93
Figura 59 – Dosímetro medindo radiação da areia monazítica.....	95
Figura 60 – Atividade simulando decaimento radioativo.....	96

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Penetração da partícula alfa para diferentes materiais.	36
Quadro 2 – Valor de Q para cada tipo de radiação.....	40
Quadro 3 – Antigas e novas unidades de radiação	41
Quadro 4 – Dose efetiva do público devido à radiação proveniente de fontes naturais	45
Quadro 5 – Habilidades apresentadas no Currículo Paulista para Unidade Temática Matéria e energia.	67
Quadro 6 – Sequência Didática aplicada.	67
Quadro 7 – Áreas com alta dose de radiação de fundo (background).....	118

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Gráfico $N(t)$ exponencial.....	38
Gráfico 2 – Comportamento da corrente quando diodo é diretamente e inversamente polarizado.....	48

LISTA DE SIGLAS

BMP	<i>Bitmap</i>
CCD	<i>Charge Coupled Device</i>
CERN	Conselho Europeu de Pesquisas Nucleares
CI	Circuito Integrado
CMOS	Complementary Metal-Oxide Semiconductor
CMS	<i>Compact Muon Solenoid</i>
DC	<i>Direct Current</i>
DIY	<i>Do it Yourself</i>
DSP	<i>Digital Signal Processor</i>
DVP	<i>Digital Vídeo Port</i>
ESC	<i>Escape</i>
FPS	<i>Frames per Second</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
MOSFET	<i>Metal Oxide Semiconductor Field Effect</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
OpenCV	<i>Open-Source Computer Vision</i>
PIXEL	<i>Picture Element</i>
RGB	<i>Red, green and blue</i>
SD	Sequência Didática
SI	Sistema Internacional de Unidades
TAS	Teoria da Aprendizagem Significativa
USB	<i>Universal Serial Bus</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	Objetivos	19
2.1	Objetivo Geral	19
2.2	Objetivo Específico	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	Teoria da Aprendizagem Significativa	20
2.2	A Importância da Experimentação	23
3	RADIAÇÕES	26
3.1	Radiação Ionizante e Não Ionizante	27
3.2	Átomos Radioativos	28
3.3	Dcaimento Alfa, Beta e Gama	29
3.3.1	Dcaimento Alfa	29
3.3.2	Dcaimento Beta	30
3.3.3	Dcaimento Gama	32
3.4	Interação da Radiação com a Matéria	33
3.4.1	Interação da Radiação Eletromagnética Ionizante com a Matéria	33
3.4.2	Interação da Radiação Alfa com a Matéria	35
3.4.3	Interação da Radiação Beta com a Matéria	36
3.5	Meia Vida de um Radionuclídeo	37
3.6	Atividade de uma Amostra	39
3.7	Unidades e Grandezas de Radiação	39
3.8	Outras considerações sobre radioatividade	41
3.8.1	Radiação em Todo Lugar	41
3.8.2	Astrofísica Nuclear	41
3.8.3	Radionuclídeos Primordiais, Cosmogênicos e Antropogênicos.	42
3.8.4	Fontes de Radiação Natural	42
3.9	Detecção de radiação	45
4	DETETOR DE RADIAÇÃO GAMA UTILIZANDO SENSOR DE IMAGEM CMOS 47	
4.1	Fotodiodos	47
4.2	Sensor de Imagem CMOS	49
4.3	Formação de uma Imagem Digital	52
4.4	Uso de Sensor de Imagem CMOS para Detecção de Radiação Gama	54
4.5	Detectando Radiação Gama com Sensor de Imagem CMOS	54

5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	64
5.1	Tipo de pesquisa.....	64
5.2	Local e sujeitos da pesquisa	65
5.3	Sequência Didática e sua realização	66
5.4	Desenvolvimento da Sequência Didática	70
5.5	1º Semana da Sequência Didática.....	70
5.6	2º Semana da Sequência Didática.....	70
5.7	3º Semana da Sequência Didática.....	73
5.8	4º Semana da Sequência Didática.....	76
5.9	5º Semana da Sequência Didática.....	79
5.10	6º Semana da Sequência Didática	81
6	RESULTADOS	90
6.1	Breve Introdução.....	90
6.2	Pré-análise.....	90
6.3	Exploração do Material	91
6.4	Tratamento dos Resultados Obtidos e Interpretação	91
6.5	Análise das Reações dos Alunos Durante o Desenvolvimento da Sequência Didática	92
6.5.1	Análise das Atividades da Primeira Semana.....	92
6.5.2	Análise das Atividades da Segunda Semana.....	94
6.5.3	Análise das Atividades da Terceira Semana	95
6.5.4	Análise das Atividades da Quarta Semana	96
6.5.5	Análise das Atividades da Quinta Semana.....	96
6.5.6	Análise das Atividades da Sexta Semana	97
6.6	Respostas ao Questionário Sobre as Atividades Realizadas	98
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	105
	REFERÊNCIAS	107
	APÊNDICE A – FONTE RADIOATIVA DE AMERÍCIO-241	112
	APÊNDICE B – EXPERIMENTO: DETECÇÃO DE RADIAÇÃO IONIZANTE POR DISPARO DE CENTELHA	114
	APÊNDICE C – AREIA MONAZÍTICA DE GRARAPARI (ES).....	118
	APÊNDICE D – SOFTWARE PARA CAPTAÇÃO E TRATAMENTO DAS IMAGENS DA WEBCAM.....	120
	APÊNDICE E.....	152
	PRODUTO EDUCACIONAL	152
2.	RADIAÇÕES.....	8
2.1.	Radiação Ionizante e Não Ionizante	9
2.2.	Átomos Radioativos	10

2.3. Decaimento Alfa, Beta e Gama.....	11
Decaimento Alfa.....	11
Decaimento Beta.....	12
Decaimento Gama	13
Interação da Radiação Eletromagnética Ionizante com a Matéria.....	14
Interação da Radiação Alfa com a Matéria.....	17
Interação da Radiação Beta com a Matéria.....	18
2.5. Meia Vida de um Radionuclídeo	19
Atividade de uma Amostra.....	21
2.6. Unidades e Grandezas de Radiação	21
2.7. Alguns tópicos sobre radioatividade.....	23
Radiação em Todo Lugar	23
Astrofísica Nuclear	24
Radionuclídeos Primordiais, Cosmogênicos e Antropogênicos.	24
Fontes de Radiação Natural.....	25
2.8. Detecção de radiação	28
3. Detector de radiação gama utilizando sensor de imagem CMOS	29
Fotodiodos.....	29
3.1. Sensor de Imagem CMOS.....	32
3.3 Uso de Sensor de Imagem CMOS para Detecção de Radiação Gama.....	36
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	47
4.1. Sequência Didática e sua realização	47
4.2 Desenvolvimento da Sequência Didática	52
1º Semana da Sequência Didática	52
2º Semana da Sequência Didática	52
3º Semana da Sequência Didática	54
4º Semana da Sequência Didática	57
5º Semana da Sequência Didática	60
6º Semana da Sequência Didática	62
REFERÊNCIAS	72
APENDICE A.....	76
FONTE RADIOATIVA DE AMERÍCIO-241.....	76
FONTE RADIOATIVA DE AMERÍCIO-241.....	77
APÊNDICE B.....	79
EXPERIMENTO: DETECÇÃO DE RADIAÇÃO IONIZANTE POR DISPARO DE CENTELHA.....	79
apêndice C	83

“A ciência é, portanto, uma perversão de si mesma, a menos que tenha como fim último, melhorar a humanidade”

Nikola Tesla

1 INTRODUÇÃO

A palavra “Física” vem do grego e significa natureza (LATTES,2001). Neste sentido, estudar física é estar mais próximo de compreender o mundo em que se vive e de explorar este conhecimento a seu favor, seja através da tecnologia, tão presente no nosso dia-a-dia, seja para satisfazer indagações próprias do ser humano.

O estudo da radiação como base para o entendimento de alguns equipamentos utilizados para diagnóstico e tratamento médico, por exemplo, aproxima o aluno de um melhor entendimento da natureza, fazendo com que esse conteúdo seja significativo para ele.

A introdução de experimentos em sala de aula facilita o entendimento por parte do aluno, coloca o aluno em uma posição mais ativa em sala de aula e instiga seu espírito investigativo (BACICH, 2021).

A escolha do tema Física Moderna, em detrimento dos demais temas, deve-se ao entendimento da grande importância que este conteúdo alcança em nossa sociedade atual e da pouca presença de experimentos de esta área de Física, em sala de aula (MESQUITA, 2011). Como exemplo da tecnologia em nossa vida temos a eletrônica de semicondutores que tem enorme importância na economia mundial.

Este conteúdo também está presente na vida de um adolescente, como uso de computadores, celulares, internet e filmes de ficção científica. Isto permite que o professor tenha uma oportunidade para abordar temas de interesse e relevância para o aluno adolescente, facilitando o processo de ensino-aprendizagem.

A motivação na escolha pelo experimento *Deteção de Radiação Ionizante por Sensor Digital CMOS de Câmera Fotográfica* se deve à possibilidade de conceber um experimento de Física Moderna que pode ser realizado em sala de aula. Um diferencial deste experimento é que os experimentos de detecção de radiação ionizante realizados em sala de aula se restringem ao uso de câmera de nuvens, ou de contador Geiger-Müller, mas apresentam algumas dificuldades para serem

levadas para sala de aula pelo custo de um contador Geiger–Müller e no caso da câmara de nuvens, por necessitar de gelo seco (LAGANÁ, 2011).

O experimento com sensor de câmara digital prima pela simplicidade e mostra de maneira muito didática o uso de sensores para detecção de radiação ionizante. Os materiais necessários para a confecção deste experimento são de baixo custo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral é analisar como a confecção de um experimento de baixo custo a ser realizado em sala de aula para turmas do ensino médio, pode complementar a teoria do ensino de Física Moderna.

2.2 Objetivo Específico

- Mostrar aos alunos que é possível detectar a presença de radiações por meio de um experimento simples;
- Envolver o aluno em uma atividade de física moderna da forma como indicada na teoria construtivista;
- Utilizar a experimentação como ferramenta para a aprendizagem do conteúdo “Radiações ionizantes”.

Esta dissertação é apresentada por meio de capítulos, começando por uma breve descrição dos referenciais teóricos que nortearam a pesquisa, continuando com a apresentação dos conhecimentos e conteúdos necessários aos professores que farão uso desta dissertação, para finalmente apresentar as atividades e metodologias empregadas ao decorrer da pesquisa terminando com os resultados obtidos e considerações finais.

O referencial e a organização das atividades que seriam desenvolvidas foram realizadas no período de pandemia, sendo que as atividades com alunos foram realizadas no primeiro semestre de 2022, tomando todas as precauções necessárias devido ainda a presença do COVID. O retorno a atividades presenciais foi difícil pois atividades de leitura e exercícios não tinham atrativo nenhum para eles.

“A ciência é, portanto, uma perversão de si mesma, a menos que tenha como fim último, melhorar a humanidade”.

Nikola Tesla

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste texto são apresentadas as ferramentas teóricas em que se baseia a pesquisa aqui apresentada, de forma breve e tentando ser fácil de entender, começando por elucidar o que seria aprendizagem significativa. Uma colocação de Batista e col. (2009), nos leva a refletir sobre a aprendizagem memorística,

Os alunos têm o papel de ouvintes e, na maioria das vezes, os conhecimentos transmitidos pelos professores não são realmente absorvidos por eles, são apenas memorizados por um curto período e, geralmente, esquecidos posteriormente, comprovando a não ocorrência de um aprendizado significativo. (BATISTA e col. 2009, pag. 44).

Então, os autores nos remetem a dois problemas que geralmente ocorrem no ensino: a transmissão de conhecimentos, sem um contexto real e uma memorização de conceitos, que logo serão esquecidos. De aqui a importância de uma aprendizagem significativa, ou seja, uma aprendizagem que resulte de experiências e conhecimentos anteriores e que servem de âncora para novos conhecimentos dos alunos.

2.1 Teoria da Aprendizagem Significativa

Não é o intuito deste item fazer uma análise aprofundada da Teoria da Aprendizagem Significativa, proposta por David Ausubel em 1982, mas apresentar as principais características desta teoria e sua relação com esta pesquisa.

A Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), é uma teoria fundamentada na psicologia cognitivista.

Segundo Moreira,

A aprendizagem significativa caracteriza-se pela interação entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio. Nesse processo, que é não-literal e não arbitrário, o novo conhecimento adquire significados para o aprendiz e o conhecimento prévio fica mais rico, mais diferenciado, mais elaborado em termos de significados, e adquire mais estabilidade. (MOREIRA, 2000, p. 3).

A relação entre o novo conhecimento e o conhecimento já presente na estrutura cognitiva daquele que aprende, chamado de conhecimento prévio, é a diferença entre a TAS e a aprendizagem mecânica ou memorística. A TAS colocado por Souza (2011), pressupõe que:

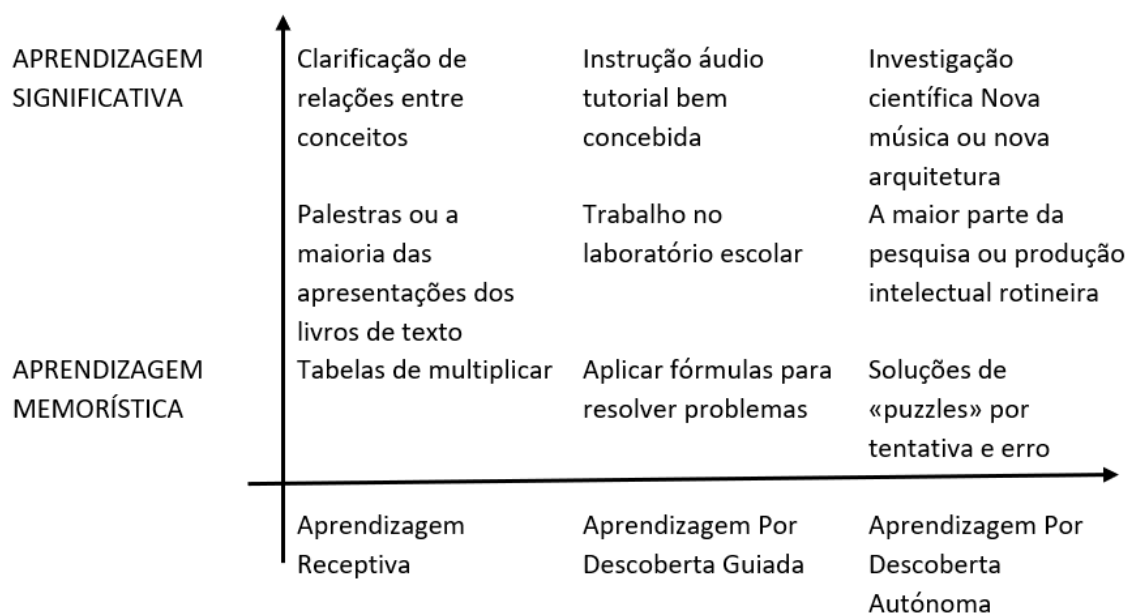
a) O material a ser aprendido seja potencialmente significativo para o aprendiz, i.e., relacionável a sua estrutura de conhecimento de forma não arbitrária e não-literal (substantiva);

b) O aprendiz manifeste uma disposição de relacionar o novo material de maneira substantiva e não-arbitrária a sua estrutura cognitiva (MOREIRA; MASINI, 1982, p. 14)

Na aprendizagem mecânica a aprendizagem se dá “com pouca ou nenhuma associação com conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva” (MOREIRA; MASINI, 1982). A aprendizagem significativa e a aprendizagem mecânica não constituem uma oposição entre si. Ambas podem aparecer durante os mesmos processos de ensino e de aprendizagem, em situações que se aproximam mais de uma ou de outra. Essa é a ideia de um *continuum*, na qual estão localizados esses dois tipos de aprendizagem, conforme Ausubel e col. (1978).

A Figura 1 apresenta um gráfico proposto por Novak (1996), que ilustra a diferença e a continuidade entre esses tipos de aprendizagem. A “variação do tipo de aprendizagem está representada desde a quase memorística até à altamente significativa” e desde a aprendizagem receptiva, onde a informação acabada é apresentada diretamente ao aprendiz, até a aprendizagem por descoberta (NOVAK, 1996, p.23).

Figura 1 – Apresentação da variação da aprendizagem memorística até a significativa proposta por Novak (1996).



Fonte: Novak (1996, p.24).

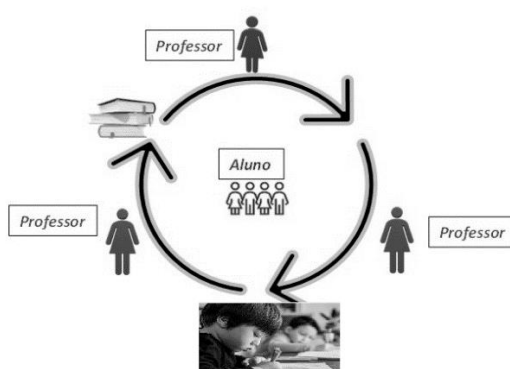
Sobre o gráfico da Figura 1 o autor comenta:

A aprendizagem receptiva e por descoberta formam um contínuo distinto do que é composto pela aprendizagem memorística e significativa. Mostram-se formas típicas de aprendizagem para se ilustrar onde encaixam na matriz as diferentes atividades representativas destes tipos de aprendizagem. (NOVAK, 1996, p.24).

Neste contexto, atividades experimentais podem proporcionar ao aluno melhor conhecimento sobre um assunto visto de forma teórica e, desta forma, poderemos ter uma aprendizagem significativa, visto a sequência de atividades antes da experimentação. Autores como Guimarães (2009), Seré, Coelho e Nunes (2003), lembram que no laboratório se formam grupos, se faz trabalhos colaborativos, se faz uma reflexão e discussão sobre um dado experimento, o que propicia uma aprendizagem significativa, pois aproxima os alunos entre si e, ainda permite uma relação mais direta entre eles e o professor. Em todo processo de aprendizagem significativa, o professor é fundamental para encaminhar e supervisionar os alunos nas diferentes atividades, atividades chamadas de mediação por Ausubel, (GUIMARÃES, 2009).

Nesta pesquisa serão utilizadas ferramentas, que quando combinadas, juntas levam os alunos a uma aprendizagem significativa, como apresentado na Figura 2, na qual se pode observar os alunos como centro da aprendizagem, o professor mediador do processo e a tecnologia sendo utilizada como ferramenta na experimentação.

Figura 2 – Relação entre professor, aluno e atividades no processo de aprendizagem significativa.



Fonte: Autor

2.2 A Importância da Experimentação

Analizando artigos sobre as atividades experimentais se chega a um consenso: se trata de uma atividade importante a ser desenvolvida para facilitar o aprendizado de conceitos teóricos, além de contribuir para o questionamento, curiosidade, ajudar no desenvolvimento de habilidades e questionamento da ciência.

Pesquisadores como Seré, Coelho, Nunes, (2003), Batista e Fusinato (2009), ressaltam a importância da experimentação não só como atividade complementar à atividade teórica, mas, como atividade que auxilia o aluno na tomada de decisões e no desenvolvimento da sua curiosidade sobre o fato da ciência ser uma produção da inteligência humana. Desta forma as atividades em sala de aula tendo o aluno como simples espectador tem como consequência a falta de sentido e desinteresse por parte deste (GUIMARÃES, 2009). Segundo o autor anteriormente citado:

No ensino de ciência, a experimentação pode ser uma estratégia eficiente para a criação de problemas reais que permitam a contextualização e o estímulo de questionamento de investigação. Nesta perspectiva, o conteúdo a ser trabalhado caracteriza-se como resposta aos questionamentos feitos pelos educandos durante a interação com o contexto criado. (GUIMARÃES, 2009, p.198).

Seré, Coelho e Nunes (2003), relatam sobre a experimentação,

Assim ao resolver um problema aplicando as leis de Newton, geralmente, encontra-se um único resultado. Ao contrário, ao pedir ao aluno que meça um parâmetro, o professor tenta fazê-lo perceber que o resultado é uma informação, um meio de comunicação entre duas pessoas, duas comunidades e que ele vai julgar esse parâmetro sem ter que fornecer um único resultado (SERÉ e col., 2003, p.31).

Seguindo o mesmo raciocínio anterior, para anunciar as ferramentas que permitem estabelecer um elo entre os conceitos e a tecnologia, nos remete à fala de Martinazzo et. al. (2014),

A importância e a presença, quase onipresente, da tecnologia e da informação no cotidiano da maioria das pessoas são inquestionáveis. A questão é: o quanto estão os professores preparados para enfrentar uma realidade mutante do ponto de vista tecnológico e comportamental? (MARTINAZZO et. al., 2014, p. 22).

Da experiência em sala de aula e comentários de outros professores, podemos dizer que os alunos não gostam mais de aulas expositivas e os professores diante deste contexto se encontram de mãos atadas, pois não têm arcabouço para utilizar a tecnologia nas aulas de física.

Na tese de doutorado de José Pedro Alves Filho, intitulada “Atividades experimentais: do método à prática construtivista” (ALVES FILHO, 2000), o autor analisa o laboratório didático como instrumento de ensino. Inicia fazendo uma análise histórica do uso de laboratório no Brasil e suas vantagens atuais:

- O laboratório vem como oposição ao ensino de Física centrado na memorização, com um resultado mais empírico,
- Permite à confrontação do conhecimento científico frente ao conhecimento vulgar.
- Fortalece o que denominamos de método científico, algo verdadeiro que pode ser reproduzível por outros.
- Implica, também, na possibilidade de transformar o experimento em um produto útil à sociedade (ALVES, 2000).

O autor discorre sobre o conceito de Transposição Didática, onde, resumidamente, o “saber sábio” é transformado em “saber ensinado”, ou seja:

→ objeto do saber → objeto a ensinar → objeto ensinado

O objetivo é transformar o saber sábio em material “ensinável”.

Alves (2000), também descreve e analisa os diferentes tipos de laboratório, a saber:

- Laboratório de Demonstrações
- Laboratório Tradicional
- Laboratório Biblioteca
- Laboratório “Fading”
- Laboratório Prateleira de Demonstração
- Laboratório Circulante
- Laboratório de Projetos
- Laboratório Divergente
- Laboratório Programado

As grandes conquistas da humanidade foram obtidas conversando, e as grandes falhas pela falta de diálogo.

Stephen Hawking

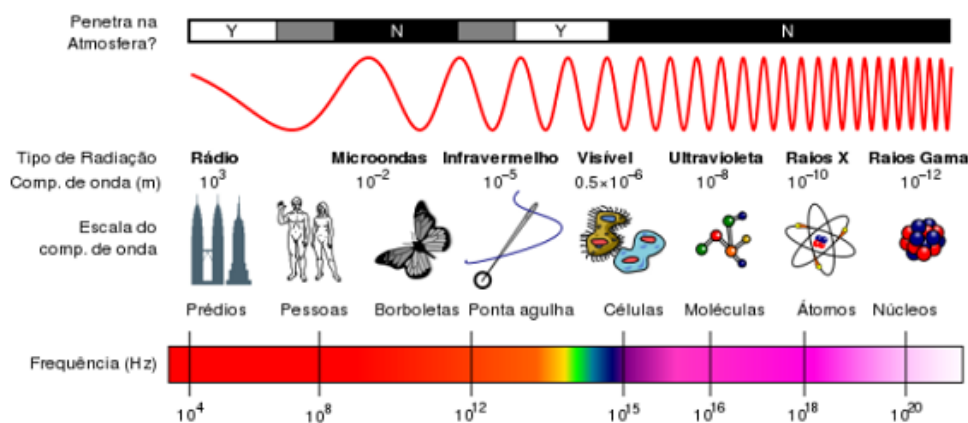
3 RADIAÇÕES

O conteúdo radiações

Radiação é toda energia ou partícula que se propaga de um ponto para outro, como por exemplo, a luz, micro-ondas, prótons, elétrons, raios X etc. Pode ocorrer na forma corpuscular (partículas subatômicas) ou na forma de energia (ondas de natureza eletromagnética) e, segundo intensidade, pode ser ionizante ou não ionizante (MAMEDE,2019). A Figura 3 apresenta o espectro eletromagnético. Nela podemos visualizar os diferentes tipos de radiação e dada sua frequência podem ser classificadas em não ionizantes, visível e ionizantes.

As radiações podem ter origens em fontes naturais ou artificiais. O presente trabalho procura apresentar alguns experimentos sobre detecção da radiação ionizante.

Figura 3 – Espectro eletromagnético.



Fonte: <https://pt.khanacademy.org/science/9-ano/materia-e-energia-as-ondas>

3.1 Radiação Ionizante e Não Ionizante

A radiação ionizante é aquela que possui energia suficiente para arrancar um elétron de um átomo tornando-o em um cátion (átomo com carga positiva), e são classificadas como radiações de alta energia (DEYLLLOT, 2015). A radiação ionizante se apresenta na forma corpuscular, como as partículas alfa e beta, e na forma de ondas eletromagnéticas como os radiação gama e raios X.

Quando a radiação que incide em um átomo não possui energia suficiente para arrancar um de seus elétrons é dito que esta radiação é não ionizante. São exemplos de radiação não ionizante o infravermelho, o micro-ondas, a luz visível e ondas de rádio (DEYLLLOT, 2015). Também, a radiação, segundo Okuno (2018), depende das características do átomo,

A energia de ligação de um elétron a um átomo depende de átomo para átomo. Desse modo uma radiação pode ser ionizante em um meio e não em outro. [...] A Comissão Internacional de Proteção contra Radiação não ionizante considera como radiação ionizante uma onda eletromagnética com comprimento de onda menor que 100 nm, que correspondem a fótons com energia maior que 12 eV, ou seja, fótons de raios X e raios gama (OKUNO, 2018, p.30).

Mesmo sem arrancar um elétron de um átomo a radiação não ionizante pode levar um átomo a um nível de maior energia denominado de excitado. Se a excitação ocorrer na eletrosfera (região onde se localizam os elétrons), o elétron absorve toda energia do fóton (pequenos “pacotes” de energia), e vai para um nível mais alto de energia e posteriormente volta para seu estado fundamental emitindo um fóton. Se a excitação ocorrer no núcleo atômico o núcleo assume um estado de maior energia e posteriormente volta ao seu estado fundamental emitindo o excesso de energia. Outra forma de interação possível da radiação não ionizante, quando a energia é muito baixa para que ocorra a ionização, é elevar a temperatura do corpo com o qual interage (DEYLLLOT, 2015; MAMEDE, 2019).

3.2 Átomos Radioativos

Átomos radioativos, também denominados de radioisótopos ou radionuclídeos, são aqueles que se desintegram (decaem, transmutam) emitindo radiação na forma de partículas subatômicas ou energia. Quando o decaimento ocorre sem influência externa, o processo é denominado de decaimento espontâneo. Átomos com número atômico (número de prótons representado pela letra Z) maior que 83 contêm apenas isótopos radioativos (MAMEDE, 2019).

O modelo atômico atualmente aceito descreve o átomo como sendo constituído de um núcleo, composto de prótons e nêutrons (núcleons), que comporta a maior parte da massa de um átomo, e a região em torno do núcleo denominada de eletrosfera, composta de elétrons. Radiações emitidas por átomos podem ter origem nestas duas regiões, núcleo e eletrosfera (TIPLER e LLEWELLYN, 2014).

Quando a origem da radiação é a eletrosfera, a radiação emitida ocorre na forma de um fóton. O fenômeno foi pela primeira vez explicado por Niels Bohr em 1913 em seu artigo intitulado *Sobre a Teoria Quântica de Espectros de Linhas*, nele, Bohr propunha um modelo atômico, hoje conhecido como átomo de Bohr, onde os elétrons não podiam assumir qualquer órbita e a cada órbita estava associado um diferente nível de energia, o que leva à quantização da energia. Um elétron em um átomo poderia receber energia de uma fonte externa assumindo um estado denominado de excitado, um nível de energia maior, e posteriormente, voltar para o estado anterior com a emissão desta diferença de energia entre estes dois estados na forma de um fóton (ROCHA e col., 2011; TIPLER e LLEWELLYN, 2014).

Quando a radiação tem origem no núcleo do átomo a sua ocorrência pode ser na forma de um fóton ou na forma de partículas subatômicas, e assim como ocorre na eletrosfera em que a energia é quantizada, o mesmo ocorre com fótons emitidos pelo núcleo. Deve-se observar que fótons com origem no núcleo tem uma ordem de energia de MeV (mega elétron-volt) enquanto fótons com origem na eletrosfera tem energia na ordem entre eV e keV (BAUER e col., 2013).

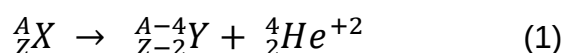
3.3 Decaimento Alfa, Beta e Gama

A maioria dos decaimentos ocorrem nos modos denominados de decaimento alfa, beta e gama. É importante observar que todos os processos de decaimentos obedecem ao princípio mais fundamental da física que são as leis de conservação da massa–energia relativística, carga elétrica, momento angular, momento linear e dos números quânticos (ABDALLA, 2006; TIPLER e LLEWELLYN, 2014).

No núcleo ocorrem transmutações que podem ser na forma de partícula alfa (α) para o decaimento alfa, ou a emissão de um pósitron (decaimento β^+) ou elétron (decaimento β^-) para o decaimento beta. Já no decaimento gama (γ) o núcleo passa de um estado excitado para não excitado com a emissão de um fóton de alta energia (γ) sem a transmutação do núcleo (BAUER e col., 2013).

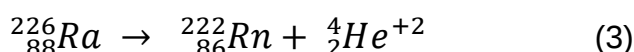
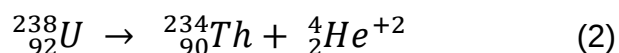
3.3.1 Decaimento Alfa

No decaimento alfa o núcleo emite uma partícula alfa, símbolo α , composta por dois prótons e dois nêutrons. A composição da partícula alfa é a mesma do núcleo do átomo de hélio (dois prótons e dois nêutrons). Como cada próton possui carga elétrica $+e$, (onde $e = 1,602 \times 10^{-19}$ C) a carga elétrica total é $+2e$. Sua emissão é explicada pela mecânica quântica em um processo denominado de tunelamento (TIPLER e LLEWELLYN, 2014). Neste processo o núcleo do radioisótopo (antes da transmutação) é denominado de núcleo–pai e o núcleo resultante da transmutação, é denominado de núcleo–filho. O esquema de decaimento alfa está representado na Equação (1):



onde X é o núcleo–pai e Y é o núcleo–filho, A representa o número de massa (número de prótons mais número de nêutrons) e Z representa o número atômico (número de prótons). O núcleo filho tem dois prótons e dois nêutrons a menos que o núcleo–pai que estão na partícula alfa (núcleo de hélio, He) e o sobrescrito $+2$ (He^{+2})

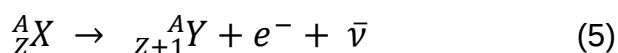
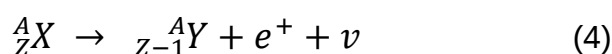
deve-se ao fato que o hélio possui uma carga elétrica $+2e$, ou seja, é um cátion. Como exemplos do decaimento alfa tomemos o caso do $^{238}_{92}\text{U}$ (urânio-238) e do $^{226}_{88}\text{Ra}$ (rádio-226) representados nas Equações (2) e (3).



Com muita frequência após um decaimento alfa ou beta o núcleo é deixado em um estado excitado e decai em seguida, para um nível de energia mais baixo com a emissão de um fóton de alta energia, este processo é denominado de decaimento gama (SERWAY e JEWETT, 2004).

3.3.2 Decaimento Beta

No decaimento beta, símbolo β , podemos ter duas situações, a emissão de um pósitron (decaimento beta-mais, símbolo β^+) mais um neutrino (símbolo ν) conforme mostrado na Equação (4) ou um elétron (decaimento beta-menos, símbolo β^-) mais um antineutrino (símbolo $\bar{\nu}$) conforme o esquema mostrado na Equação (5).

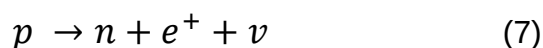


O pósitron, símbolo e^+ , emitido no decaimento β^+ , é a antipartícula do elétron, com a mesma massa que o elétron, porém, com uma carga elétrica positiva ($+e$, onde

$e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$), a mesma do próton. Dentro do núcleo ocorre a transmutação de um nêutron em um próton e um elétron conforme o esquema da Equação (6).

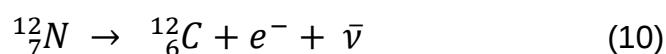
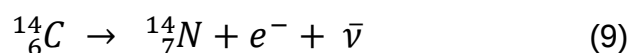


Para o decaimento beta–mais, dentro do núcleo, ocorre a transmutação de um próton em um nêutron mais um pósitron conforme esquema da Equação (7).



O neutrino (símbolo ν da letra grega *nu*) é uma partícula de carga elétrica nula e com uma massa extremamente baixa que interage fracamente com a matéria, sua existência foi proposta em 1930 por Wolfgang Pauli para explicar as diferentes velocidades com que os elétrons e pósitrons eram emitidos durante o decaimento beta e para evitar que lei de conservação do momento angular fosse violada (HALLIDAY e col., 2016; TIPLER e LLEWELLYN, 2014).

Nos esquemas das Equações (9) e (10) temos dois exemplos de decaimentos beta.



3.3.3 Decaimento Gama

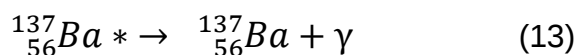
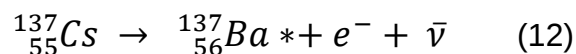
Conforme citado anteriormente, com muita frequência após um decaimento alfa ou beta o núcleo é deixado em um estado excitado e decai em seguida, para um nível de energia mais baixo com a emissão de um fóton de alta energia sem que ocorra a transmutação do núcleo, este processo é denominado de decaimento gama (TIPLER e LLEWELLYN, 2014).

O estado excitado é representado por uso de um asterisco (*) conforme esquema da Equação (11) representando o decaimento gama:



Os níveis de energia do núcleo são quantizados (assim como na eletrosfera) sendo a diferença de energia entre os níveis permitidos da ordem de MeV, ou seja, a radiação gama emitida é de alta energia.

O exemplo seguinte representado pelas Equações (12) e (13) descreve o cério-137 que pelo decaimento beta transmuta em bário-137 no estado excitado e em seguida o bário-137 através do decaimento gama sai do estado excitado para o estado fundamental.



O elétron e o pósitron no decaimento beta podem ser representados em algumas literaturas por ${}^0_{-1}\beta$ para o elétron e ${}^0_{+1}\beta$ para o pósitron (DEYLLLOT, 2015; SERWAY e JEWETT, 2004).

3.4 Interação da Radiação com a Matéria

As radiações na forma de corpúsculos e na forma de ondas eletromagnéticas interagem de formas diferentes com a matéria.

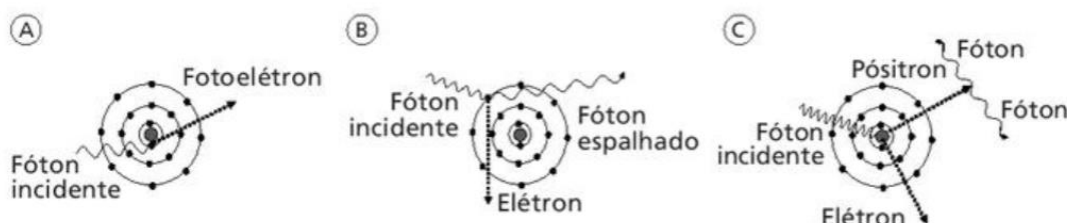
Todo feixe de partículas sem carga, assim como as ondas eletromagnéticas, possui certa probabilidade de atravessar um meio material sem sofrer nenhuma interação, portanto, sem perder nenhuma energia, enquanto uma partícula sofre colisões em um meio, perdendo energia gradativamente. Do ponto de vista da partícula, ela perde energia, mas, do ponto de vista do meio, ali ocorre deposição de energia (NOVAK, 2018, p.31)

3.4.1 Interação da Radiação Eletromagnética Ionizante com a Matéria

As três principais formas de interação de ondas eletromagnéticas com a matéria são apresentadas na Figura 4:

- Efeito fotoelétrico: um fóton interage com elétrons das camadas, geralmente das camadas K e L da eletrosfera, com energia suficiente para ejetar este elétron do átomo.
- Efeito Compton: um fóton interage com um elétron da camada mais externa da eletrosfera desviando de sua trajetória transferindo apenas parte de sua energia.
- Produção de pares: a interação ocorre com o forte campo elétrico no núcleo ou com qualquer elétron do átomo resultando na criação de um par pósitron-elétron.

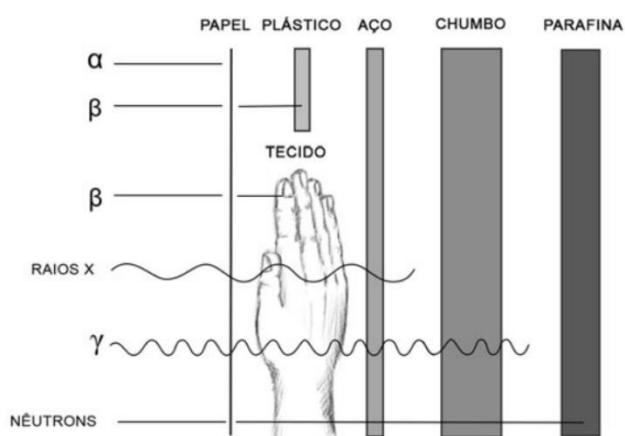
Figura 4 – Efeito fotoelétrico (A), Efeito Compton (B) e produção de pares (C).



Fonte: OKUNO (2018, p. 36)

A forma com que a radiação eletromagnética ionizante interage com a matéria – efeito fotoelétrico, efeito Compton ou produção de pares – depende da sua energia (diretamente proporcional à sua frequência) e do número atômico dos átomos do meio com quem irá interagir, o que implica em maior ou menor poder de penetração conforme ilustrado na Figura 5 onde podemos comparar a penetração dos raios X com relação aos raios gama (OKUNO 2018). A Figura 5 também compara o poder de penetração de diferentes radiações nas formas de partículas e eletromagnética.

Figura 5 – Representação da atenuação da radiação na matéria.



Fonte: MAMEDE (2019, p.18)

No efeito Compton o fóton é totalmente absorvido transferindo parte de sua energia para o elétron que por sua vez emite um novo fóton com menor energia que o fóton incidente. A produção de pares só ocorre para ondas eletromagnéticas (fóton) com energias maiores que 1.022 keV, e se a interação ocorre com um elétron do átomo, e não com o núcleo, este é ejetado juntamente com os pares elétron–pósitron (MAMEDE, 2019; NOVAK, 2018; OKUNO, 2018). Conforme esclarece Okuno (2018), sobre a probabilidade de ocorrência do efeito fotoelétrico,

A probabilidade de ocorrência do efeito fotoelétrico diminui com o aumento da energia E do fóton e aumento com o número atômico Z do absorvedor, sendo proporcional a $Z^{4.5}/E^3$. Assim, a absorção fotoelétrica é alta em ossos do nosso corpo por causa do cálcio, que tem Z de 20, muito mais altos que os números atômicos 1, 6, 7 e 8, respectivamente do hidrogênio, do carbono, do nitrogênio e do oxigênio, os principais elementos que constituem nosso corpo. É por isso que o osso aparece em contraste em relação ao músculo em radiografias: o fóton incidente e o fotoelétrico são absorvidos pelo osso com maior probabilidade e não chegam ao filme radiográfico (OKUNO, 2018, p.36).

A Figura 6 é uma foto comumente mostrada em livros de física, mostra a radiografia tomada por Roentgen da mão esquerda de sua esposa Anna Bertha Ludwig, em dezembro de 1895. Observa-se que seu anel e ossos aparecem mais escuros na radiografia pois o número atômico do metal do anel e do cálcio dos ossos tem maior probabilidade de absorver os raios X.

Figura 6 – Radiografia da mão esquerda da Sra. Anna Bertha Ludwig.



Fonte: OKUNO (2018, p.19)

3.4.2 Interação da Radiação Alfa com a Matéria

De todas as radiações ionizantes, a partícula alfa é a de maior massa (dois prótons e dois nêutrons) e por ser um cátion (dois prótons) interage com as forças coulombianas com vários átomos do meio em que estiver penetrando ao mesmo tempo pois a força elétrica entre cargas elétricas é de longo alcance podendo excitar ou ionizar os átomos do meio (NAMEDE, 2019).

Por ser uma partícula pesada sua trajetória é praticamente retilínea e seu alcance depende do meio e da energia cinética com que foi emitida (NAMEDE, 2019). Devido a estas características ela tem pouca capacidade de penetrar a matéria (PALANDI e col.. 2010). No Quadro 1 se apresentam alguns exemplos do alcance da penetração da partícula alfa para alguns materiais.

Quadro 1 – Penetração da partícula alfa para diferentes materiais.

Ar	Água	Papel	Alumínio	Cobre	Ouro
4 cm	0,0048 cm	0,0034 cm	0,0024 cm	0,001 cm	0,00075 cm

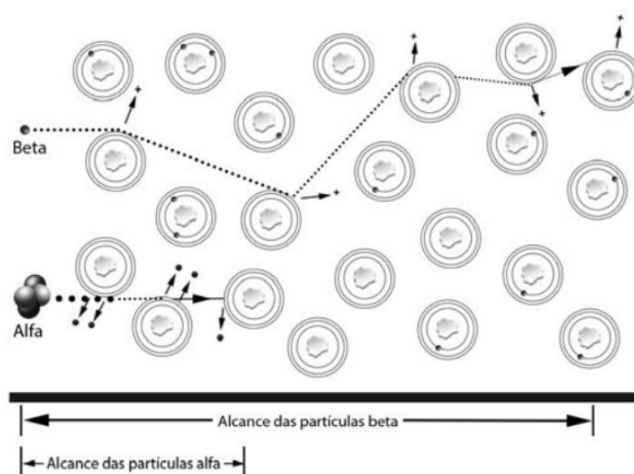
Fonte: Palandi e col. (2010).

Por interagir fortemente com a matéria perde energia rapidamente, portanto, seu poder de penetração na matéria é pequeno sendo facilmente blindada por uma folha de papel. No ar seu alcance é em torno de 5 cm e não oferece perigo ao ser humano quando exposto a uma fonte externa ao corpo pois não consegue ultrapassar a camada morta de pele. Teoricamente, todos com núcleos com número atômico maior que 82 ($Z > 82$) são instáveis em relação ao decaimento alfa, por exemplo, tório, urânio, polônio e o rádio (DEYLLLOT, 2015; MAMEDE, 2019; TIPLER e LLEWELLYN, 2014).

3.4.3 Interação da Radiação Beta com a Matéria

A partícula beta é cerca de 7350 vezes menor que uma partícula alfa, como consequência ao se chocar com átomos os desvios em sua trajetória serão bem maiores que a partícula alfa, conforme ilustrado na Figura 7. Uma partícula de beta de 1 MeV tem um alcance no ar de 420 cm e de aproximadamente 0,5 cm no tecido humano (OKUNO, 2018).

Figura 7 – Alcance e interações das partículas alfa e beta com a matéria.



Fonte: MAMEDE (2019, p.17)

A interação de uma partícula beta–menos (pósitron) com um elétron resulta na emissão de dois fótons com energia de 511keV, processo denominado de aniquilação de pares, quando um elétron interage com sua antipartícula, ou seja, ocorre o processo oposto da produção de pares. Mais penetrante que a radiação alfa, a radiação beta pode ser detida por uma barreira de alumínio ou plástico de poucos milímetros (MAMEDE, 2019).

3.5 Meia Vida de um Radionuclídeo

Ironicamente, o físico Ernest Rutherford e o químico Frederick Soddy se conheceram em uma reunião em que Soddy apresentara um estudo sobre a indivisibilidade de um átomo. Em 1901 Rutherford pede para Soddy investigar o gás produzido (emanado) pelo tório, ao que este descobriu tratar-se de isótopo do radônio. Do trabalho conjunto dos dois surge o conceito de meia vida,

Hoje falamos na meia-vida de um elemento. Por exemplo, o torônio tem uma meia-vida de um minuto, porque nas palavras de Soddy, “Sessenta segundos depois do momento em que começamos a contar, a quantidade de torônio será apenas a metade do que era no momento inicial”. Soddy recorda esses dias como dos mais emocionantes de toda a sua vida, cheios de “intensa exaltação mental”. Com o seu trabalho no desenvolvimento da teoria

da desintegração atômica, as peças da “quebra–cabeças” da radioatividade pouco a pouco iam formando um todo coerente (SMITH, 2008, p.87).

A Equação (14) descreve o número de núcleos radioativos $N(t)$ em função do tempo (t), onde N_0 é o número de átomos radioativos no instante $t=0$, λ é denominada de constante de decaimento e expressa a probabilidade por unidade de tempo de que um radionuclídeo decaia.

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (14)$$

Observa-se então que o número de núcleos radioativos $N(t)$ de uma amostra qualquer diminui exponencialmente em função do tempo conforme mostrado no Gráfico 1. Passado o tempo de meia vida ($T_{1/2}$) a quantidade de núcleos radioativos cai pela metade ($N_0/2$), passado o tempo de duas meias vidas o número de núcleos radioativos cai para ($N_0/4$) e assim por diante (TIPLER e LLEWELLYN, 2014).

Gráfico 1 – Gráfico $N(t)$ exponencial.



Fonte: Autor

O tempo de meia vida de um radionuclídeo pode ser de alguns milissegundos ou dias como o iodo-131, com meia vida de 8 dias, ou bilhões de anos como o urânio-238 com meia vida de $4,47 \times 10^9$ anos.

3.6 Atividade de uma Amostra

Outro parâmetro de interesse quando se trabalha com decaimento radioativo é a taxa de desintegrações dos núcleos por unidade de tempo $R(t)$, denominada de atividade e expressa pela Equação (15), onde R_0 é a taxa de decaimento no instante $t=0$ e, λ é a constante de decaimento (TIPLER e LLEWELLYN, 2014).

$$R(t) = R_0 e^{-\lambda t} \quad (15)$$

3.7 Unidades e Grandezas de Radiação

As principais grandezas físicas para medir radiação são:

- Atividade (A);
- Exposição (R);
- Dose Absorvida (D);
- Dose Equivalente (H);

O nome da unidade de atividade no Sistema Internacional de Unidades (SI) é o becquerel com o símbolo Bq, onde 1 Bq equivale a um decaimento por segundo.

$$1 \text{ Bq} \equiv 1 \text{ decaimento / s}$$

Uma unidade mais antiga é o *curie* (de símbolo Ci), e a equivalência com o becquerel é dada por

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ decaimentos / s} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

A unidade de exposição no SI é o Roentgen (R) e mede a capacidade de ionização para cada quilograma do ar, produzida por radiação ionizante do tipo raio X e raio gama.

$$1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C / kg}$$

Dose absorvida é a quantidade de energia depositada em certa quantidade de massa. No SI é o *Gray* (Gy), definido por,

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J / kg}$$

Antigamente a dose absorvida utilizada era o *rad*, a relação entre rad e Gray é,

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

Dose equivalente (H), Equação (16), expressa o dano biológico produzido nos seres vivos, e depende não só da energia absorvida, mas também pelo tipo de radiação incidente (nêutrons, raios X, radiação gama, beta e alfa). A grandeza dose equivalente (H) é definida pela relação entre Q, a qualidade da radiação, D, a dose absorvida e N o fator de modificação, que para efeito de cálculo é adotado N=1. O nome da unidade é o *sievert* com o símbolo Sv (ROCCA e col., 2022).

$$H = DQN \quad (16)$$

O Quadro 2 informa o valor de Q para cada tipo de radiação e o Quadro 3 a relação entre unidades utilizadas antigamente e as novas unidades

Quadro 2 – Valor de Q para cada tipo de radiação.

Tipo de radiação	Valor de Q
Raios-X	1
Raios gama	1
Partículas beta	1
Elétrons	1
Nêutrons rápidos	10
Prótons	10
Partícula alfa	20
Íons pesados	20

Fonte: DEYLLLOT (2015, p. 72)

Quadro 3 – Antigas e novas unidades de radiação

Grandeza	Unidade antiga	Unidade nova	Relações entre as grandezas
Exposição	roentgen (R)	coulomb/quilograma (C/kg)	1 R = $2,58 \times 10^{-4}$ C/kg ou 1 C/kg = $3,88 \times 10^3$ R
Dose absorvida	rad	gray (Gy)	1 rad = 10^{-2} Gy = 10^{-2} J/kg ou 1 Gy = 1 J/kg = 100 rad
Dose equivalente	rem	sievert (Sv)	1 rem = 10^{-2} Sv = 10^{-2} J/kg ou 1 Sv = 1 J/kg = 100 rem
Atividade	curie (Ci)	becquerel (Bq)	1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ dps = $3,7 \times 10^{10}$ Bq ou 1 Bq = 1 dps = $2,7 \times 10^{-11}$ Ci

Fonte: DEYLLLOT (2015, p. 77)

3.8 Outras considerações sobre radioatividade

3.8.1 Radiação em Todo Lugar

Desde a descoberta dos raios X em 1895 por Wilhelm Conrad Roentgen o ser humano foi evoluindo seu entendimento sobre a radiação e hoje sabemos que a radiação natural está em todo o ambiente em que vivemos, chamamos esta radiação do ambiente de radiação de fundo, ou *background*. Os raios X de Roentgen foram produzidos de forma artificial, porém, todas as formas de radiação (raio X, gama, beta etc.) são produzidas pela natureza e estão presentes no ambiente em que vivemos. As fontes naturais de radiação serão o assunto do presente trabalho (ROCCA e col., 2022).

3.8.2 Astrofísica Nuclear

A maior parte do hidrogênio e hélio do Universo foi criado durante o Big Bang, e elementos mais pesados que o hidrogênio até o ferro são criados por fusão nuclear no interior das estrelas. Os astrônomos acreditam que os elementos mais pesados que o ferro no Sistema Solar foram criados durante a explosão de uma supernova à 5 bilhões de anos (BAUER e col., 2013).

A Terra tem 4,5 bilhões de anos e alguns radioisótopos de meia vida longos ainda podem ser encontrados na natureza como o urânio-238 com meia vida de 4,5 bilhões de anos. Já o urânio-235 com meia vida de 700 milhões de anos também pode ser encontrado na natureza, porém, com apenas 0,7% de abundância isotópica. Interessante notar que a dois bilhões de anos, a abundância do urânio-235 era de 3,8%, um valor maior que o utilizado no urânio enriquecido dos reatores nucleares. Desta forma podemos inferir que o nível de radiação terrestre de origem natural vem diminuindo com o passar dos anos (BAUER e col., 2013; HALLIDAY e col., 2016; OKUNO, 2018).

3.8.3 Radionuclídeos Primordiais, Cosmogênicos e Antropogênicos.

Radionuclídeos como o Urânio-238 que está presente desde a criação do planeta Terra são classificados como radionuclídeos primordiais. Outros exemplos de radionuclídeos primordiais são o Tório-232 com meia vida de 14 bilhões de anos e o potássio-40 com meia vida de 1,28 bilhões de anos (DEYLLLOT, 2015; MAMEDE, 2014).

Radionuclídeos como o carbono-14, hidrogênio-3 (trítio), berílio-7 e sódio-22 que são formados pela ação de prótons e nêutrons dos raios cósmicos ao atingir a alta atmosfera, são denominados de radionuclídeos cosmogênicos. O carbono-14, por exemplo, é formado constantemente pela ação dos raios cósmicos na alta atmosfera ao atingir o núcleo dos átomos de nitrogênio-14 (MAMEDE, 2019; TIPLER e LLEWELLYN, 2014).

Radionuclídeos como o cézio-137 e o iodo-131, produzidos em acidentes com reatores nucleares ou pela explosão de armas nucleares, são denominados de radionuclídeos antropogênicos, ou seja, criados pela ação humana (MAMEDE, 2019).

3.8.4 Fontes de Radiação Natural

Respiramos o gás radônio (^{222}Rn) constantemente, principalmente em ambientes de alvenaria fechados e pouco ventilados onde a concentração é maior. Com meia vida de 3,825 dias o radônio é um gás nobre e naturalmente radioativo que

decai emitindo radiação alfa e gama, sendo, portanto, nocivo à saúde humana. O radônio contribui com 55% da dose anual oriunda de fonte natural, o que corresponde a 2 mSv por ano. O nome radônio deriva do elemento rádio do qual se origina por decaimento alfa (BAUER e col., 2013; DEYLLLOT, 2015; MAMEDE 2019; TOMA, 2013).

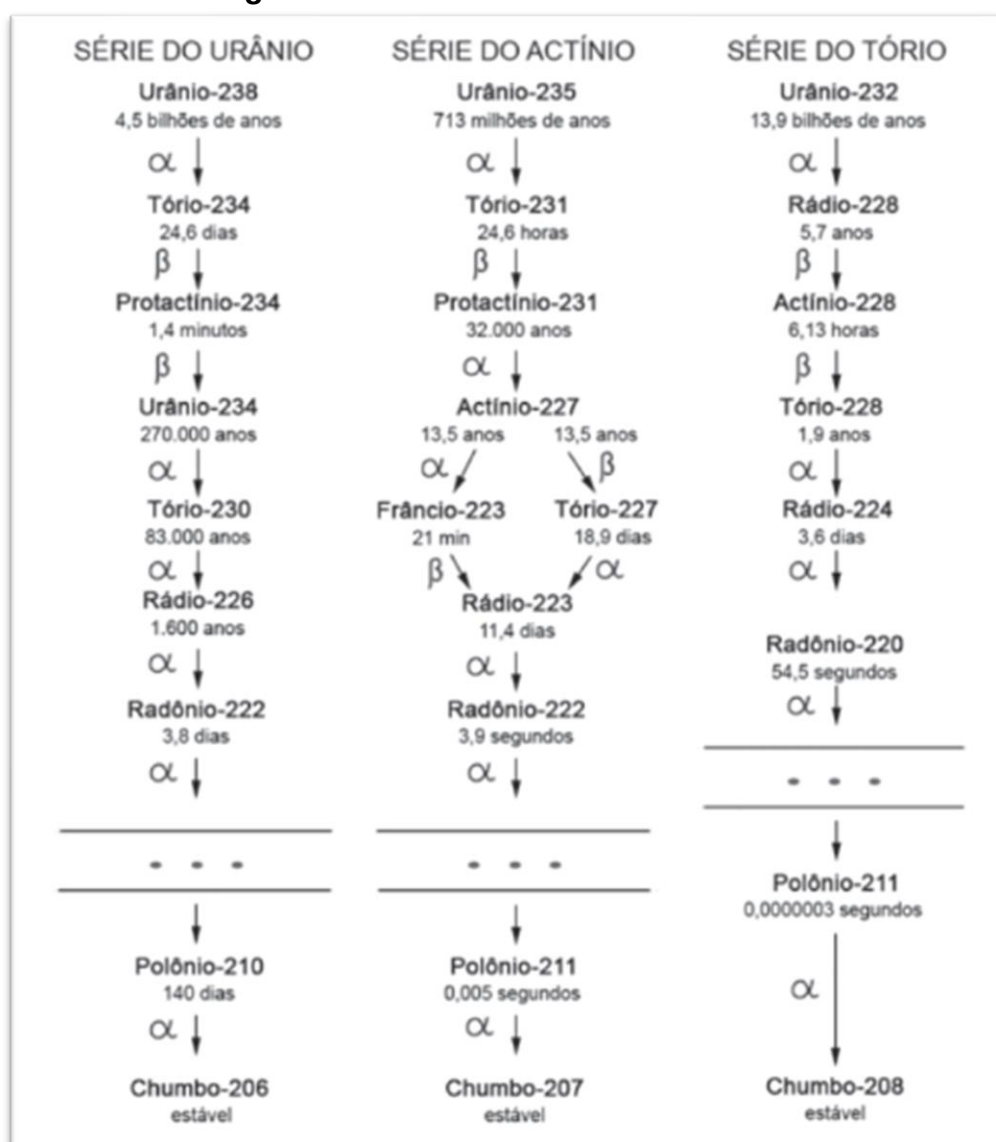
Segundo Mamede (2019),

O ser humano constantemente respira radônio e seus produtos filhos, presentes no ar. No entanto, mais preocupante que a inalação do gás radônio em si, que por ser um gás nobre não permanece nos pulmões e é novamente expelido, são os efeitos dos “filhos” do radônio. Esses radionuclídeos se depositam nas paredes do trato respiratório e continuam decaindo e emitindo suas radiações (MAMEDE, 2019, p. 7).

Os materiais de construção de alvenaria como tijolos, areia, concreto, granito etc. são fontes de radônio, portanto, pessoas que habitam em casas de madeira estão menos expostas à radiação oriunda do radônio (DEYLLLOT, 2015).

Os três radionuclídeos primordiais urânio-238, urânio-235 e urânio-232 decaem em uma sequência de radionuclídeos filhos até o chumbo-206, chumbo-207 e chumbo-208 respectivamente, todos estáveis. Estas sequências de decaimentos são denominadas de séries (ou famílias) radioativas naturais e são mostradas na Figura 8.

Figura 8 – Séries Radioativas Naturais.



Fonte: Adaptado de MAMEDE (2019, p. 8)

Outra importante fonte de radiação natural são os raios cósmicos, oriundos principalmente do Sol, com maior intensidade em grandes altitudes e menor intensidade ao nível do mar pois a atmosfera terrestre atua como uma proteção à radiação cósmica absorvendo esta radiação. Como exemplo, a intensidade da radiação cósmica a 2000 metros de altitude é 2,5 vezes maior que ao nível do mar. Por serem constituídas de partículas carregadas o campo magnético terrestre também atua como uma proteção à radiação cósmica. Pilotos de aviões e moradores de regiões mais altas estão mais expostos a este tipo de radiação.

Alimentos são outra fonte de radiação, o potássio-40, por exemplo, é radioativo e está presente na banana, cenoura e batata com atividade de 120 Bq/kg. O potássio no corpo humano tem uma concentração de 2g por quilograma de músculo, desta forma uma pessoa de 70 kg apresenta uma atividade de 3700 Bq, ou seja, 3700 decaimentos a cada segundo ocorrendo no corpo humano, entendemos então que a radiação além de estar em todo o ambiente está presente também no próprio corpo humano. Outras fontes de radiação presentes no corpo humano são o carbono-14, o hidrogênio-3 (trítio) o rubídio-87 e o rádio-226.

O Quadro 4 mostra as doses efetivas devido à radiação proveniente de fontes naturais.

Quadro 4 – Dose efetiva do público devido à radiação proveniente de fontes naturais

Fontes naturais de exposição	Forma de exposição	Dose efetiva anual (mSv)	
		Média	Intervalo típico
Radiação cósmica	Exposição externa	0,39	0,3-1,0
Radiação terrestre externa	Exposição externa	0,48	0,3-1,0
Radônio (inalação do ar)	Exposição interna	1,26	0,2-10,0
Ingestão de água e alimento	Exposição interna	0,29	0,2-1,0
Total		2,42	1,0-13,0

Fonte: OKUNO (2018, p. 62)

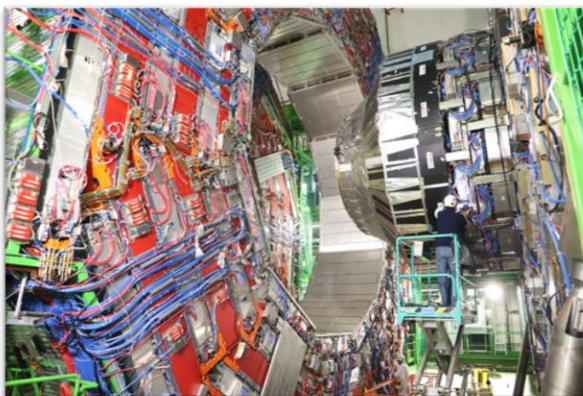
3.9 Detecção de radiação

Para que o ocorra a detecção de radiação é necessário que haja interação da radiação com o material que constitui o detector. Neste processo, havendo energia suficiente, pode ocorrer a ionização de átomos, elétrons são removidos dos átomos produzindo íons. Este tipo de radiação é denominado de radiação ionizante (OKUNO,2018).

As diferentes formas de interação da radiação com a matéria, que levam a diferentes tecnologias de detecção, foram descritas anteriormente e devido às características de cada interação elas podem ser utilizadas em radioproteção, diagnósticos e radioterapia. Por exemplo, nos locais que existem equipamentos que emitem radiação para diagnóstico ou terapia, a pessoa que manipula estes equipamentos deve utilizar um detector que permite medir a radiação recebida em um dado período (MAMEDE, 2019).

Atualmente detectores são utilizados para detectar o produto da interação entre partículas de altas energias, como por exemplo as produzidas no grande Colisor Hádrons ou LHC (Large Hadron Collider) (FOGAÇA, 2022). A Figura 9 mostra uma parte do CERN.

Figura 9 – Experimento CMS do CERN.



Fonte: <https://home.cern/>

*“Não há nada a temer na vida, apenas tratar de compreender.”
Marie Curie*

4 DETETOR DE RADIAÇÃO GAMA UTILIZANDO SENSOR DE IMAGEM CMOS

Sensores de imagens são constituídos basicamente de milhares de sensores ópticos do tipo fotodiodos. Podemos encontrar os sensores de imagens em duas tecnologias:

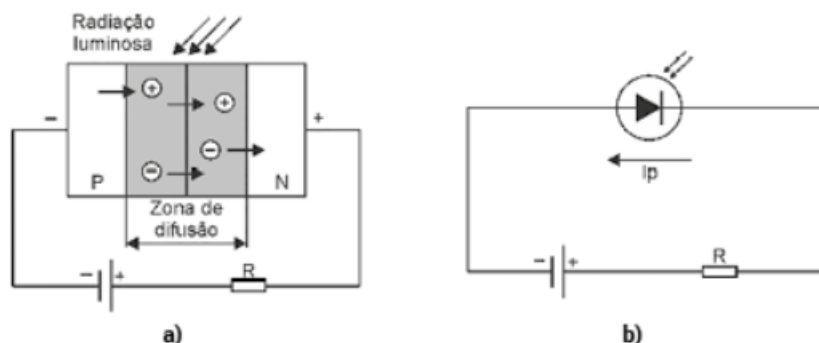
- CCD (Charge–Coupled Device);
- CMOS (Complementary Metal–Oxide Semicondutor);

Sensores de imagens CMOS são os mais utilizados em vários segmentos – celulares, câmeras de vigilância, máquinas fotográficas e outros (THOMAZINI e ALBUQUERQUE, 2020).

4.1 Fotodiodos

Fotodiodo é um diodo de material semicondutor com a região de operação limitada à polarização reversa e com a zona de difusão, também denominada de zona de depleção, exposta à luz conforme ilustrado na Figura 10.

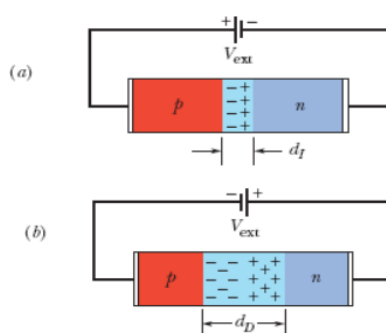
Figura 10 – Estrutura com a configuração de polarização (a) e símbolo e corrente reversa (b).



Fonte: THOMAZINI e ALBUQUERQUE (2020, p. 32)

Quando um diodo é diretamente polarizado a corrente é intensa e a zona de depleção é estreita, quando um diodo é inversamente polarizado a corrente, denominada neste caso de corrente de saturação reversa, é pequena e a região de depleção é larga, conforme mostrado na Figura 11.

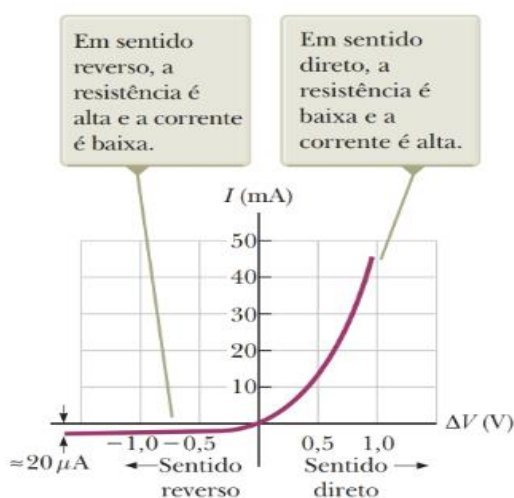
Figura 11 – Zona de depleção quando diodo diretamente (a) e reversamente (b) polarizado.



Fonte: Modificado de HALLIDAY e col. (2016, p. 299)

O Gráfico 2 mostra a corrente de saturação reversa com ordem de grandeza três vezes menor do que quando diretamente polarizado.

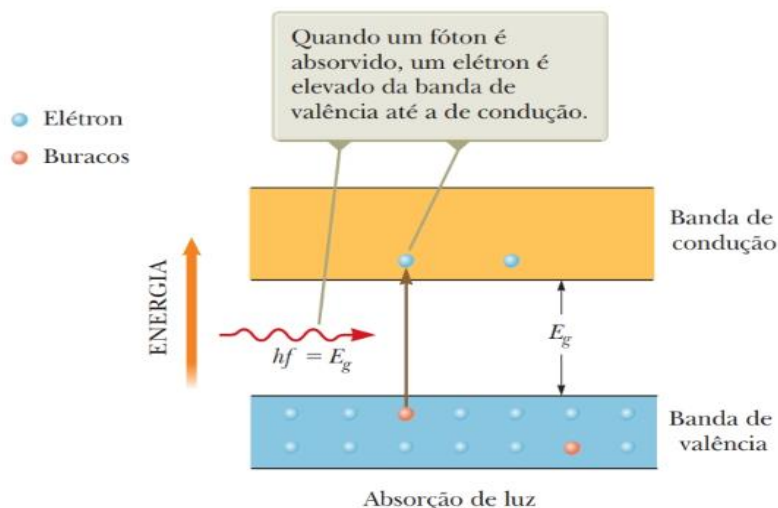
Gráfico 2 – Comportamento da corrente quando diodo é diretamente e inversamente polarizado



Fonte: Modificado de SERWAY e JEWETT (2018, p. 297)

Em um fotodiodo, quando um elétron na banda de valência absorve um fóton este é excitado e levado para a banda de condução o que gera um aumento da corrente reversa, conforme ilustrado na Figura 12 (BOYLESTAD e NASHELSKY, 2004). A Figura 13 ilustra o circuito básico de um sensor CMOS.

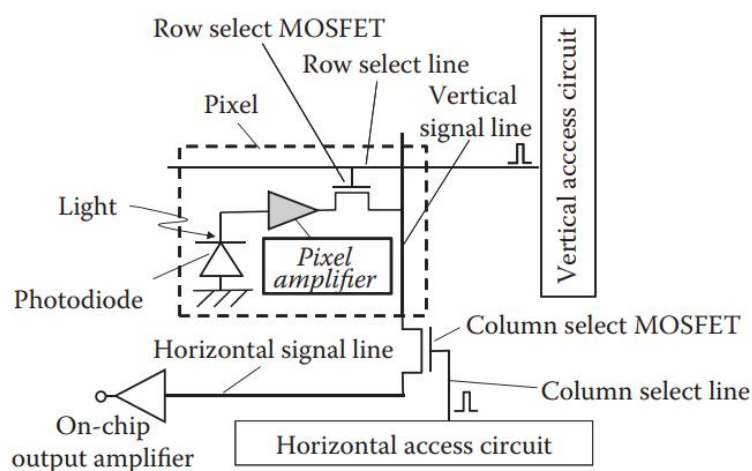
Figura 12 – Absorção de luz por um semiconductor.



Fonte: Modificado de SERWAY e JEWETT (2018, p. 298)

4.2 Sensor de Imagem CMOS

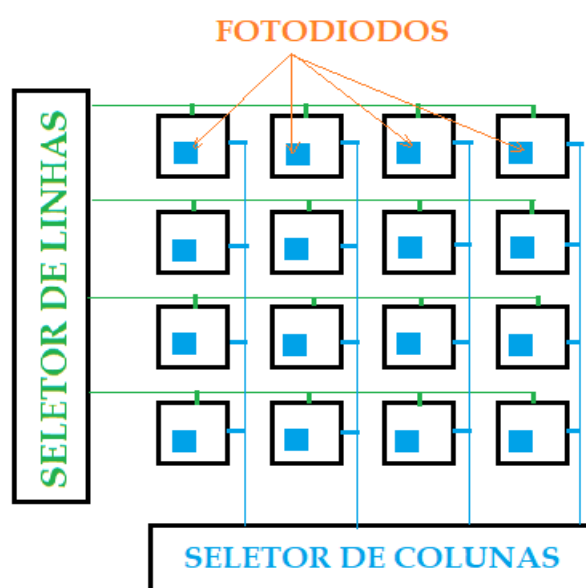
Figura 13 – Configuração básica de um sensor CMOS.



Fonte: Kuroda (2015, p. 84)

O esquema da Figura 13 se repete para todos dos fotodiodos dispostos em linhas e colunas conforme mostrado na Figura 14. Característica importante dos sensores CMOS é a possibilidade de integrar em um mesmo circuito integrados (CI), também conhecido como *chip* os fotodiodos e transistores responsáveis pela amplificação, seleção individual de cada fotodiodo por linha e coluna, interfaceamento com dispositivos externos e outros (VAHID, 2008).

Figura 14 – Arquitetura básica de um sensor CMOS.



Fonte: Adaptado de Kuroda (2015, p. 89)

Atualmente a tecnologia mais amplamente utilizada para a construção de circuitos integrados – analógicos ou digitais – é a tecnologia CMOS (complementary metal–oxide semiconductor) como por exemplo microprocessadores, memórias e outros. "Nesse tipo de circuito, os transistores atuam sempre em pares complementares, isto é, um transistor MOSFET – canal P em conjunto com outro MOSFET – canal N. Isso confere ao circuito maior velocidade e menor dissipação de potência" (MARQUES e col., 2012, p. 345).

A Figura 15 mostra um sensor CMOS com a lente desacoplada o que permite a vista interna do sensor.

Figura 15 – Sensor CMOS OV2640.



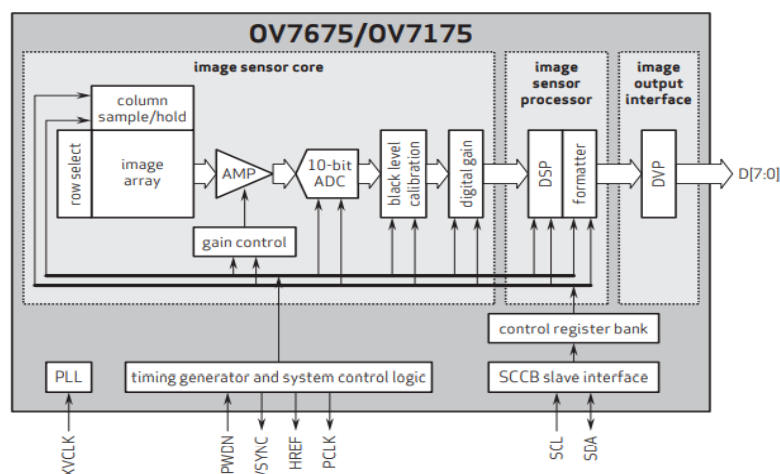
Fonte: Autor

A Figura 16 mostra o esquema básico de um sensor CMOS OV7675 da empresa OmniVision Technologies Inc., divididos em três blocos básicos:

- Image Sensor Core: matriz de fotodiodos é lida selecionando linhas e colunas, o sinal elétrico lido é amplificado e convertido de analógico para digital;
- Digital Signal Processor (DSP): a imagem é tratada em seus parâmetros e convertida do formato *row image* (imagem não compactada e não processada) para o padrão programado (RGB por exemplo);
- Digital Vídeo Port (DVP): responsável pelo interfaceamento entre o sensor CMOS e o dispositivo externo que vai receber a imagem;
-

Figura 16 – o esquema básico de um sensor CMOS OV7675 da empresa OmniVision Technologies Inc.

Functional Block Diagram



Fonte: OmniVision Technologies Inc., disponível em: <https://www.ovt.com/>

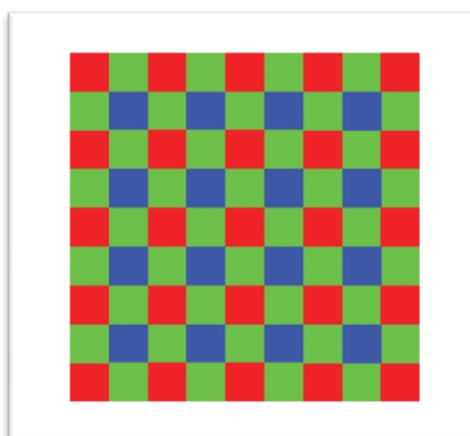
4.3 Formação de uma Imagem Digital

Conforme visto anteriormente sensores de imagens são constituídos basicamente de milhares de sensores ópticos do tipo fotodiodos onde cada fotodiodo responde apenas à intensidade de luz, não à sua cor (comprimento de onda). Imagens formadas apenas pela simples leitura da quantidade de luz captada por cada fotodiodo geraria uma imagem acromática (sem cores) apenas com nível de cinza que vai da maior intensidade, o branco, até a menor intensidade, o preto, passando pelo cinza.

Um sensor de imagem consegue criar uma imagem colorida inserindo um filtro vermelho antes do fotodiodo que irá captar apenas a luz vermelha (*red* em inglês), um filtro antes do fotodiodo que irá captar apenas a luz verde (*green* em inglês) e um filtro azul antes do fotodiodo que irá captar apenas a luz azul (*blue* em inglês). O filtro mais comumente utilizado é o filtro Bayer conforme mostrado na Figura 17.

O filtro de Bayer consiste em linhas de pixels vermelhos e verdes alternados, seguidas por uma linha de pixels alternados em azul e verde. Há mais pixels verdes do que vermelhos ou azuis, já que o olho responde melhor ao verde do que ao vermelho ou ao azul. Um pequeno microprocessador na câmera calcula a melhor cor para cada pixel, baseado na intensidade da luz vermelha, verde e azul que passou pelo filtro de Bayer (BAUER e col., 2013, p.58).

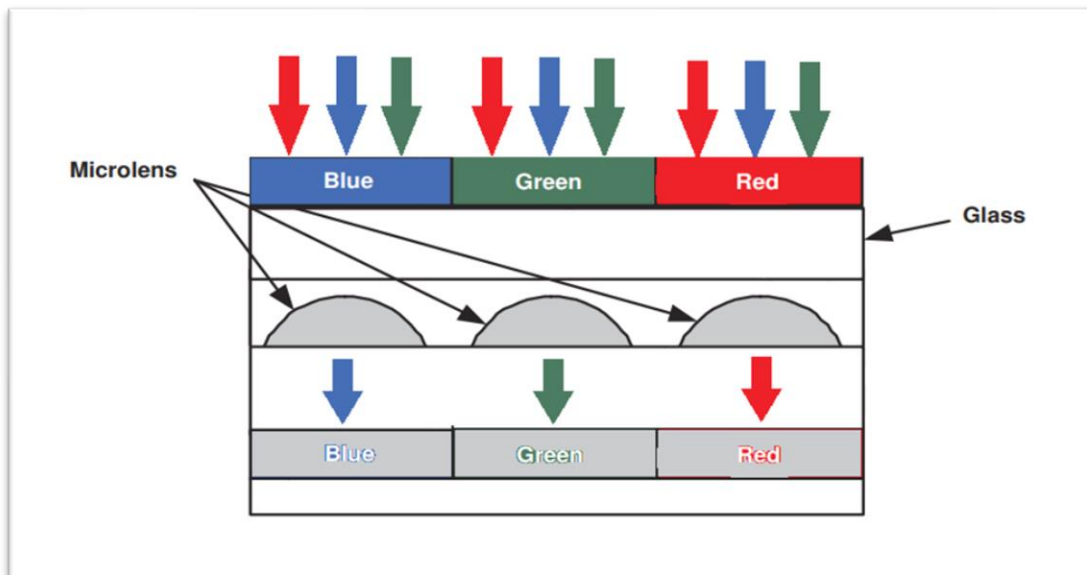
Figura 17 – Filtro Bayer: produz imagens coloridas com sensores digitais.



Fonte: BAUER e col. (2013, p.58)

Abaixo de cada filtro estarão os fotodiodos conforme mostrado na Figura 18.

Figura 18 – Cada fotodiodo capta apenas a cor filtrada.

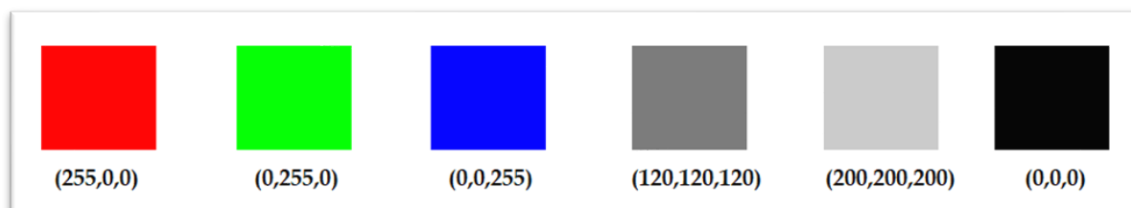


Fonte: Adaptado de OmniVision Technologies Inc., disponível em: <https://www.ovt.com/>

A combinação das três cores primárias vermelho (*red* em inglês), verde (*green* em inglês) e azul (*blue* em inglês) para a formação de cores é denominado de modelo RGB de cores. “Os números de bits utilizado para representar cada pixel em um espaço de RGB é chamado de profundidade de pixel.” (GONZALEZ E WOODS, 2010, p. 345). Se, por exemplo, cada cor primária for representada por um byte de 8 bits, temos 2^8 combinações em oito bits, resultando para cada cor primária 256 valores diferentes. Combinando as três cores primárias temos $256 \times 256 \times 256$ que resulta em 16 milhões de cores diferentes de serem representadas. Neste caso a profundidade do sistema RGB seria de 24 bits.

No sistema RGB de 24 bits quanto maior o valor de cada um dos três bytes mais clara será a cor do pixel “(*pixel* é forma abreviada de ‘picture elements’, elementos de imagem, em inglês)” (VAHID, 2008), conforme exemplo da Figura 19. A branca seria representada por (255,255,255) e a preta por (0,0,0), valores iguais para os três bytes RGB resultam em cor cinza.

Figura 19 – Exemplos de diferentes combinações do sistema RGB de 24 bits.



Fonte: Autor

4.4 Uso de Sensor de Imagem CMOS para Detecção de Radiação Gama

Sensores de imagem CMOS para detectar radiação gama é uma possibilidade já explorada em alguns trabalhos tendo como atrativos o seu baixo custo, baixo consumo e boa resistência à radiação. O princípio básico é o mesmo descrito na captação de luz visível por um fotodiodo onde um elétron na banda de valência capta a radiação ionizante e é elevado para a banda de condução provocando um aumento da corrente reversa (COGLIATI e col., 2014; SHOULONG e col., 2017).

4.5 Detectando Radiação Gama com Sensor de Imagem CMOS

Os dados apresentados neste item, tanto o detector como o software foram construídos para esta pesquisa e mais detalhes destes, para uso de professores que gostariam de reproduzir este experimento, se encontram no site https://github.com/HenriqueCesarFonseca/gamma_detector#readme, de autoria do autor desta pesquisa. Também os materiais utilizados foram adquiridos pelo autor, assim como a iniciativa da construção da atividade.

O objetivo do experimento é didático e prima pela simplicidade e replicabilidade para que um professor de ensino médio possa reproduzir o experimento em sala de aula. Não pretende, portanto, construir um aparelho de medição de dosagem de radiação.

A escolha em utilizar uma Webcam simples para captação das imagens uma vez que normalmente estas são facilmente reconhecidas pelo sistema operacional Windows. A Webcam escolhida é mostrada na Figura 20.

Figura 20 – Webcam escolhida para o experimento.



Fonte: Autor

Principais características da Webcam:

- Sensor de imagem CMOS;
- Frame Rate: 320x240 26 fps / 640x480 16 fps

Com o propósito de descobrir o tipo de radiação detectada pela Webcam a sua lente foi removida conforme mostrado na Figura 21.

Figura 21 – Webcam sem a lente óptica



Fonte: Autor

Para evitar algum curto-circuito com as partes elétricas expostas, a placa onde está o sensor CMOS foi coberta com fita isolante conforme mostrado na Figura 22.

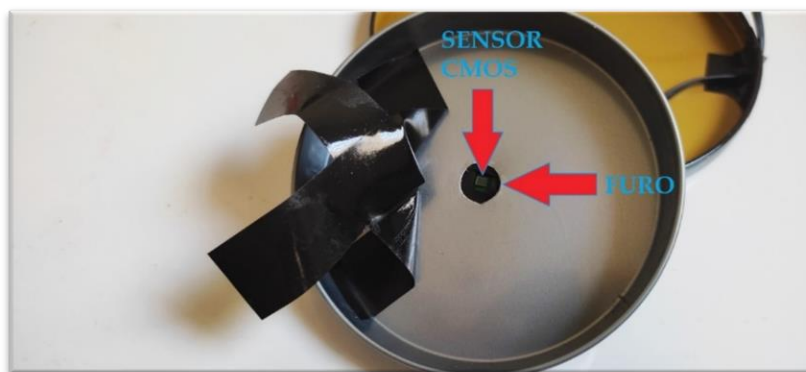
Figura 22 – Fita isolante deixando exposto apenas o sensor CMOS.



Fonte: Autor

Em seguida, a tampa de uma pequena lata foi furada e o sensor montado conforme mostra a Figura 23.

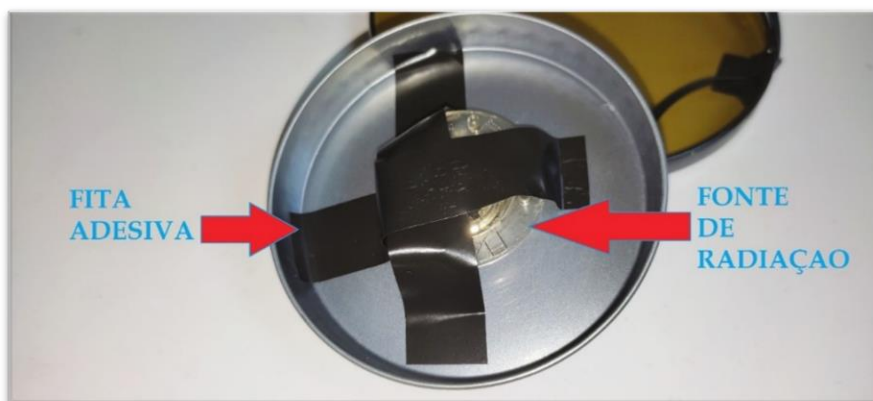
Figura 23 – Fita isolante deixando exposto apenas o sensor CMOS



Fonte: Autor

Na sequência a fonte de radiação (Anexo I) é colocada de frente para o sensor e seguro por uma fita adesiva (neste caso uma fita isolante) conforme mostra a Figura 24. A Figura 25 mostra a lata fechada com a Webcam na parte externa.

Figura 24 – Fonte de radiação presa com fita adesiva



Fonte: Autor

Figura 25 – Lata fechada com sensor na parte superior



Fonte: Autor

Com o objetivo de evitar a entrada de luz, a lata da Figura 25 é colocada no interior de uma segunda lata maior conforme mostrado nas Figura 26 e 27.

Figura 26 – Lata menor será colocada no interior de uma lata maior.



Fonte: Autor

Uma vez finalizada a montagem conforme mostrado na Figura 23, o cabo da Webcam é conectado a um computador com sistema operacional Windows 10 ou superior.

A entrada de luz impediria o sensor de distinguir a radiação detectada da luz ambiente inviabilizando o experimento.

Figura 27 – Montagem finalizada



Fonte: Autor

Um software (Anexo IV) foi desenvolvido com o objetivo de detectar quando a radiação atinge o sensor CMOS. O software cria três janelas conforme mostrado na Figura 28.

Figura 28 – Janelas criadas pelo software.



Fonte: Autor

As três janelas criadas são:

- “MATRIZ DE PONTOS ACUMULADOS”, uma janela criada do lado esquerdo da tela onde os pontos são plotados na coordenada em que foram detectados, porém, modificados para uma cor branca e acrescentado a cada ponto um círculo vermelho em volta para facilitar sua visualização, conforme mostrado na Figura 29.
- “IMAGEM EM TEMPO REAL”, janela criada do lado direito da tela, mostra em tempo real o que o sensor CMOS está detectando. Se observada com atenção é possível observar pequenos pontos brilhando e apagando rapidamente que são justamente a radiação captada em tempo real;
- “MENSAGENS”, uma janela onde são mostrados o número total de pontos detectados desde o momento em que o software foi iniciado;

Figura 29 – Dois pontos na janela “MATRIZ DE PONTOS ACUMULADOS”.



Fonte: Autor

O software pode ser interrompido a qualquer momento ao pressionar a tecla “ESC” do teclado. O software cria em um diretório um arquivo denominado “coordenadas_todos_pontos_detectados.txt” onde consta as coordenadas de todos os pontos detectados conforme mostrado na Figura 30.

Figura 30 – Conteúdo do arquivo de pontos detectados.

```

614:68      Nivel de cinza: 32
344:351     Nivel de cinza: 37
344:352     Nivel de cinza: 45
345:351     Nivel de cinza: 51
345:352     Nivel de cinza: 38
346:352     Nivel de cinza: 39

530:408     Nivel de cinza: 31
530:409     Nivel de cinza: 40
530:410     Nivel de cinza: 62
531:408     Nivel de cinza: 36
531:409     Nivel de cinza: 105
531:410     Nivel de cinza: 62
532:408     Nivel de cinza: 59
532:409     Nivel de cinza: 63
532:410     Nivel de cinza: 62
533:409     Nivel de cinza: 43

0:110       Nivel de cinza: 40
0:111       Nivel de cinza: 35

590:442     Nivel de cinza: 37
590:443     Nivel de cinza: 38
590:444     Nivel de cinza: 32
591:442     Nivel de cinza: 46
591:443     Nivel de cinza: 108
591:444     Nivel de cinza: 38
592:442     Nivel de cinza: 47
592:443     Nivel de cinza: 57
592:444     Nivel de cinza: 45
593:443     Nivel de cinza: 30

389:57      Nivel de cinza: 50
389:58      Nivel de cinza: 33
390:58      Nivel de cinza: 40

518:430     Nivel de cinza: 30
519:429     Nivel de cinza: 64
519:430     Nivel de cinza: 46
520:429     Nivel de cinza: 37
520:430     Nivel de cinza: 58
521:429     Nivel de cinza: 30
#####
Total de pontos detectados: 7

```

Fonte: Autor

Como a radiação ao incidir no sensor CMOS atinge mais de um ponto ao mesmo tempo (pontos “vizinhos”), é considerada para reproduzir na janela “MATRIZ DE PONTOS ACUMULADOS” apenas a coordenada com a intensidade mais forte (“Nível de cinza”).

Outro arquivo criado é uma imagem do tipo não comprimida (formato BMP) com o nome “imagem_com_todos_pontos_detectados.bmp” que é uma cópia da janela “MATRIZ DE PONTOS ACUMULADOS” quando o software foi finalizado conforme mostrado na Figura 31.

Figura 31 – Imagem criada ao finalizar o programa.

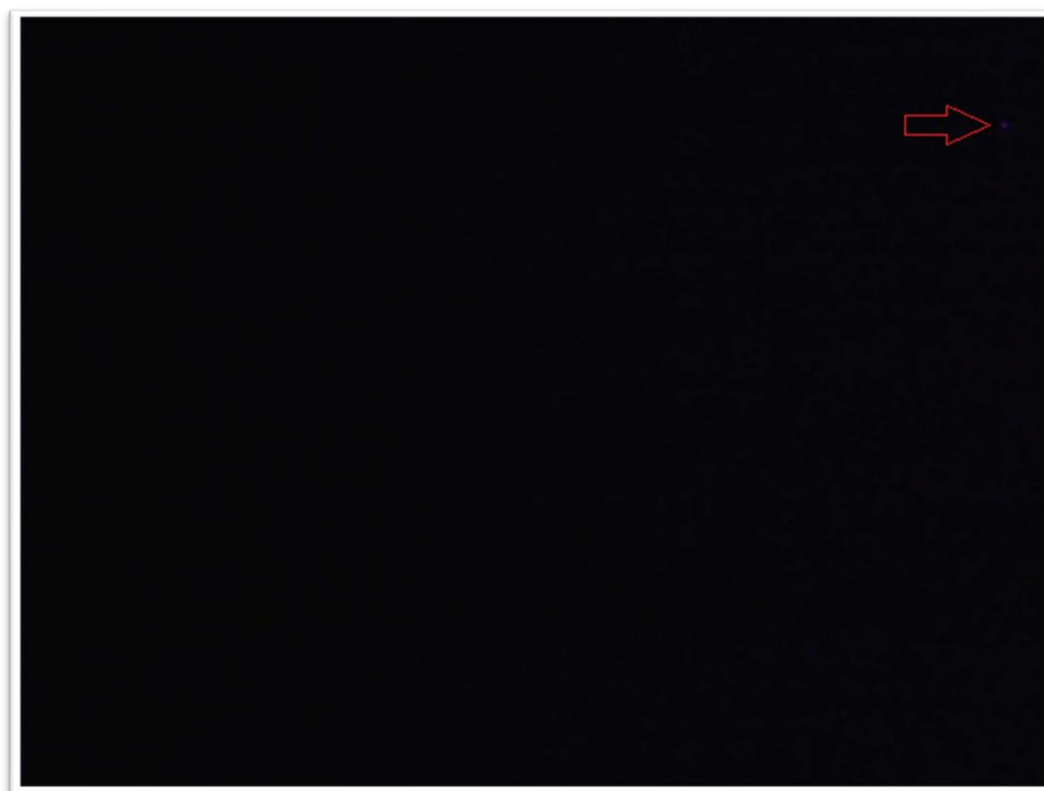


Fonte: Autor

Uma janela do lado esquerdo mostrar todos os pontos já detectados com o número de pontos detectados mostrado logo abaixo em outra janela menor, conforme mostrado na Figura 28.

Todas as imagens captadas pelo sensor CMOS em que foram detectados incidência de radiação (pontos detectados) são gravadas no diretório de forma numerada sendo a primeira nomeada como “imagem_captada_1.bmp” a segunda “imagem_captada_2.bmp” e assim por diante. A Figura 32 mostra uma destas imagens. A Figura 33 mostra todos os arquivos criados ao finalizar o programa.

Figura 32 – A seta vermelha mostra um ponto detectado.



Fonte: Autor

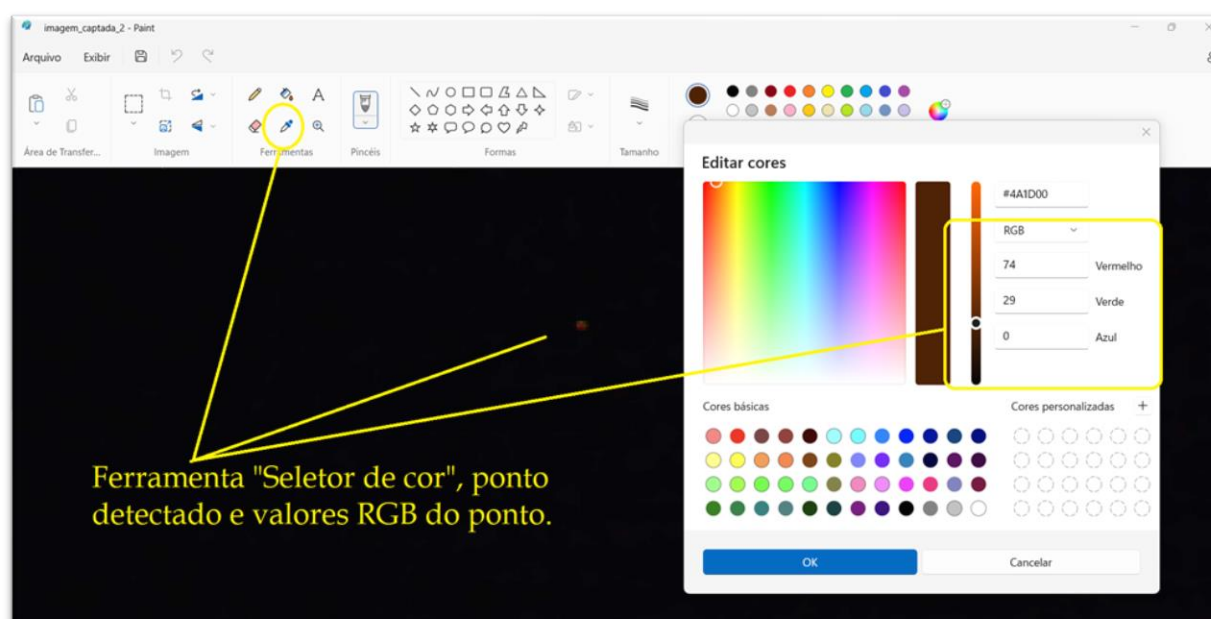
Figura 33 – Todos os arquivos criados ao finalizar o programa

Nome	Tipo	Tamanho	Marcas
 coordenadas_todos_pontos_detectados	Documento de Te...	2 KB	
 imagem_captada_7	Arquivo BMP	901 KB	
 imagem_captada_6	Arquivo BMP	901 KB	
 imagem_captada_5	Arquivo BMP	901 KB	
 imagem_captada_4	Arquivo BMP	901 KB	
 imagem_captada_3	Arquivo BMP	901 KB	
 imagem_captada_2	Arquivo BMP	901 KB	
 imagem_captada_1	Arquivo BMP	901 KB	

Fonte: Autor

Podemos verificar se os pontos detectados realmente estão nas imagens captadas, primeiro, abrindo o arquivo “coordenadas_todos_pontos_detectados.txt”, e escolhendo um ponto qualquer, como por exemplo o ponto com maior nível de cinza que consta estar nas coordenadas (345:351) o que corresponde à segunda imagem captada “imagem_captada_2.bmp”. Basta então abrir a imagem “imagem_captada_2.bmp” pelo aplicativo Paint do Windows, em seguida utilizando a ferramenta “Seletor de cor” do Paint, selecionarmos a coordenada escolhida e selecionarmos a ferramenta “Editor de cor” que permite visualizar os valores RGB em decimal (neste caso vermelho = 74, verde = 29 e azul=0) conforme mostrado na Figura 34.

Figura 34 – Aplicativo Paint do Windows aberto com uma das imagens captadas.



Fonte: Autor

As cores dos pontos captados não têm nenhuma relação com a radiação gama captada pois o que ocorre é que a radiação pode incidir com maior ou menor intensidade em cada sensor R, G ou B gerando diferentes cores.

A gravidade explica os movimentos dos planetas, mas não pode explicar quem colocou os planetas em movimento.

Isaac Newton

5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Como explicado a introdução o experimento com sensor de câmera digital prima pela simplicidade e mostra de maneira muito didática o uso de sensores para detecção de radiação ionizante, objetivado analisar como a confecção de um experimento de baixo custo a ser realizado em sala de aula para turmas do ensino médio, e pode complementar o ensino de Física Moderna.

5.1 Tipo de pesquisa

No artigo de Gerhardt e Silveira (2009), as autoras discorrem sobre o significado da pesquisa científica como

A pesquisa científica é o resultado de um inquérito ou exame minucioso, realizado com o objetivo de resolver um problema, recorrendo a procedimentos científicos. Lehfeld (1991) refere-se à pesquisa como sendo a inquisição, o procedimento sistemático e intensivo, que tem por objetivo descobrir e interpretar os fatos que estão inseridos em uma determinada realidade. (GERHARDT E SILVEIRA, 2009, p 12)

A pesquisa qualitativa envolve processos em que indivíduos e grupos sociais interagem entre si e produzem conhecimento a partir dessa interação. (SOUSA & SANTOS, 2020). Na pesquisa qualitativa tudo que é dito, é dito para alguém em algum lugar, de algum lugar ou para algum lugar.

No campo acadêmico, o estudo qualitativo de um fenômeno social tem acompanhado as pesquisas em diversas áreas, e com ele, o debate sobre o caminho a percorrer, os passos a seguir, quais técnicas e que instrumentos utilizar na produção do conhecimento. O fato é que no processo de construção e reconstrução de uma dada realidade, a pergunta de partida objetivada permite a definição do método. (SOUSA & SANTOS, 2020, p 1396)

Na explanação de Bardin (2011), a análise do material coletado em uma pesquisa segue um processo rigoroso, como: pré-análise, a exploração do material e

o tratamento dos resultados. A validação do conhecimento científico e sua legitimação passam por uma apropriação e compreensão dessas fases (SOUSA & SANTOS, 2020). Logo pesquisas, como a aqui apresentada, trazem uma reflexão da produção do conhecimento, segundo a percepção dos alunos, importante para decidir quais metodologias podem enriquecer o ensino de física.

Refletindo sobre os tipos, ou abordagem, de pesquisa qualitativa acreditamos que esta pesquisa é qualitativa com abordagem de pesquisa ação (GODOY, 1995; QUALIBEST, 2021), pois, existe um problema ou a necessidade de identificar este problema.

5.2 Local e sujeitos da pesquisa

As atividades relatadas nesta dissertação, foram realizadas na Escola Estadual Florivaldo Leal, com 25 alunos da 2ª Série do Ensino Médio. Localizada na região central de Presidente Prudente a escola conta com turmas de Ensino Médio e Ensino Fundamental, e foram realizadas no primeiro semestre de 2022, tomando todas as precauções necessárias devido, ainda, à presença do COVID. Em 2022 a escola aderiu ao regime de Programa de Ensino de Tempo Integral (PEI) com o período para estudantes e professores iniciando às 7h00 min e finalizando as 15h30 min. para os estudantes e as 16h00 min. para os professores. As aulas têm duração de 45 minutos. A escola conta com um laboratório de Química/Biologia e um laboratório de Física/Inova (Inova Educação é um programa do Estado de São Paulo composto das disciplinas de Tecnologia e Inovação, Eletivas e Projeto de Vida). O laboratório de Física/Inova foi criado em 2022 e ambos os laboratórios têm recebido investimentos ao longo do ano de 2022 tanto em infraestrutura como em equipamentos.

O referencial e organização das atividades a serem desenvolvidas foram realizadas no período de pandemia, 2020-2021, sendo que as atividades com alunos descritas neste item, foram realizadas no primeiro semestre de 2022, tomando todas as precauções necessárias devido ainda à presença do COVID. Não houve incidentes, mas o retorno a aulas presenciais não foi fácil.

5.3 Sequência Didática e sua realização

Como mencionado por Mantovani (2015), uma Sequência Didática (SD) se diferencia de um plano de aula por ser constituída de atividades encadeadas relacionadas com os objetivos de cada conteúdo antes de chegar ao objetivo geral do conteúdo. Ela contempla questionamentos, atitudes, procedimentos e ações que os alunos executam com a mediação do professor. As atividades que fazem parte da SD são ordenadas de maneira a aprofundar o tema que está sendo estudado e são variadas em termos de estratégia: leituras, aula dialogada, simulações computacionais, experimentos, etc. (MANTOVANI e ARAYA, 2015).

De acordo com (DELIZOICOV & ANGOTTI, 1990), a SD apresenta três momentos pedagógicos e são eles: Problematização do tema, Organização do conhecimento e Aplicação do conhecimento. Os autores também, lembram que a avaliação é realizada processualmente, tendo um momento ao final para reflexões e reavaliação da metodologia.

Conforme preceitua Brasil (2012, p. 20) as SD são uma ferramenta muito importante para a construção do conhecimento:

Ao organizar a sequência didática, o professor poderá incluir atividades diversas como leitura, pesquisa individual ou coletiva, aula dialogada, produções textuais, aulas práticas, etc., pois a sequência de atividades visa trabalhar um conteúdo específico, um tema ou um gênero textual da exploração inicial até a formação de um conceito, uma ideia, uma elaboração prática, uma produção escrita (BRASIL, 2012, p. 20)

Este trabalho utilizamos uma Sequência Didática similar e com os requisitos mencionados por Mantovani (MANTOVANI e ARAYA, 2015), sempre articulado os conteúdos com os indicativos do Currículo Paulista.

As habilidades trabalhadas seguem os objetivos do Currículo Paulista e estão listadas, juntamente com a unidade temática e objetos de conhecimento, no Quadro 5. Neste contexto o experimento *Deteção de Radiação Ionizante por Sensor Digital CMOS* faz parte de uma sequência didática (SD), planejada para ensinar o conceito de radiação ionizante.

Quadro 5 – Habilidades apresentadas no Currículo Paulista para Unidade Temática Matéria e energia.

Unidade Temática	Habilidades	Objetos de Conhecimento
Matéria e Energia	Avaliar os benefícios e os riscos à saúde e ao ambiente, considerando a composição, a toxicidade e a reatividade de diferentes materiais e produtos, como também o nível de exposição a eles, posicionando-se criticamente e propondo soluções individuais e/ou coletivas para seus usos e descartes responsáveis.	Propriedade elétrica dos materiais (condutores e isolantes) Ondas eletromagnéticas (espectro eletromagnético; ondas de rádio; micro-ondas; radiações infravermelhas; radiações visíveis; radiações ultravioletas, raios x; raios gama) Quantização de energia (Núcleo atômico; radioatividade); Radioatividade (fissão e fusão nuclear; decaimento radioativo; radiação ionizante)

Fonte: Caderno do Professor. Disponível em: <https://efape.educacao.sp.gov.br/>

Para a realização das atividades da sequência didática apresentada no Quadro 6, foram necessárias 7 semanas, sendo duas aulas por semana e com duração de 45 minutos para cada aula. Durante o desenvolvimento da sequência didática o professor atuou como mediador, fazendo as intervenções sempre que necessário. Todas as aulas foram realizadas no laboratório de Física, mesmo quando não necessárias, com o objetivo de tirar os alunos da sala de aula colocá-los em um ambiente diferente.

Quadro 6 – Sequência Didática aplicada.

Semana	Aula	Objetivo	Resumo da atividade
1	1	Apresentação do objetivo da sequência didática e levantamento dos conhecimentos prévios. Visualizar a proporção do tamanho de um átomo com relação ao seu núcleo.	Bate-papo com os alunos sobre a radiação. Reproduzir a proporção do tamanho de um átomo com relação ao seu núcleo imaginando um núcleo de 1mm. Alunos formaram grupos para apresentar em aulas futuras trabalhos com temas relacionados à radiação (trabalhos foram apresentados na semana 4).

	2	Compreender as forças presentes no núcleo de um átomo (força eletrostática entre prótons e atuação da força nuclear forte) e quantificação das energias em um átomo. Compreender o que são isótopos e os decaimentos alfa, beta e gama.	Experimento com ímãs de neodímio e tampinhas de garrafas para representar a atuação da força nuclear forte e a força eletrostática entre prótons.
2	3	Apresentar as unidades de medida de radiação (Sievert, curie e becquerel).	Utilizando projetor da sala, foi realizada busca pela internet de taças, bandejas e outros compostos de vidro contendo urânio (conhecido como uralina) à venda. Apresentação de vídeo da praia de Guarapari no Espírito Santo. Vídeo do YouTube com o Prof. Carl Willis medindo radiação na Usina Nuclear de Chernobyl.
	4	Medir radiação do ambiente e da areia monazítica do estado do Espírito Santo, Guarapari.	Medir com dosímetro a radiação do ambiente e de porção de areia monazítica do estado do Espírito Santo, Guarapari.
3	5	Compreender a relação entre radiação e instabilidade do núcleo atômico.	Simulação "Monte um Átomo" do site PhET. Aula expositiva sobre tabela periódica, isótopos e número de massa.
	6	Compreender conceito de meia-vida.	Atividade em grupos com tampinhas de garrafas para representar o conceito de meia-vida.
4	7 e 8	Apresentação dos trabalhos de pesquisa realizados por 4 grupos de alunos.	Grupos apresentaram os seguintes trabalhos: •Águas de Lindoia e radiação da sua água. •Acidente de Chernobyl. •Radiação na medicina. •Raio-X. Professor comentou trabalhos.

5	9 e 10	Apresentação pelo professor do livro <i>Os Homens do Fim do Mundo</i> com leitura oral pelo professor de trechos do livro relacionado à descoberta da radiação e os aprendizados nos primeiros anos por parte dos cientistas e sociedade.	Utilizando projetor da sala, professor apresentou a capa do livro <i>Os Homens do Fim do Mundo</i> e realizou a leitura oral de alguns trechos do livro relacionados à descoberta da radiação comentando alguns trechos lidos.
6	11	Realização de experimento de ionização do ar com fonte radioativa.	Aplicando uma alta tensão entre dois terminais, no limiar para que surja uma centelha entre estes, um arco voltaico ocorre quando o ar entre os terminais é ionizado por radiação alfa. Alunos experimentaram colocar folha de papel entre a fonte de radiação e os terminais observando em qual situação surge o arco voltaico. Por segurança a atividade foi realizada sempre com a presença do professor e com grupos de cinco alunos de cada vez.
	12	Realização do experimento <i>Detecção de Radiação Ionizante por Sensor Digital CMOS</i> .	Realização do experimento <i>Detecção de Radiação Ionizante por Sensor Digital CMOS</i> primeiro sem obstáculo entre o sensor e a fonte de radiação e depois experimentando papel como obstáculo e por fim papel alumínio como obstáculo.
7	13 e 14	Alunos responderem questionário sobre o que eles aprenderam.	Após as respostas escritas dos alunos eles tiveram um espaço para diálogo com o professor para finalizar a atividade

Fonte: Autor

5.4 Desenvolvimento da Sequência Didática

5.5 1º Semana da Sequência Didática

Na primeira semana a aula 1 iniciou com uma conversa com os alunos sobre radiação e levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos sobre o tema. Como os alunos já tinham um conhecimento sobre o modelo atômico de Bohr, trabalhados no bimestre anterior, foram então separados em grupos e orientados a pesquisarem, na internet, qual o tamanho de um átomo e a proporção entre o tamanho do átomo e seu núcleo. Em seguida foram desafiados a representar um átomo, mantendo as proporções, se o núcleo tivesse 1 mm de diâmetro.

Foi fornecida uma trena e uma régua para que eles pudessem representar o núcleo e o limite do átomo. Nesta etapa foi necessária a intervenção do professor pois os alunos não sabiam lidar com potência de base dez. Após a conclusão da atividade os alunos foram orientados a formarem grupos e escolherem um tema dentro de uma lista apresentada pelo professor para prepararem uma apresentação a ser realizada por eles na quarta semana. Os temas propostos eram todos relacionados à radiação (trabalhos foram apresentados na semana 4) , são estes:

- Águas de Lindoia e radiação da sua água.
- Acidente de Chernobyl.
- Radiação na medicina.
- Raio-X

5.6 2º Semana da Sequência Didática

A segunda aula iniciou com um diálogo com os alunos sobre como um átomo está constituído, os alunos responderam corretamente situando prótons e nêutrons no núcleo e elétrons na eletrosfera. Também identificaram corretamente as cargas elétricas positiva para os prótons, negativas para os elétrons e neutra para os nêutrons e descreveram as forças de interação entre cargas de forma correta identificando a força de repulsão entre cargas iguais e atração entre cargas diferentes.

Neste momento o professor indagou,

“Como é possível que os prótons fiquem unidos no núcleo sendo que cargas iguais se repelem?”

Os alunos não souberam responder, foi explicado então a existência de uma outra força além da forma elétrica e forma magnética, a força nuclear forte, explicando como ela atua. Utilizando uma folha de papel e tampinhas de garrafas para representar prótons e nêutrons, o professor desenhou um círculo em torno das tampinhas explicando que aquela linha representava o limite de atuação da força nuclear forte e que dentro deste limite esta força sobrepujava a força de repulsão eletrostática entre os prótons, Figura 35.

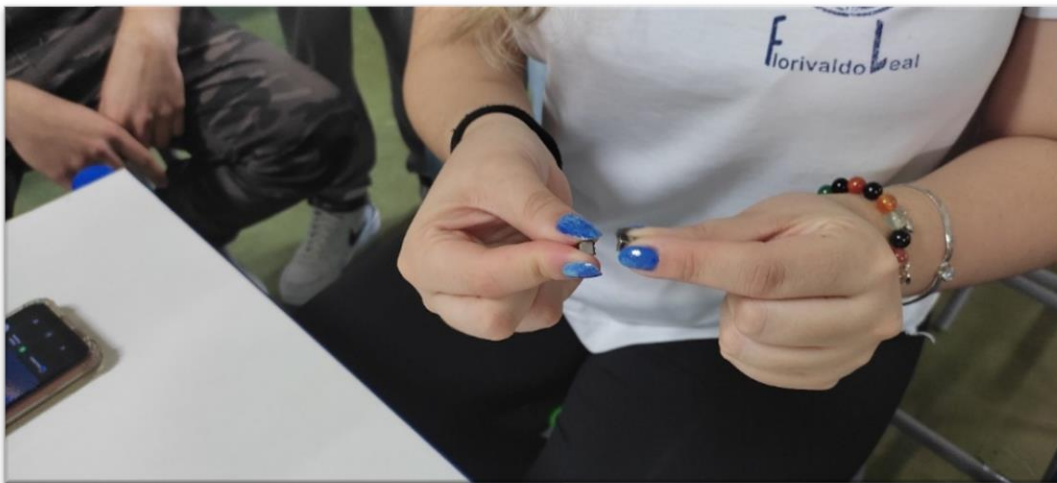
Figura 35 – Representação da força nuclear forte.



Fonte: Autor

Com o objetivo de reforçar o conceito de força de repulsão, o professor pediu para os alunos tentarem aproximar dois ímãs de neodímio, conforme mostrado na Figura 36.

Figura 36 – Aluna experimentando a força de repulsão entre dois ímãs.



Fonte: Autor

Os alunos ficaram admirados com a dificuldade de aproximar os polos iguais, foi explicado que no núcleo também ocorre força de repulsão entre os prótons, porém a natureza da força envolvida é elétrica e não magnética como nos ímãs e o que supera esta força de repulsão é a força nuclear forte. Todos os alunos sinalizaram terem compreendido bem.

Em seguida foi realizada uma atividade com o objetivo de reforçar o conceito de quantificação de energia dos elétrons na eletrosfera do átomo, habilidade já vista no bimestre anterior.

Com um aluno voluntário, na frente da sala onde todos podiam ver, pediu então que o aluno subisse em cima de uma cadeira – que por sua vez estava ao lado de uma mesa. A atividade consistia em fazer uma analogia entre diferentes níveis de energia dos elétrons e a altura em que o aluno se encontrava, que pode ser no chão, em cima da cadeira ou em cima da mesa, enfatizando que somente determinados níveis de energia são permitidos, o do chão que corresponde ao nível fundamental, em cima da cadeira que corresponde ao primeiro nível excitado e em cima da mesa que corresponde ao segundo nível excitado (análogo aos níveis do elétron). Níveis entre o chão e a cadeira, entre a cadeira e a mesa não são permitidos, de forma análoga à física quântica que rege o comportamento dos elétrons em um átomo. Em seguida professor apresentou os fenômenos físicos quando um núcleo de um átomo passa de

um nível excitado para um nível de menor energia que resulta na emissão da radiação gama. Também explicou a emissão alfa e beta e o conceito de isótopos.

5.7 3º Semana da Sequência Didática

Na aula 3 o professor fez uma breve apresentação de um vídeo sobre a praia de Guarapari no estado do Espírito Santo e de um trecho de um vídeo do YouTube do Prof. Carl Willis (EUA) medindo a radiação no entorno da Usina Nuclear de Chernobyl. Também se mostrou, utilizando um projetor, o resultado de uma busca por sites de compras pelo produto uralina (vidro contendo urânio) onde foram encontradas taças, bandejas e outros, como apresentado na Figura 36. Em seguida o professor fez uma breve apresentação das unidades de medida de radiação: Curie, becquerel e Sievert.

Figura 37 – Bandeja de uralina.



Fonte: <https://www.mercadolivre.com.br/>

Na aula 4 os alunos foram apresentados a um dosímetro de radiação com o qual mediram a radiação do ambiente (chamada radiação de fundo), Figura 38.

Figura 38 – Dosímetro.



Fonte: Autor

Em seguida os alunos mediram a radiação, mostrada na Figura 39, com o mesmo dosímetro, de uma porção de areia monazítica do estado do Espírito Santo, Guarapari. Esta areia se encontrava em um frasco de vidro de forma que os alunos não tiveram contato direto com a areia, somente o professor.

Figura 39 – Dosímetro e areia monazítica.



Fonte: Autor

Compararam os resultados e perceberam que a radiação da areia monazítica é ligeiramente superior à radiação medida no ambiente. Alunos comentaram se acreditavam ou não nos propalados benefícios medicinais da areia. Também observaram a areia monazítica no microscópio ótico (Figura 40) chegando à conclusão que a areia monazítica diferia da areia comum pela presença de alguns grãos pretos. Em esta parte só o professor teve contato com a areia.

Figura 40 – Aluna observando areia monazítica.

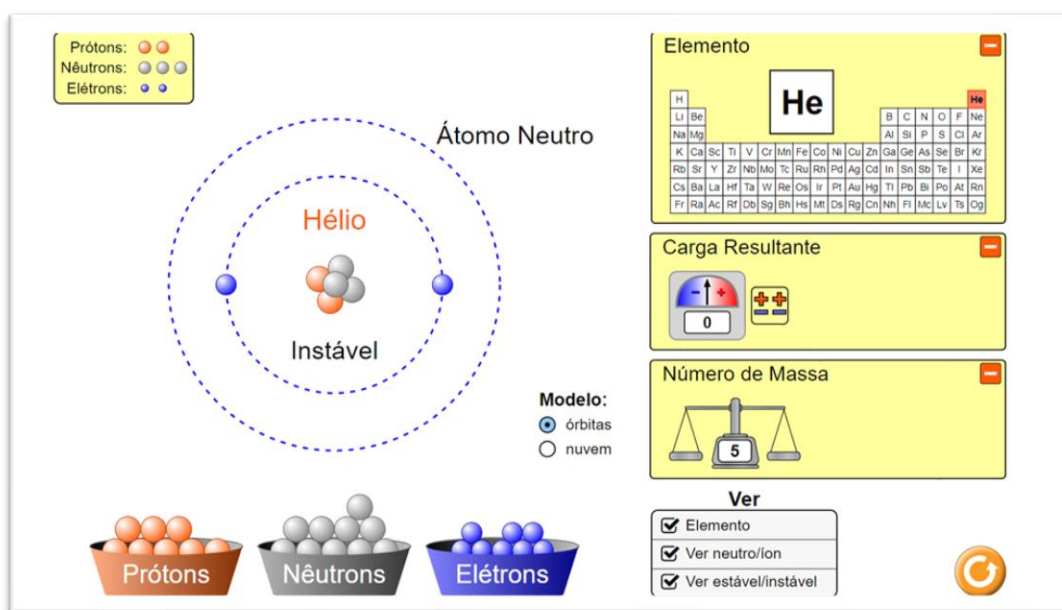


Fonte: Autor

5.8 4º Semana da Sequência Didática

A aula 5 iniciou com a apresentação de uma simulação "Monte um Átomo" do site PhET (Figura 41) que permite simular a montagem de um átomo acrescentando prótons, nêutrons e elétrons e observar que a falta ou excesso de nêutrons causa a instabilidade do núcleo. Professor explicou que a instabilidade do núcleo está relacionada com o decaimento radioativo.

Figura 41 – Experimento virtual “Monte um Átomo”.



Fonte: Site PhET, <https://phet.colorado.edu/>

A aula 6 foi dedicada para trabalhar o conceito de meia-vida com uma atividade prática valendo nota. Os alunos foram divididos em grupos. Professor fez uma explicação sobre o conceito de meia-vida. Em seguida o professor colocou uma lista de isótopos radioativos na lousa (Figura 42) juntamente com o tempo de vida de cada um e distribuiu tampinhas de garrafas para cada grupo.

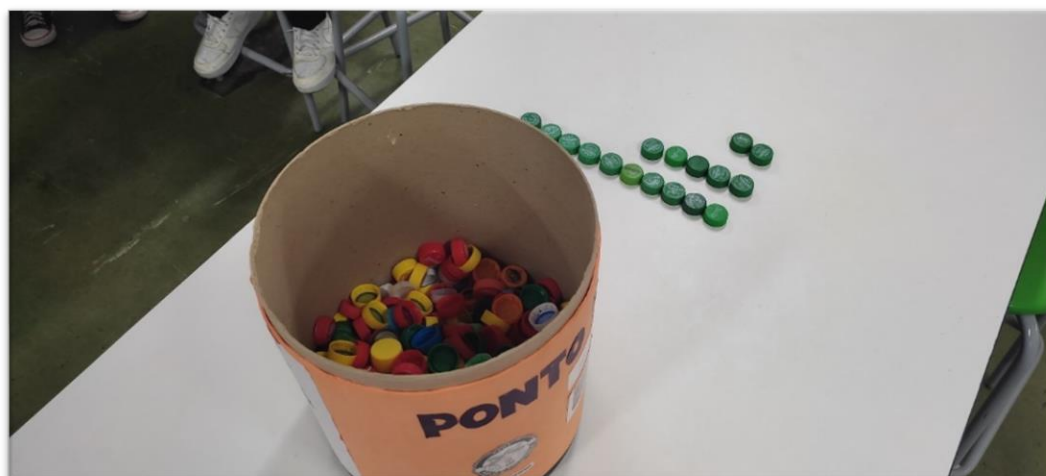
Figura 42 – Lousa com lista de isótopos radioativos.

FÍSICA	NOME	Número Atômico	Meia-vida
2ª AULA	Fluor-18	9	109 minutos
19/04/22	Tólio-232	81	6 minutos
Radioisótopos	Potássio-40	19	$1,25 \times 10^9$ anos
	Carbono-14	6	5730 anos
	Urânio-235	92	713 milhões de anos
	Urânio-238	92	4,5 bilhões de anos
	Rádio-226	88	1600 anos

Fonte: Autor

A atividade consistia em alunos escolherem um isótopo dentro da lista da lousa, encontrarem o símbolo de cada elemento químico na tabela periódica e em seguida chamar o professor e demonstrar o conceito de meia-vida simulando o decaimento dos átomos (Figura 43) com a diminuição gradativa das tampinhas entre cada período de meia-vida simulado.

Figura 43 – Atividade simulando decaimento radioativo.



Fonte: Autor

Os alunos demonstraram pouca familiaridade com a tabela periódica, necessitando por vezes a intervenção do professor. Foi dado alguns minutos para que cada grupo preparasse sua explicação utilizando as tampinhas de garrafas. Aos

grupos que não conseguiram explicar, o professor refez a explicação e retornou mais tarde para que eles tentassem novamente.

Na 4ª semana, aulas 7 e 8, os grupos apresentaram (Figuras 44 e 45) os seguintes trabalhos:

- Águas de Lindoia e radiação da sua água.
- Acidente de Chernobyl.
- Radiação na medicina.
- Raio-X.

Figura 44 – Apresentação dos trabalhos.



Fonte: Autor

Figura 45 – Apresentação dos trabalhos.



Fonte: Autor

Ao final das apresentações, professor comentou os trabalhos.

5.9 5ª Semana da Sequência Didática

Na 5ª semana, aulas 9 e 10, o professor apresentou o livro *Os Homens do Fim do Mundo*, Figura 46, e realizou a leitura oral de alguns trechos do livro relacionados à descoberta da radiação comentando alguns trechos lidos.

Alguns trechos lidos mostram o desconhecimento dos perigos da radiação nos primeiros anos à sua descoberta.

“Em uma ocasião, Marie Curie referiu-se à alegria que sentia ao entrar no seu laboratório à noite e ver a fila de tubos que brilhavam tenuamente. Eram como luzes de fadas, ela disse. Ela chegava a levar sal de rádio para a cama, para vê-lo brilhar no escuro – um abajur atômico. O metal de rádio é de um branco puro, que se escurece em contato com o ar. Ele emite raios alfa, beta e gama. O rádio-226 perde apenas 1% da sua radioatividade em 25 anos, até que, por fim, se estabiliza, transformando em chumbo. Os seus raios fazem brilhar os diamantes “como uma luz clara e fosforescente”. As pedras falsas não brilham com o rádio, e algumas senhoras que compareciam a conferência sobre o rádio ficaram boquiabertas ao descobri-lo. Mas os raios de rádio também são perigosos. Marie e Pierre Curie logo viram que uma exposição de apenas cinco minutos era suficiente para causar feridas profundas, embora demorassem estranhamente vários dias para aparecer”. (SMITH, 2008, p.82).

O trecho a seguir ajuda a quebrar o estereótipo do cientista como uma pessoa que simplesmente tem ideias geniais e faz suas descobertas simplesmente pensando no problema.

Embora parecesse tímida e reservada para os que a viam pela primeira vez, era, na verdade, uma mulher determinada e pertinaz. Sem dúvida sentia-se feliz diante do tremendo desafio de separar os novos elementos: “Eu tinha de trabalhar com vinte quilos do material de cada vez, de modo que o galpão estava sempre cheio de recipientes grandes com precipitados e líquidos. Era um trabalho exaustivo que me obrigava a carregar os recipientes, transferir os líquidos e misturá-los durante horas a fio, com uma barra de ferro, em um cadinho de ferro”.

Marie Curie precisou de quatro anos de trabalho duro para isolar um décimo de grama de cloreto de rádio. Em julho de 1902, ela dispunha de material suficiente para convencer os mais céticos do mundo da ciência de que “o rádio é efetivamente um novo elemento””. (SMITH, 2008, p.83).

Alguns trechos ajudam o estudante a compreender que todo material radioativo produz calor.

“O polônio é mais radioativo que o rádio e o urânio. Um miligrama de polônio-210 emite tantas partículas alfa como cinco gramas de rádio. Uma capsula com meio grama de polônio-210 pode alcançar a temperatura de 500

°C e proporciona uma fonte de calor leve, capaz de alimentar as células termoeletrônicas de satélites artificiais”. (SMITH, 2008, p.82).

Outros trechos chamam a atenção do estudante para um aspecto fascinante dos elementos radioativos, que é capacidade de produzir energia por longos períodos. O trecho abaixo relata o diálogo entre Pierre Curie e um repórter que o visitou em seu laboratório.

“” Seria verdade”, Moffett perguntou – e acrescentou com ênfase dramática – “poderia ser verdade que essa substância estranha produza incessantemente calor e luz e seja uma fonte de energia inextinguível?”
 Pierre repetiu os detalhes extraordinários do calor inato do rádio e disse: “Uma quantidade determinada de rádio derrete uma massa equivalente de gelo em uma hora”
 “Para sempre?”, perguntou o jornalista.
 O cientista cautelosamente hesitou. “Tanto quanto se sabe – para sempre.””
 (SMITH, 2008, p.91).

O objetivo da leitura destes trechos, entre outros não citados aqui, é propiciar ao estudante uma visão histórica dos fatos relacionados à descoberta da radiação e reforçar o entendimento da radiação e seus aspectos. Os relatos dos primeiros usos do raio-X, por exemplo, mostram como as pessoas ficaram maravilhadas com a possibilidade de ver através de objetos sólidos em contraste com os dias atuais em que estamos tão acostumados com o fato que não somos levados a refletir de como algo assim é possível.

Figura 46 – Leitura de trechos do livro “Os Homens do Fim do Mundo”.

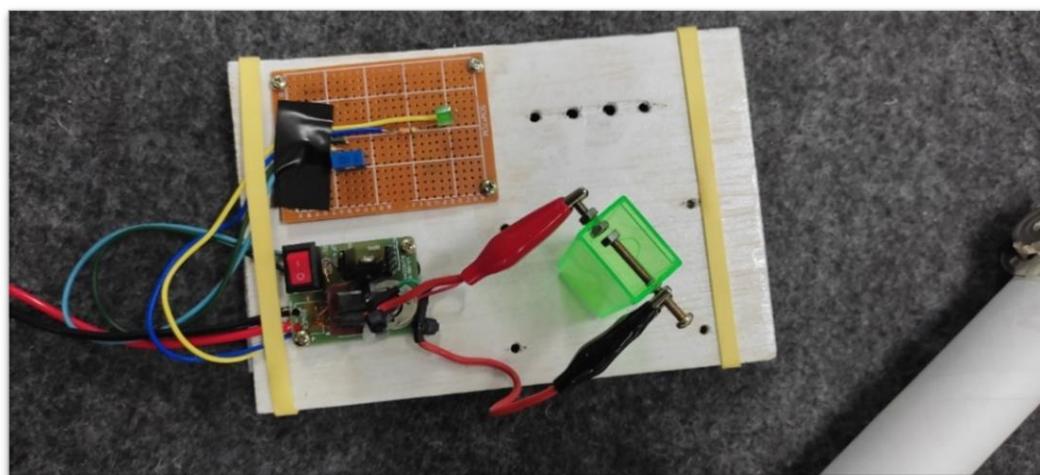


Fonte: Autor

5.10 6ª Semana da Sequência Didática

A 6ª semana, aula 11, foi dedicada à realização de um experimento que permite observar a ionização do ar por uma fonte de radiação alfa. O experimento consiste em aplicar uma alta tensão entre dois terminais, no limiar para que surja uma centelha entre estes, e quando a radiação passa por entre os terminais o ar é ionizado surgindo então um arco voltaico entre os terminais. A Figura 47 mostra a montagem do experimento com uma fonte de alta tensão (tensão menor que 15 kV).

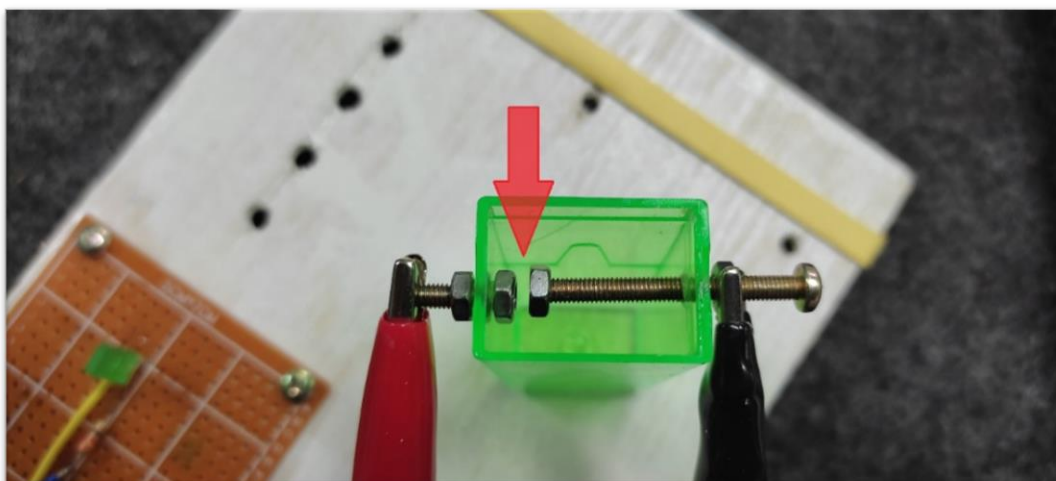
Figura 47 – Experimento com alta tensão.



Fonte: Autor

Esta fonte foi comprada pela internet como kit com todas as peças necessárias e as instruções de montagem. Uma limitação desta fonte é que só pode ficar ligada por alguns segundos pois o transistor sobreaquece, com risco de danos. A Figura 48 mostra em detalhe os terminais por onde ocorre a centelha quando o ar entre estes é ionizado. Os terminais foram feitos de parafusos o que permite ajustar as distâncias entre estes no limiar para que surja uma centelha (arco voltaico).

Figura 48 – Terminais com alta tensão.



Fonte: Autor

A fonte de radiação consiste em uma capsula de equipamento para detecção de fumaça contendo Amerício-241 que é uma fonte de radiação alfa capaz de ionizar o ar. A capsula de Amerício-241 foi colocada na extremidade de um canudo de papelão, Figuras 49 e 50, evitando assim a proximidade com os terminais em alta tensão e evitando sua manipulação direta pelos alunos.

Figura 49 – Fonte de radiação presa na extremidade de um canudo de papelão.



Fonte: Autor

Figura 50 – Moeda e fonte de radiação utilizados no experimento.



Fonte: Autor

Para evitar dúvidas se o surgimento do arco voltaico se devesse a presença de uma peça de metal que de alguma forma interferisse no campo elétrico entre os terminais e não à radiação ionizante, foi preparado um segundo canudo com uma moeda na sua extremidade, Figura 50.

O experimento foi realizado sempre com a presença do professor e com grupos pequenos de cada vez. O professor explicou que seria utilizada uma fonte de alta tensão e que os alunos não deveriam tocar ou aproximar as mãos dos terminais. Também apresentou a fonte de radiação e pediu para que assim que a fonte de radiação fosse ligada algum aluno aproximasse o canudo com a moeda dos terminais. Não ocorreu a centelha entre os terminais. Em seguida um aluno aproximou o canudo com a fonte de radiação direcionada para a região entre os terminais, Figura 51.

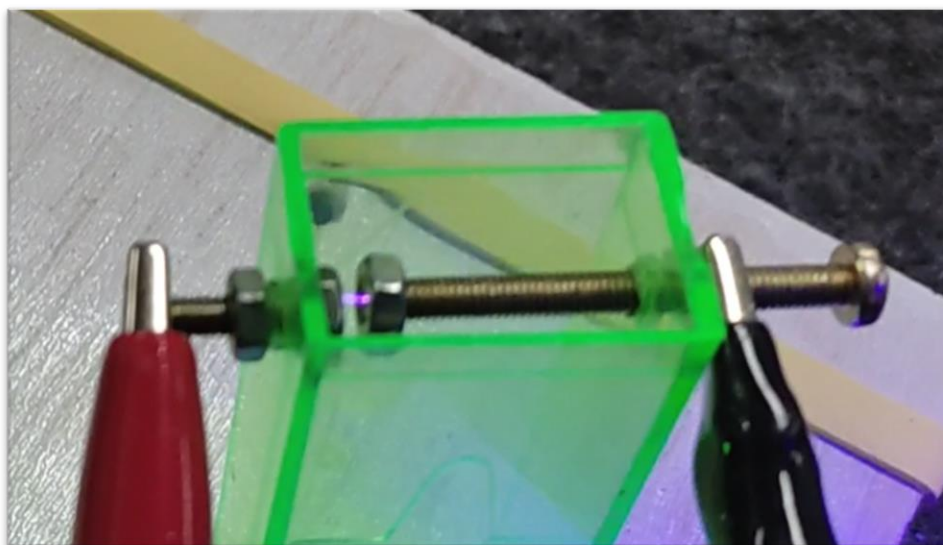
Figura 51 – Fonte de radiação próxima aos terminais.



Fonte: Autor

Foi observado que ocorria uma centelha entre os terminais, Figura 52.

Figura 52 – Centelha entre os terminais.



Fonte: Autor

Sempre que surgia uma centelha a fonte era desligada logo em seguida pois a centelha não cessava por si só. Por fim o professor pediu que os alunos colocassem entre os terminais e a fonte de radiação uma folha de papel, foi observado que a centelha só surgia quando a folha era retirada. Os alunos se mostraram admirados com o fato, então o professor indagou-os que tipo de radiação estava sendo emanada que poderia ser detida por uma simples fonte de papel, muitos alunos responderam sem hesitar que se tratava de radiação alfa conforme haviam aprendido em aulas anteriores. Deve-se observar que a fonte de alimentação utiliza um transistor e foi observado que para realizar o experimento era necessário esperar que o transistor esfriasse e alguns alunos quiseram colocar o dedo no transistor (com a fonte desligada) e puderam constatar que realmente a temperatura do transistor estava alta. Durante a realização do experimento um dos alunos chamou a atenção do colega que estava manipulando a fonte de radiação para que “não aponte isso pra gente”. Foi dada a oportunidade para que todos experimentassem realizar o experimento, porém sempre com o professor em prontidão para desligar a fonte de alimentação caso necessário. Uma das perguntas que surgiu é “o que acontece se eu colocar o dedo (nos terminais com alta tensão)”, foi explicado então que a potência era baixa e provavelmente não teria consequências graves assim como levamos um choque em dias secos ao encostar em uma pessoa ou abrir a porta de um carro. As tensões são elevadas, porém, a potência é baixa.

Alguns alunos quiseram saber como comprar a capsula com o Amerício-241, o professor aproveitou para comentar sobre o maior rigor sobre materiais radioativos após o atentado de 11 de setembro de 2001, sobre o uso de materiais radioativos em equipamentos como forno de micro-ondas (uma pequena quantidade de óxido de tório é adicionada ao filamento de tungstênio do magnétron) e outros exemplos.

Na 6ª semana, aula 12, foi realizado o experimento *Detecção de Radiação Ionizante por Sensor Digital CMOS*. Novamente os alunos participaram dos experimentos em pequenos grupos de cada vez e sempre com a presença e supervisão do professor. Primeiro o professor explicou que existem várias formas de detecção de radiação e que neste experimento seria utilizado um sensor de imagem CMOS de uma Webcam. Foi explicado que o sensor de imagem CMOS é composto por vários sensores de luz dispostos em linhas e colunas chamados de pixels (um ponto na tela) e que cada pixel é composto de três sensores de luz, um sensor com filtro que deixa passar a luz vermelha (*red* em inglês) outro com filtro que deixa passar a luz verde (*green* em inglês) e um sensor com filtro que deixa passar a luz azul (*blue* em inglês) formando o sistema conhecido com RGB. Foi mostrado o sensor da Webcam sem a lente e explicado que a lente foi tirada para evitar que a lente eventualmente atuasse como um obstáculo à radiação e esta não alcançasse o sensor CMOS e que a lente é desnecessária pois não iríamos captar luz e sim outro tipo de radiação.

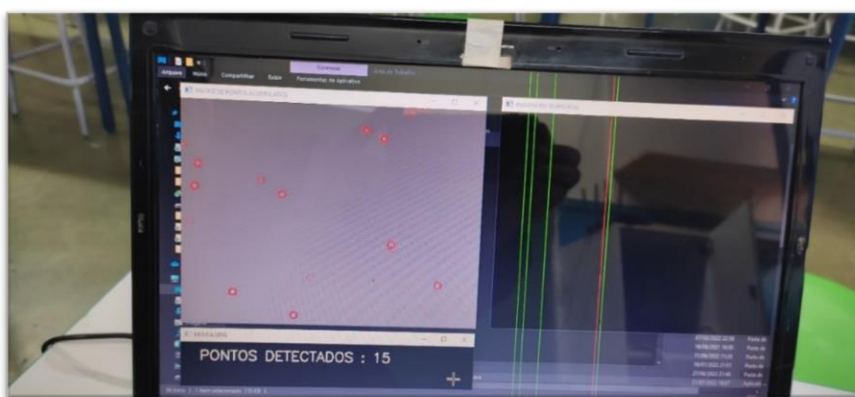
Foi explicado aos alunos todo o funcionamento do experimento:

- Que as imagens captadas em tempo real seriam apresentadas na tela do computador do lado direito e todos os pontos captados seriam registrados de forma fixa do lado esquerdo;
- Como o software inspecionava cada imagem (frame) e detectava um ponto onde a radiação incidia;
- Que as coordenadas de cada ponto detectado são gravadas em um arquivo que pode ser aberto ao final do experimento;
- Que todas as imagens em que são detectadas algum ponto onde a radiação incidia são arquivadas e podem ser visualizadas ao final do programa;
- Todas as imagens sem pontos de radiação detectadas são descartadas;
- Que a fonte de radiação é composta de uma capsula contendo Amerício-241;

- Que seria necessário colocar o sensor dentro de um recipiente vedado para não entrar luz;

Na primeira parte do experimento a capsula com o Amerício-241 foi fixada ao sensor CMOS utilizando uma fita adesiva e depois colocados dentro de uma lata vedada, com uma pequena saída que permitia passar o cabo USB para ser conectado ao computador. Após a montagem foi executado o software e a radiação captada foi registrada na tela conforme previsto, Figura 53.

Figura 53 – Pontos detectados.



Fonte: Autor

Em seguida o professor abriu o diretório onde estava o arquivo com o registro de todas as coordenadas de cada ponto detectado, Figura 54.

Figura 54 – Coordenadas de todos os pontos detectados.

Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda
90:454		Nível de cinza:	42	
91:455		Nível de cinza:	33	
91:454		Nível de cinza:	38	
91:455		Nível de cinza:	35	
328:84		Nível de cinza:	33	
329:83		Nível de cinza:	31	
329:84		Nível de cinza:	44	
329:85		Nível de cinza:	60	
330:83		Nível de cinza:	31	
330:84		Nível de cinza:	62	
330:85		Nível de cinza:	44	
454:77		Nível de cinza:	43	
454:78		Nível de cinza:	75	
455:77		Nível de cinza:	43	
455:78		Nível de cinza:	46	
455:79		Nível de cinza:	36	
28:26		Nível de cinza:	31	
29:26		Nível de cinza:	38	
391:458		Nível de cinza:	52	
391:459		Nível de cinza:	53	
392:458		Nível de cinza:	53	
392:459		Nível de cinza:	52	
365:32		Nível de cinza:	43	

Fonte: Autor

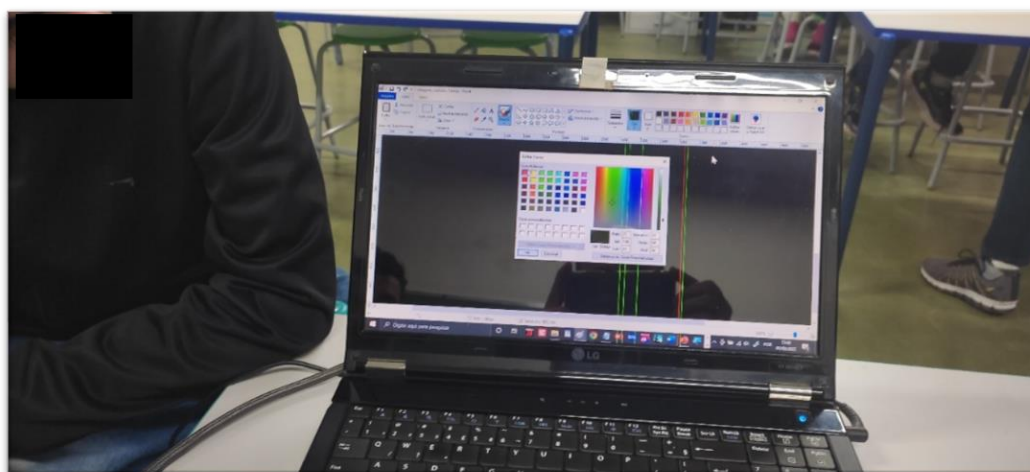
Os alunos anotaram as coordenadas do primeiro ponto e em seguida o professor abriu a imagem correspondente a este ponto com o programa PAINT de edição de imagens do Windows. Alunos puderam verificar que na coordenada do primeiro ponto detectado realmente havia um ponto colorido, com o restante da imagem totalmente escura. Com o recurso *Seletor de Cor* do PAINT foi mostrado os valores dos registros RGB onde o ponto foi detectado e comparado com os valores de registro RGB de um ponto onde nada foi detectado, Figuras 55 e 56.

Figura 55 – Alunos analisando imagens captadas.



Fonte: Autor

Figura 56 – Alunos analisando imagens captadas.



Fonte: Autor

Alunos sinalizaram terem compreendido bem. Foi explicado aos alunos que a cor do ponto não tem significado real pois a radiação incidente ao atingi com diferentes intensidades cada sensor RGB do sensor e que a cada diferente combinação de valores diferentes cores serão formadas. Foi comentado que o ideal seria não ter os filtros de cores RGB. Alunos sinalizaram terem compreendido bem.

Na segundo parte do experimento foi colocado uma folha de papel entre o sensor CMOS e a capsula de Amerício-241. Repetido o experimento os alunos puderam constatar que os pontos continuavam sendo detectados. Indagados sobre o que tipo de radiação que estaria sendo detectadas neste caso alguns alunos responderam corretamente que “não é radiação alfa” e outros “pode ser beta ou gama”.

Na terceira parte do experimento o professor perguntou qual teste poderíamos fazer para descobrir que tipo de radiação está sendo detectada, um aluno respondeu que se colocasse uma folha de alumínio (nos exemplos de livros e internet é comum comparar o poder de penetração de cada tipo de radiação utilizando folha de papel, alumínio, chumbo ou concreto). Professor tinha consigo uma folha de papel alumínio que foi dobrada duas vezes formando quatro camadas. Em seguida colocado as folhas de alumínio entre o sensor CMOS e a capsula de Amerício-241. Uma vez montado o experimento foi constatado que a radiação continuava sendo detectada. Indagando os alunos que tipo de radiação estaria sendo detectada alguns responderam se tratar de radiação gama, outros não responderam.

Lo que conocemos es una gota, lo que no conocemos es un océano.

Isaac Newton

6 RESULTADOS

Os resultados apresentados são a análise das respostas dos alunos às questões e atuação do professor. As atividades foram realizadas no primeiro semestre de 2022 com alunos de forma presencial e com os cuidados indicados anteriormente e no produto educacional pelo. Foi difícil trabalhar com os alunos pois estes estavam acostumados a trabalhar de forma remota com atividades simples, mas, foi muito bom trabalhar com esta metodologia, segundo a opinião dos próprios alunos.

6.1 Breve Introdução

Esta pesquisa teve como pergunta inicial “Qual a possibilidade de conceber um experimento de Física Moderna que possa ser realizado em sala de aula”. Os objetivos foram envolver os alunos em uma atividade diferente de forma que eles possam participar ativamente no processo, o que caracteriza uma pesquisa qualitativa.

De maneira simples e sucinta as três etapas que precisam ser seguidas pelos pesquisadores para fazer a análise de dados, são passos para organizar e analisar os dados (SOUSA & SANTOS, 2020; MACHADO, 2020). A seguir:

6.2 Pré-análise

Nesta primeira etapa geralmente, depois de coletados os dados, o material se organiza para ver o que pode ser avaliado e analisar e o que ainda precisa ser coletado (MACHADO, 2020). Para Bardim (2011) se deve fazer uma leitura do material, a seleção e organização dos documentos e se formulam as hipóteses. Desta forma se prepara o material para análises.

Em nosso caso após a coleta, organização do material este foi dividido em dois arquivos: as respostas dos alunos ao questionário e as colocações dos alunos

referentes à aula. Também podemos analisar o desenvolvimento do material e a participação do professor nas aulas.

Resaltamos que o material foi coletado no primeiro semestre de 2022, das atividades realizadas com os alunos de forma presencial e com os cuidados indicados pelo Ministerio da Saúde.

6.3 Exploração do Material

Nesta fase, o material é categorizado e codificado. Na codificação, deve ser feito o registro do material que pode ser as palavras, o tema, o objeto, o personagem, um acontecimento ou um documento (SOUSA & SANTOS, 2020).

Nesta etapa da pesquisa foram separadas as respostas dos alunos de forma a fazer uma análise por pergunta, ou seja, separou-se todas as respostas à pergunta um, todas as respostas à pergunta 2 e assim por diante. Após isto, fizemos as unidades de registro, segundo a escrita das respostas que consistiu em considerar as respostas positivas, neutras e negativas segundo um critério que será explicado no próximo item.

6.4 Tratamento dos Resultados Obtidos e Interpretação

Analisando os resultados obtidos é possível inferir uma interpretação, uma conclusão destes (BARDIN, 2011). Nossa inferência, ou interpretação dos dados, terá como objeto principal a análise das respostas dos alunos e as colocações deles no decorrer das atividades.

Feita esta reflexão, sobre os passos seguidos por Bardin (1977) para análise dos dados, serão apresentadas e analisadas as atividades, comentários dos estudantes, suas reações, suas dificuldades durante o desenvolvimento de toda a (SD) e o resultado de um questionário que tem como objetivo coletar informações sobre a satisfação, ou não, dos estudantes ao final da SD, como será descrito na análise dos resultados.

Pela participação dos estudantes e pelos comentários deles percebeu-se a preferência desta metodologia nas aulas práticas, pois se trata de uma aula prática onde eles visualizam a experiência e manuseiam o material. Um comentário entre dois

estudantes em particular merece destaque. Ao esperarmos para entrar no laboratório, ainda ocupado por outra turma, um dos alunos que saía brincou com uma aluna que iria entrar no laboratório:

“Agradece por termos tomado tempo da sua aula” ao que a aluna respondeu de forma espontânea “Que nada, esta aula é da hora”.

As atividades foram pensadas levando em conta as dificuldades dos estudantes - de todas as séries - em lidar com conceitos abstratos, a dificuldade de concentração, e a dificuldade em Matemática, fato este já discutido durante reuniões de professores da escola onde foi realizada a pesquisa.

6.5 Análise das Reações dos Alunos Durante o Desenvolvimento da Sequência Didática

Dos 25 alunos da classe, apenas 8 responderam às perguntas.

6.5.1 Análise das Atividades da Primeira Semana

Na primeira semana, as atividades propostas, como verificado na SD, tinham como objetivo levantar os conhecimentos dos alunos sobre o átomo e as forças que atuam entre as partículas do núcleo, chegando a falar da força nuclear. Resumidamente as atividades foram:

- Trabalhar o conceito e tamanho do átomo.
- Trabalhar o conceito de forças elétricas e forças nucleares

Dificuldades: trabalhar com números, converter milímetros em metros e dificuldade em trabalhar com potência de base 10.

Acertos: Reação positiva dos alunos ao entender o tamanho do átomo e distância entre o núcleo e a eletrosfera, entender a existência de forças diferentes das elétricas e magnéticas, as forças nucleares.

Ao trabalhar o conceito de força de repulsão eletrostática entre dois prótons do núcleo, foi pedido que os alunos tentassem aproximar os polos iguais de dois ímãs de neodímio conforme mostrado na Figura 57.

Figura 57 – Aluna experimentando a força de repulsão entre dois ímãs.



Fonte: Autor

Os alunos ficaram admirados com a dificuldade de aproximar os polos iguais, foi explicado que no núcleo também ocorre força de repulsão entre os prótons, porém a natureza da força envolvida é elétrica e não magnética como nos ímãs e o que supera esta força de repulsão é a força nuclear forte. Para trabalhar o conceito de força nuclear forte foram utilizadas tampinhas de garrafas representando os prótons e desenhado em torno de cada tampinha um círculo representando o alcance da força nuclear forte conforme mostrado na Figura 58. Questionando os alunos estes demonstraram ter entendido bem a atividade.

Figura 58 – Representação da força nuclear forte.



Fonte: Autor

6.5.2 Análise das Atividades da Segunda Semana

A primeira atividade da segunda semana consistiu em pesquisar pela internet taças e bandejas de uralina (vidro contendo urânio) à venda. Os alunos demonstraram desconhecer a existência destes artigos. Alguns alunos apenas questionaram “Não é perigoso?” não levantando mais nenhuma discussão. Sobre a areia monazítica de Guarapari foram mostrados alguns vídeos encontrados na internet e comentado sobre as supostas propriedades terapêuticas desta areia. Vários alunos manifestaram não acreditar nas supostas propriedades terapêuticas e achavam graça das pessoas se cobrindo com a areia preta da praia.

Nesta mesma aula foi passado um vídeo do Prof. Carl Willis com o título *Collecting a spent nuclear fuel fragment at Chernobyl* onde munido de um detector Geiger o Prof. Willis vasculha as redondezas de Chernobyl até encontrar um fragmento de aproximadamente 1 mm extremamente radioativo. Este momento serviu como referência para a atividade seguinte.

Na atividade seguinte os alunos tiveram a oportunidade de manipular um dosímetro de radiação ionizante. O dosímetro emitia um *beep* e acendia um LED sempre que detectava alguma radiação do ambiente. Ficou bem claro para os alunos que a radiação está presente em todo ambiente. Não fizeram comentários a respeito. Em seguida foi apresentado uma pequena porção de areia monazítica de uma praia de Guarapari (ES) e tiveram a oportunidade de comparar a radiação emitida pela areia com a radiação do ambiente (radiação de fundo). Não ficaram impressionados com a intensidade da radiação da areia pois os valores eram bem próximos da radiação do ambiente. A Figura 59 mostra o dosímetro medindo a radiação emitida pela areia.

Figura 59 – Dosímetro medindo radiação da areia monazítica.



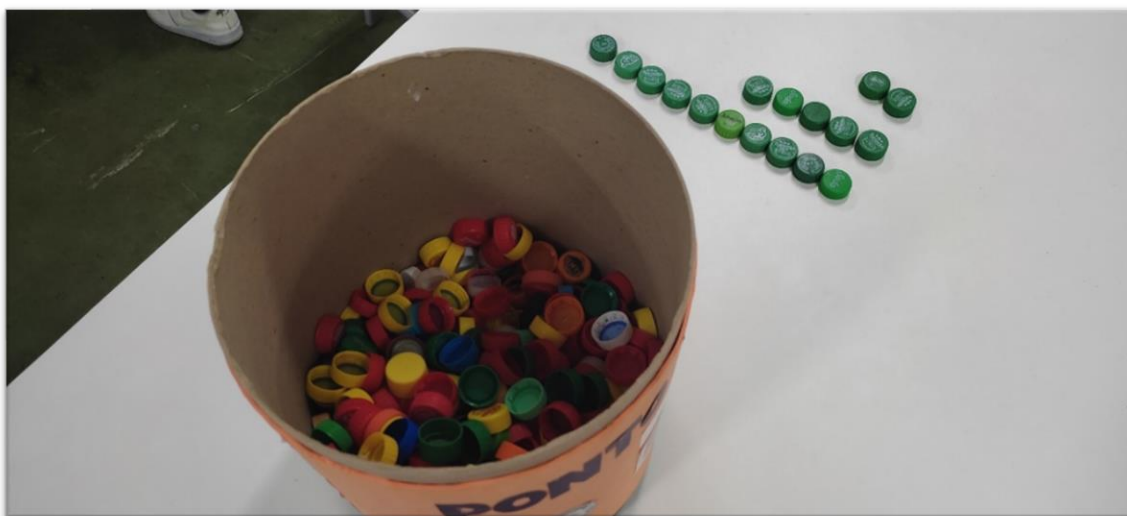
Fonte: Autor

Analisando esta atividade fica claro que os alunos quase não se manifestaram emitindo comentários, então, faltou acrescentar ao final da aula um momento em que eles pudessem escrever o que entenderam de tudo que fizeram durante a aula. Um outro ponto positivo desta atividade (e que se repetiu nas atividades seguintes) foi a participação de um aluno que tem pouca participação em todas as disciplinas.

6.5.3 Análise das Atividades da Terceira Semana

A atividade da semana 3 iniciou com uma atividade realizada em computador na Sala de Informática executando o simulador do site PhET, *Monte um Átomo*, onde eles podiam acrescentar ou retirar prótons, nêutrons e elétrons e o software sinalizava imediatamente se aquele átomo era estável ou instável. Esta aula foi importante para que compreendessem que o conceito de instabilidade. A atividade seguinte foi realizada no Laboratório de Física e consistia em desafiar os alunos a representarem o conceito de meia vida utilizando tampinhas de garrafa conforme mostrado na Figura 60.

Figura 60 – Atividade simulando decaimento radioativo.



Fonte: Autor

Muitos alunos apresentaram dificuldade em entender o conceito de meia vida sendo necessário trabalhar o conceito novamente. A atividade consistia em explicarem para o professor o conceito de meia vida utilizando as tampinhas, então, foi possível detectar os equívocos dos estudantes de forma imediata.

6.5.4 Análise das Atividades da Quarta Semana

Na semana 4 os alunos apresentaram em grupos os trabalhos de pesquisa envolvendo o tema radiação. Quase todos os grupos cometeram o erro de lerem um texto sobre o trabalho demonstrando enorme dificuldade de explicarem utilizando suas próprias palavras. Outro ponto observado foi que as pesquisas realizadas eram bem superficiais.

Isto mostra que é necessário que os alunos realizem pesquisas, façam resumos e saibam colocar as ideias principais na classe e por conseguinte em outros espaços, desde o ensino fundamental, atividades fortemente indicadas na Base Nacional Comum Curricular.

6.5.5 Análise das Atividades da Quinta Semana

Na quinta semana o professor leu alguns trechos do livro *Os Homens do Fim do Mundo*, novamente aqui faltou ao final da aula pedir aos alunos escreverem o que entenderam e o que lhes chamou a atenção pois não fizeram comentários e

tinham dificuldade de ficarem quietos durante a leitura. Em alguns alunos podia-se notar interesse pela leitura e em outros não. Refletindo sobre esta atividade o mais indicado seria cada aluno ler um trecho escolhido pelo professor pois poderia trabalhar a habilidade de leitura.

6.5.6 Análise das Atividades da Sexta Semana

Na sexta semana foi realizado o experimento de ionização do ar por uma fonte radioativa. Este experimento despertou enorme curiosidade por partes dos alunos, alguns perguntando se “Pode colocar o dedo?” referindo-se à centelha da alta tensão. Ao explicar que o transistor aquece rapidamente alguns alunos tiveram a curiosidade de colocar o dedo no transistor. Ao professor coube apenas controlar o liga/desliga da fonte e orientar quando necessário, o tempo todo os alunos conduziram o experimento aproximando a fonte radioativa dos terminais e colocando uma folha de papel para impedir a radiação alfa de ionizar o ar entre os terminais. Como ao colocar uma folha de caderno entre a fonte de radiação e os terminais não ocorria a centelha foi perguntado que tipo de radiação era aquela que podia ser detida por uma simples folha de papel, vários alunos responderam corretamente “Radiação gama”. Os alunos tiveram grande participação no experimento e podia-se notar que ficaram impressionados com a centelha de alta tensão. Refletindo posteriormente sobre esta atividade o mais indicado seria ter um momento maior para trabalhar sobre o que eles entenderam do experimento. A atividade seguinte foi a realização do experimento *Detecção de Radiação Ionizante por Sensor CMOS Digital* onde primeiro não foi colocado nenhum obstáculo entre o sensor CMOS e a fonte de radiação, depois colocado apenas uma folha de papel como obstáculo e por último várias folhas de papel alumínio dobradas formando várias camadas. Como a radiação atravessava a folha de papel, ao serem indagados qual deve ser a radiação os alunos responderam “Não é radiação alfa” e outros “Pode ser gama ou beta” o que é um ótimo resultado. Quando o obstáculo era a folha de alumínio a resposta de alguns alunos foi imediata “Gama”, outro ótimo resultado. Mais uma vez, refletindo sobre esta atividade entende-se que faltou um momento de os alunos exporem o que entenderam sobre o experimento ao final da atividade.

6.6 Respostas ao Questionário Sobre as Atividades Realizadas

Após a realização das atividades propostas na SD foi passado aos alunos um questionário para avaliar as atividades, analisar a reação dos alunos frente à metodologia empregada nas aulas e os indicativos para melhorar a SD.

Foram feitas sete perguntas abertas com o objetivo de coletar informações relevantes sobre o posicionamento dos alunos. Em alguns casos a análise de perguntas abertas pode ser mais complicada, por exemplo no caso de muitas respostas. Iniciamos por fazer uma leitura de todas as respostas. Segundo Bardi (2011), nesta etapa se começa o tratamento dos dados, logo de realizar o agrupamento das respostas para cada pergunta a seguir.

Por serem perguntas que mais de uma resposta pode ser a certa análise fica difícil de quantificar, ou seja, falar quantas respostas são certas ou quantas estão erradas, além disto são poucas respostas.

A dificuldade da análise se deve a dois problemas: poucos alunos responderam as questões e as perguntas deveriam ter sido mais bem formuladas. Por estas razões a análise será qualitativa indo das melhores para a piores respostas, representada na forma de degradação de cor, por exemplo, se for azul será de um azul forte para as respostas certas e quase branco para respostas erradas.

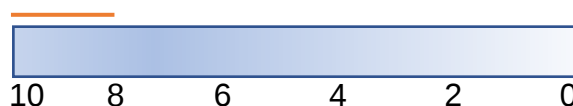
1) Sobre a série de aulas sobre radiação, escreva o que você aprendeu.

A radiação é utilizada para várias coisas como tratamento de doenças, geração de energia, mas também tem seus malefícios.

Apreendi que a radiação está em todos lugares, sendo em alguns casos de forma maléfica, podendo ser deletada ou utilizada de diversas maneiras.

Apreendi que a radiação é ionizante e que pode ser barada com certos tipos de materiais.

Devido às respostas: radiação pode ser utilizada de diferentes maneiras, a radiação nos rodeia, a radiação pode ser detectada, a radiação também é utilizada de forma maléfica, a radiação ionizante pode ser “barrada” com diversos materiais, concluímos que os alunos compreenderam o que é radiação mas faltou definir ela, ou seja, falar que a radiação é a propagação de energia por meio de partículas ou de ondas eletromagnéticas em movimento. Talvez tenha faltado enfatizar mais, durante toda a sequência de aulas, que nem toda radiação é ionizante e reforçar seu caráter de energia. Fazendo uma representação gráfica do total de respostas, que podemos considerar como afirmativas ou negativas, temos um valor entre 8 e 10.



O que você achou mais curioso ou interessante?

achei interessante como é o processo que a "faísca" se forma no experimento

é radiação no porafuso foi uma das mais legais

o experimento que mostra a radiação gerando uma faísca entre o porafuso e o outro

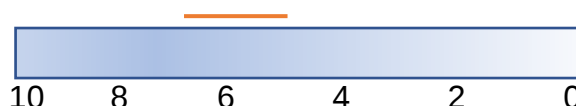
o fato que a radiação está em todo lugar

os experimentos também são super interessantes

o fato de ter radiação em todo lugar

Para a segunda pergunta pode-se observar pelas respostas que o experimento com alta tensão foi o mais interessante para os alunos. Outro aspecto que os alunos acharam interessante foi “de ter radiação em todo lugar”. Neste ponto é importante

observar que provavelmente o aluno estava se referindo à radiação não ionizante, pois radiação eletromagnética não ionizante, como ondas de rádio, telefone celular, por exemplo, estão presentes em praticamente todos os ambientes que frequentamos. Também é importante salientar que eles não se referem ao fato de poder visualizar a detecção de uma partícula, sendo que este era um dos objetivos. A representação gráfica nos leva a uma avaliação entre 5 e 7,



2) Sobre o fato de a radiação estar em todo lugar, inclusive no seu corpo, este fato te surpreendeu ou não?

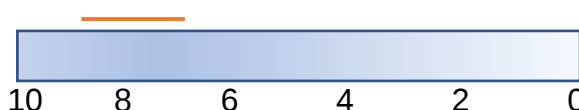
3) Sobre o fato de a radiação estar em todo lugar, inclusive no seu corpo, este fato te surpreendeu ou não?

Sim surpreende e muito

Sim, porque quando pensamos em radiação automaticamente pensamos em algo ruim, mas nem toda radiação é ruim.

Sim, pois você não imagina isso.

As respostas da pergunta três mostram que o fato de a radiação estar em todo lugar foi algo que os alunos não imaginavam que era assim. Também é possível inferir da resposta, que apesar da radiação ionizante estar em todo ambiente e convivermos com ela, o risco da radiação para a saúde está presente. Pode-se representar por,



3) As aulas práticas com experimentos contribuíram de alguma forma para seu aprendizado?

Sim, elas tornaram mais fáceis de entender.

As respostas à pergunta quatro sobre se as aulas práticas contribuíram para o aprendizado do aluno, só temos uma resposta, pelo que fica difícil inferir, mas a resposta foi positiva.

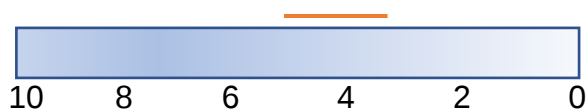


4) Sobre o experimento de detecção de radiação utilizando um sensor CMOS de uma Webcam, o que você entendeu sobre este experimento?

Sensor sensível a luz, era colocado em uma garrafa de metal tampada, a radiação era mandada e a webcam detectava a radiação e registrava as coordenadas no computador.

Entendi que mesmo em um ambiente escuro a webcam detecta pontos de luz que é a radiação mostrada no programa.

Sobre a questão cinco, alguns alunos demonstraram terem entendido o experimento, entretanto pelas respostas alguns alunos demonstraram não ter compreendido bem o experimento. Por envolver vários aspectos diferentes, como a forma como uma imagem é guardada em um computador, o sistema RGB e o próprio sensor CMOS, talvez essa atividade deveria ter tomado mais de uma aula e explicado de forma diferente a formação da imagem.

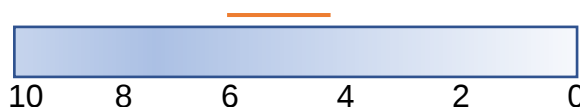


5) Sobre o experimento com alta tensão em que uma centelha surgia entre os terminais (parafusos), o que você entendeu sobre este experimento?

Entendi que após aproximar a radiação e ocorrer a passagem entre o parafuso o ar ficava ionizado e se criava um centelha.

A radiação quando "tomba" com os átomos o ar fica carregado automaticamente, causando assim uma centelha.

A questão seis era sobre o experimento com a centelha de alta tensão e perguntava o que o aluno entendeu sobre esta atividade. Das respostas podemos observar um entendimento regular sobre o experimento.



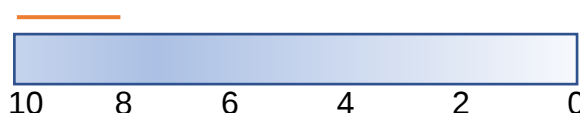
7) O que você mudaria nesta série de aulas sobre radiação?

Nada, pois as aulas são incríveis.

NÃO MUDARIA NADA, POIS EU ACHO AS AULAS SUPER INTERESSANTES

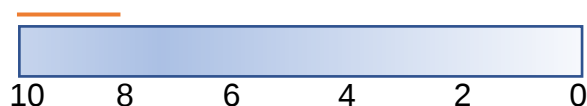
Nada, pois tudo deu para entender

A questão sete indagava os alunos sobre o que eles mudariam sobre esta série de aulas sobre radiação. As respostas basicamente são as mesmas "Não mudaria nada".

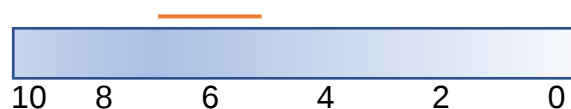


Agrupando as respostas temos,

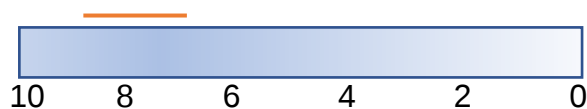
1) Sobre a série de aulas sobre radiação, escreva o que você aprendeu.



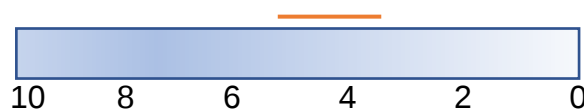
2) O que você achou mais curioso ou interessante?



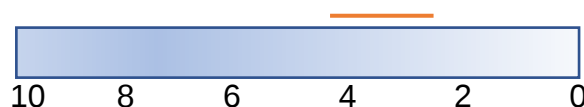
3) Sobre o fato de a radiação estar em todo lugar, inclusive no seu corpo, este fato te surpreendeu ou não?



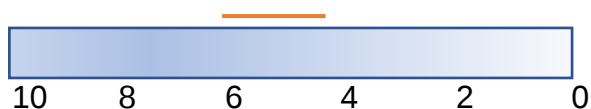
4) As aulas práticas com experimentos contribuíram de alguma forma para seu aprendizado?



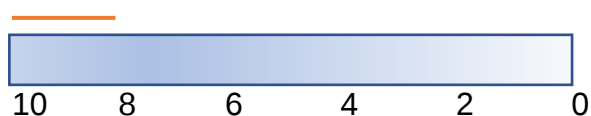
5) sobre o experimento de detecção de radiação utilizando um sensor CMOS de uma Webcam, o que você entendeu sobre este experimento?



6) Sobre o experimento com alta tensão em que uma centelha surgia entre os terminais (parafusos), o que você entendeu sobre este experimento?



7) O que você mudaria nesta série de aulas sobre radiação?



Agrupando as respostas e as representações gráficas das respostas, podemos verificar que a metodologia empregada foi muito adequada, pois os alunos se manifestaram a favor deste tipo de aula. Poderíamos dizer que das sete respostas às perguntas, só quatro receberam avaliação acima de cinco.

Não houve respostas que poderiam ser consideradas negativas e as respostas com avaliação inferior a cinco indicam que apesar do experimento ter sido positivo para a aprendizagem do tema, faltou uma explicação melhor sobre o experimento e a relação com a teoria, o que indica que as perguntas deveriam ter sido formuladas de outra forma. No item considerações finais faremos uma análise detalhada de cada etapa das atividades.

*Necesitamos especialmente de la
imaginación en las ciencias.
Maria Montessori*

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando a dissertação como um todo há que separar os resultados em: os conhecimentos adquiridos pelo professor responsável pela dissertação, as atividades realizadas com os alunos e a potencialidade do produto educacional.

Um dos objetivos do MNPEF é desafiar o professor a contribuir com o ensino de física. Para isto é necessário que ele estude o tema, as metodologias atuais, e os principais referenciais que sustentam a pesquisa. Por se tratar de:

- Um tema atual e pouco conhecido pelos alunos;
- Por ser necessário construir o experimento, onde foi necessário utilizar conhecimentos específicos da área de computação para depois aplicá-los e verificar a possibilidade de utilizar o experimento junto com os alunos;
- Construir um experimento diferente que mostra outras formas de visualizar a radiação além de câmeras de nuvens e equipamentos sofisticados
- A necessidade de escrever um texto, que pode ser obvio para alguns mas um desafio para outros.

Podemos considerar este objetivo alcançado.

Sobre as atividades realizadas, os resultados indicam que a atividade em si foi apropriada e despertou a curiosidade dos alunos, a maioria deles se manifestou a favor da metodologia utilizada. No entanto, os resultados também mostram que o conteúdo deveria ter sido apresentado com mais ênfase no que é a radiação e suas aplicações e, também os perigos que apresenta o mal-uso dela.

Ficou claro, pela participação e pelas respostas dos alunos ao questionário aplicado ao final da sequência didática, que a atividade prática promove um melhor engajamento por parte dos estudantes e melhora o processo de ensino aprendizagem. Quanto ao experimento *Detecção de Radiação Ionizante por Sensor CMOS* o experimento se mostrou viável de ser realizado em sala de aula e com um baixo custo dos materiais necessários para sua realização.

Sobre o produto educacional pode-se dizer que se trata de um texto completo que contempla referenciais, metodologia, descrição de todos os materiais, como utilizar os sensores, o software para captação e tratamento das imagens da webcam utilizado.

Este experimento também mostra a possibilidade de ser explorado de forma multidisciplinar pois envolve o conceito de coordenadas e pensamento computacional. Outra possibilidade pedagógica seria associar este experimento com as atividades de aceleradores de partículas famosos como o CERN e o Fermilab. Uma dificuldade deste experimento e do experimento *Ionização do Ar com Fonte Radioativa*, é a necessidade de monitoração constante por parte do professor, então, seria mais adequado aplicar a metodologia de rotação por estação quando for aplicado em uma sala muito numerosa.

Esclarecimentos sobre o software utilizado na webcamp se encontra no link https://github.com/HenriqueCesarFonseca/gamma_detector#readme

REFERÊNCIAS

ABDALLA, Maria Cristina Batoni. **O discreto charme das partículas elementares**. São Paulo: Editora UNESP, 2006.

ALVES FILHO, J.P. **Atividades experimentais: do método à prática construtivista**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Educação - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências da Educação, 2000.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Educational psychology: a cognitive view**. Second Edition. New York. USA: Ed. Holt, Rinehart and Winston, 1978.

BACICH, Lilian; MORAN, José. **Metodologias Ativas para uma Educação Inovadora: Uma Abordagem Teórico-Prática**. Edição do Kindle. Porto Alegre: Penso, 2018.

BATISTA, M.C; FUSINATO, P.A. **Reflexões sobre a Importância da Experimentação no Ensino de Física**. Acta Scientiarum. Language and Culture (Impresso), (Cessou em 2007. Cont. ISSN 1983-4675), v. 31, p. 43-49, 2009.

BAUER, Wolfgang; WESTFALL, Gary D.; DIAS, Helio. **Física para Universitários**. Porto Alegre: AMGH, 2013. Disponível em: <<https://minhabiblioteca.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

BOYLESTAD, Robert L.; NASHELSKY, Louis; **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos**. 8ª edição. São Paulo: Prentice Hall, 2004. Disponível em: <<https://plataforma.bvirtual.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

BRASIL, Secretaria de Educação Básica. Diretoria de Apoio à Gestão Educacional. Pacto nacional pela alfabetização na idade certa: alfabetização em foco: projetos didáticos e sequências didáticas em diálogo com os diferentes componentes curriculares: ano 03, unidade 06 / Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, Diretoria de Apoio à Gestão Educacional. -- Brasília: MEC, SEB, 2012.

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André. P. **Metodologia do ensino de ciências**. São Paulo: Cortez, 2000

DEYLLLOT, Mônica Elizabete Caldeira. **Física das Radiações: Fundamentos e Construção de Imagens**. 1ª edição. São Paulo: Érica, 2015. Disponível em: <<https://minhabiblioteca.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. LHC – **O Maior Acelerador de Partículas do Mundo**. UOL – Mundo da Educação. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/lhc-maior-acelerador-particulas-mundo.htm>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

GERHARDT, T.E.; SILVEIRA, D.T. **Métodos de pesquisa**. Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS, Porto Alegre: Editora da UFRGS, 120 p., 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GODOY A.S. **Pesquisa qualitativa tipos fundamentais**. Revista de Administração de Empresas São Paulo, v. 35, n.3, p, 20-29 maio/jun. 1995

COGLIATI, Joshua J; DERR, Kurt W.; WHARTON, Jayson. **Using CMOS Sensors in a Cellphone for Gamma Detection and Classification**. Cornell University – arcXiv. 7 de jan. 2014. Disponível em: <<https://arxiv.org/pdf/1401.0766.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

GONZALEZ, Rafael C.; WOODS, Richard E.. **Processamento digital de imagens**. 3ª edição. São Paulo: Pearson, 2010. Disponível em: <<https://plataforma.bvirtual.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

GUIMARÃES, L. R. **Série professor em ação: atividades para aulas de ciências: ensino fundamental, 6º ao 9º ano**. 1.ed. – São Paulo: Nova Espiral, (2009).

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física - Vol. 4 - Óptica e Física Moderna**. 10ª edição. Rio de Janeiro: LTD – Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2016. Disponível em: <<https://minhabiblioteca.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

HOUSECROFT, Catherine E.; SHARPE, Alan G. **Química Inorgânica - Vol. 2**. 4ª edição. Rio de Janeiro: LTD – Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2013. Disponível em: <<https://minhabiblioteca.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

LATTES, César. **Descobrimos a Estrutura do Universo**. São Paulo: Editora UNESP, 2001.

Khan Academy. **Espectro eletromagnético**. Disponível em: <<https://pt.khanacademy.org/science/9-ano/materia-e-energia-as-ondas>>. Acesso em: março 2021.

KURODA, Takao. **Essential Principles of Image Sensors**. Boca Raton: CRC Press, 2015. Disponível em: <<http://materias.df.uba.ar/l5a2021c1/files/2021/05/Takao-Kuroda-Essential-Principles-of-Image-Sensors-CRC-Press-2015-1.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

LAGANÁ, C.. **Estudo de raios cósmicos utilizando uma câmara de nuvens de baixo custo**. Dissertação – São Paulo: Instituto de Física Teórica, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, p 5. 2011.

MAMEDE, Marcelo. **Tecnologia Radiológica**. 1ª edição. Rio de Janeiro: MedBook Editora, 2019. Disponível em: <<https://minhabiblioteca.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

MANTOVANI, S.R., ARAYA, A.M.O. **Sequência didática como instrumento para a aprendizagem significativa do efeito fotoelétrico**, Dissertação de Mestrado,

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, polo 16, Presidente Prudente, Universidade Estadual Paulista, Outubro de 2015

MARTINAZZO, C.A.; TRENTIN, D.S.; FERRARI, D.; **PERSPECTIVA**, Erechim. v. 38, n.143, p. 21-30, 2014

MARQUES, Ângelo Eduardo, CHOUERI JÚNIOR, Salomão; CRUZ, Eduardo Cesar Alves. **Dispositivos Semicondutores: Diodos e Transistores**. 13ª edição. São Paulo: Érica, 2012. Disponível em: <<https://minhabiblioteca.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

MARUMO, Júlio Takehiro. **Avaliação da contaminação provocada por parâmetros radioativos de Amerício-241 descartados em lixões**. 2006. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear - Materiais) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. doi:10.11606/T.85.2006.tde-29052007-151318. Acesso em: 27 nov. 2022.

MASINI, E. F. S.; MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa: a teoria de aprendizagem de David Ausubel**. São Paulo: Centauro Editora. 2ª edição, 2006.

MESQUITA, Marcelo David Silva de. **Matéria e Radiação: Uma Abordagem Contextualizada ao Ensino de Física**. Dissertação - Simplíssimo Livros. Edição do Kindle, p. 112. 2011.

MOREIRA, Marco Antonio. **Aprendizagem significativa crítica**. Porto Alegre, 2000.

MOREIRA, Marco Antonio. **A Teoria da Aprendizagem significativa e sua implementação em Sala de Aula**. Brasília: /editora da Universidade de Brasília, 2006.

NOVAK, D. Joseph. **Aprender a Aprender**. Plátano-Edições Técnicas. Lisboa, 1996.

OKUNO, Emico. **Radiação: efeitos, riscos e benefícios**. São Paulo: Oficina de Textos, 2018. Disponível em: <<https://plataforma.bvirtual.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

QUALIBEST. Disponível em: <<https://www.institutoqualibest.com/blog/dicas/entenda-o-que-e-pesquisa-qualitativa-e-quantitativa/>> (Primeiro instituto de pesquisas online do Brasil). Acesso em: novembro de 2020.

ROCCA, Fátima Fernandes Della; MARTINS, Fernando Ramos; JARDIM, Vladimir. **Física, biossegurança e proteção radiológica**. Santo André: Difusão Editora, 2022. Disponível em: <<https://plataforma.bvirtual.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2022

ROCHA (Org.) José Fernando; PONCZEK, Roberto I. Leon; PINHO, Suani T. Rubin de; ANDRADE, Roberto F. Silva; JÚNIOR, Olival Freire; FILHO,

Aurino Ribeiro – **Origens e evolução das ideias da física.** Salvador: EDUFABA, 2011. E-book Kindle.

SERÉ, M.G., COELHO, S.M., NUNES, A.D. **O papel da experimentação no ensino da física.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.20, n.1: 30-42, 2003.

SERWAY, Raymond, A. e John W. JEWETT JUNIOR. **Princípios de Física - Volume 4 - Óptica e Física Moderna** – Tradução da 3ª edição norte-americana. São Paulo: Pioneira Thomsom Learning, 2004.

SERWAY, Raymond, A. e John W. JEWETT JUNIOR. **Física para cientistas e engenheiros - Volume 4 - Luz, óptica e física moderna** – Tradução da 9ª edição, 2ª edição. São Paulo: Cengage Learning Brasil, 2018. Disponível em: <<https://minhabiblioteca.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

SHOULONG, X e col. **Gamma Ray Detection Using Commercial Off-the-Shelf CMOS and CCD Image Sensors.** IEEE Sensors Journal, vol. 17, no. 20, pp. 6599-6604 15 out. 2017. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

SMITH, P. D.. **Os Homens do fim do mundo: o verdadeiro dr. Fantástico e o sonho da arma total.** São Paulo: Companhia das Letras, 2008.

SOUZA, R.A. **Teoria da Aprendizagem Significativa e experimentação em sala de aula: integração teoria e prática.** Dissertação de mestrado, Salvador - Ba 2011.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de. **Sensores industriais.** 9ª edição. São Paulo: Érica, 2020. Disponível em: <<https://minhabiblioteca.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

TIPLER, Paul, A.; LLEWELLYN, Ralph A. **Física Moderna.** 6ª edição. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Ltda, 2014. Disponível em: <<https://minhabiblioteca.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

TOMA, Henrique E. *Estrutura atômica, ligações e estereoquímica.* 2ª edição. São Paulo: Editora Blucher, 2013. Disponível em: <<https://minhabiblioteca.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

VAHID, Frank. **Sistemas digitais: projeto, otimização e HDLs.** Porto Alegre: ARTMED, 2008. Disponível em: <<https://minhabiblioteca.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

APENDICES

APÊNDICE A – FONTE RADIOATIVA DE AMERÍCIO-241

A fonte de radiação gama utilizada no experimento de detecção radiação gama com sensor de imagem CMOS, é uma fonte radioativa de amerício-241 utilizada em detectores de fumaça, mostrada na Figura 1.

Figura 1 – Fonte radioativa de amerício-241



Fonte: Autor

A capsula mostrada na Figura 1 pode ser vista desmontada na Figura 2.

Figura 2 – Capsula desmontada.

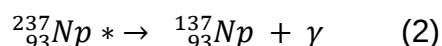
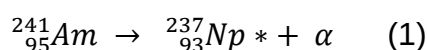


Fonte: Autor

Tipler e Llewellyn explicam o princípio por traz de um detector de fumaça,

Em um tipo de detector de fumaça, partículas α emitidas por uma pequena quantidade de ^{241}Am ionizam o ar, permitindo a passagem de uma corrente elétrica entre dois eletrodos. Em caso de incêndio, a fumaça neutraliza parte dos íons e a redução da corrente elétrica faz soar um alarme. Este detector é mais sensível que os modelos que usam sensores fotoelétricos. (TIPLER e LLEWELLYN, 2014, p.322).

O amerício foi descoberto em 1944, seu nome é dedicado à América. O isótopo amerício-241 é radioativo e possui uma meia-vida de 432 anos, sofre decaimento alfa transmutando em neptúnio-237 no estado excitado. O neptúnio-237 passa do estado excitado para o estado de energia fundamental com a emissão gama de baixa energia. O neptúnio-237 tem uma meia vida de 2,14 milhões de anos – descoberto em 1940 o nome neptúnio foi inspirado no planeta Netuno. As Equações (1) e (2) descrevem o decaimento do amerício-241 (MARUMO,2006; TOMA, 2013; TIPLER e LLEWELLYN, 2014).



Portanto, a amostra de amerício-241 emite radiação alfa e gama ao mesmo tempo. A atividade da amostra que consta na capsula é de 0,8 μCi o que equivale a 29,6 kBq.

Figura 3 – Capsula



Fonte: Autor

APÊNDICE B – EXPERIMENTO: DETECÇÃO DE RADIAÇÃO IONIZANTE POR DISPARO DE CENTELHA

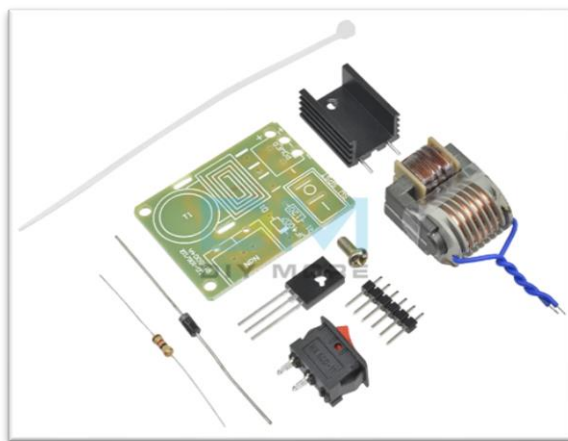
A inclusão deste experimento teve como objetivo demonstrar mais uma forma de detectar radiação ionizante e aprofundar o entendimento da radiação ionizante. Um kit DIY (Do it Yourself) gerador de alta tensão (15 kV) foi adquirido em um site de compras para a realização deste experimento.

O princípio de funcionamento do experimento consiste em deixar dois terminais, com uma alta diferença de potencial (tensão elétrica), o mais próximo possível antes que ocorra uma centelha (arco voltaico) e só então ionizar o ar entre os terminais com a fonte de radiação amerício-241. O ar ao ser ionizando permite que surja uma centelha entre os terminais, o que é uma evidência de radiação ionizante.

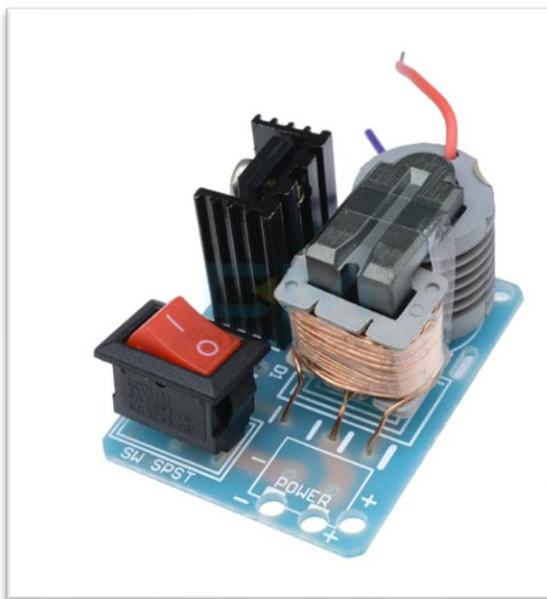
A fonte de radiação amerício-241 emite ao mesmo tempo as radiações alfa e gama. Neste experimento o objetivo é ionizar o ar e, conforme visto anteriormente, a radiação alfa interage fortemente com o ar e a radiação gama terá pouca probabilidade de ionizar o ar pois o número atômico do oxigênio, nitrogênio e carbono do ar não são suficientes grandes para que ocorra uma ionização observável neste experimento.

A Figura 1 ilustra as peças antes da montagem e a Figura 2 mostra como fica o circuito após a montagem. O kit foi alimentado por uma fonte de 5V e 3A DC (aproveitada de sucata).

Figura 1 – Kit Gerador de Alta Tensão

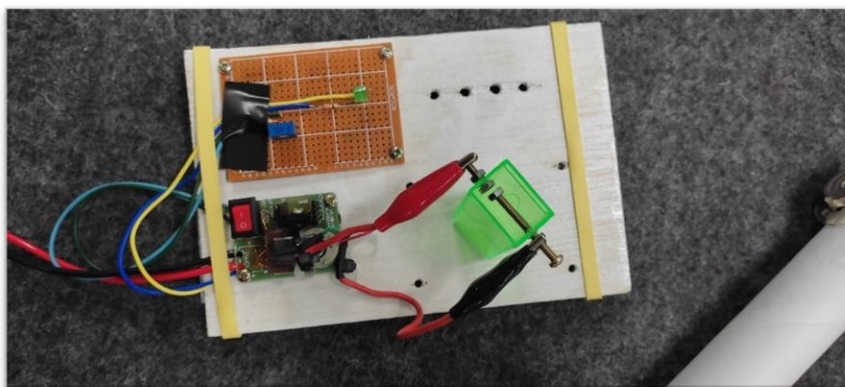


Fonte: <https://pt.aliexpress.com/>

Figura 2 – Kit Gerador de Alta Tensão

Fonte: <https://pt.aliexpress.com/>

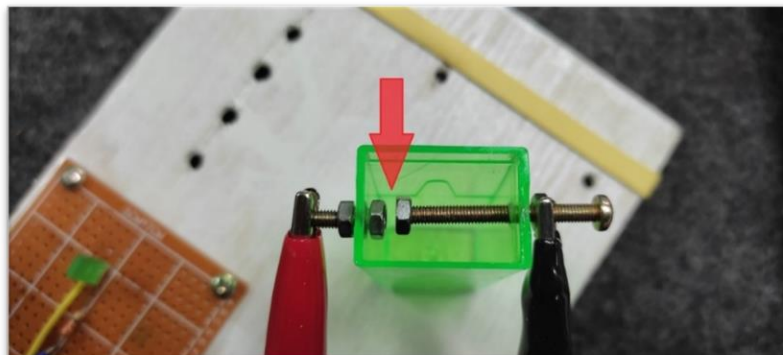
Após a montagem do kit foi observado que o transistor sobreaquecia, foi instalado então um resistor e um trimpot (um potenciômetro em miniatura) em série com um resistor numa tentativa de reduzir a corrente no transistor e diminuir o sobreaquecimento. Também foi instalado um LED para sinalizar quando a fonte de alimentação de 5V estaria ligada e evitar tocar nos terminais com a fonte ligada. Consultando outros fornecedores do kit foi descoberto que não era recomendável deixar o arco voltaico por mais de 5 segundos. Também foi observado que uma vez ocorrendo o arco voltaico este só cessava se a fonte de 5V fosse desligada.

Figura 3 – Montagem final do Kit Gerador de Alta Tensão

Fonte: Autor

A Figura 3 mostra a montagem final sobre uma base de madeira. Para permitir um controle da distância entre os terminais foi utilizado a carcaça de um apontador de lápis onde dois parafusos foram fixados de cada lado conforme mostrado na Figura 4.

Figura 4 – Parafusos permitem ajustar a distância entre estes



Fonte: Autor

A capsula com o amerício-241 foi presa a um bastão de papelão conforme mostrado na Figura 5 para evitar a sua manipulação direta e evitar proximidade com os terminais de alta tensão. Para evitar dúvidas se o surgimento do arco voltaico se devesse a presença de uma peça de metal que de alguma forma interferisse no campo elétrico entre os terminais e não à radiação ionizante, foi preparado um segundo canudo com uma moeda na sua extremidade também mostrado na Figura 5.

Figura 5 – Bastões com fonte ^{241}Am e moeda



Fonte: Autor

Ao colocar a fonte de radiação próxima dos terminais surgia um arco voltaico, conforme mostrado na Figura 6.

Figura 6 – Centelha entre os terminais



Fonte: Autor

A Figura – 7 mostra a fonte de alimentação de 5V utilizada para alimentar o gerador de alta tensão.

Figura 7 – Fonte de alimentação 5V DC utilizada para alimentar o gerador de alta tensão



Fonte: Autor

APÊNDICE C – AREIA MONAZÍTICA DE GRARAPARI (ES)

A areia monazítica utilizada no experimento (150g) foi obtida em um site de compras online. Os alunos não tiveram contato direto com esta fonte pois a areia se ecotrava em um recipiente de vidro. Sobre a areia monazítica Okuno (2018) escreve,

Ainda hoje, muitas pessoas se enterram nas areias monazíticas de Guarapari (ES), ricas em tório, para o tratamento das mais variadas doenças, tais como reumatismo e artrite. Na internet, há propagandas sobre as areias monazíticas informando serem areias escuras e ricas em monazita, com poder medicinal e alto teor de radioatividade. Alguns anos atrás, certos rótulos de água mineral ostentavam como propaganda seu nível de radioatividade. Hoje, não mais (OKUNO, 2018, p.25).

O Quadro 7 mostra uma tabela com áreas com alta dose de radiação de fundo.

Quadro 7 – Áreas com alta dose de radiação de fundo (background).

País	Área	Característica da área	Taxa de dose absorvida no ar (nGy/h)
Brasil	Guarapari	Areia monazítica e áreas costeiras	90 a 170 (ruas) 90 a 90.000 (praias)
	Minas Gerais (Poços de Caldas, Araxá) e Goiás	Rochas intrusivas vulcânicas	110 a 1.300
China	Yangjiang e Quangdong	Partículas monazíticas	Média 370
Egito	Delta do Nilo	Areia monazítica	20 a 400
França	Região Central	Areia granítica, área de xisto, área de arenito	20 a 400
	Sudoeste	Minerais de urânio	10 a 400
Índia	Kerala, Madras Delta do Ganges	Areia monazítica e áreas costeiras	200 a 4.000 260 a 440
Irã	Ramsar Mahallat	Águas de nascentes	70 a 17.000 800 a 4.000
Itália	Lazio	Solo vulcânico	180
	Campânia		200
	Orvieto (cidade)		560
	Sul da Toscana		150 a 200
Suíça	Tessin, Alpes, Jura	Gnaiss e ^{226}Ra em solos cáustcos	100 a 200

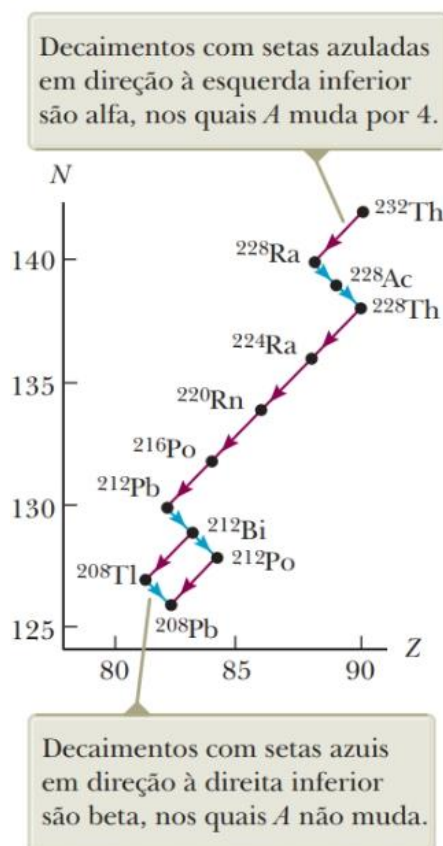
Fonte: MAMEDE (2019, p. 352)

Segundo Mamede (2019),

No Brasil, as cidades de Guarapari (ES), Meaípe (ES) e Poços de Caldas (MG) apresentam alta radiação de fundo devido à presença de depósitos minerais que contêm tório e urânio. Esses minerais são também comumente encontrados em residências, pois estão presentes na composição de tijolos, concretos, granitos etc. (MAMEDE, 2019, p. 7).

O símbolo do tório é Th, teve seu nome inspirado no deus escandinavo da guerra *Thor* e seu isótopo natural mais abundante é o tório-232 (^{232}Th) com meia vida de $1,41 \times 10^{10}$ anos. A série de decaimentos que inicia com o tório-232 é denominada série do tório, mostrada na Figura 2, onde primeiro o ^{232}Th sofre decaimento alfa transmutando para o ^{228}Ra . O tório é extraído da monazita (uma mistura de fosfatos metálicos) na forma de ThO_2 . O urânio-238 corresponde à 99,247% da abundância isotópica natural (TOMA, 2013; HOUSECROFT e SHARP, 2013; SERWAY e JEWETT, 2018).

FIGURA 2 – Decaimentos sucessivos para a série do ^{232}Th



Fonte: SERWAY e JEWETT (2018, p. 333)

APÊNDICE D – SOFTWARE PARA CAPTAÇÃO E TRATAMENTO DAS IMAGENS DA WEBCAM

O software para captação e tratamento das imagens da Webcam foi desenvolvido utilizando a linguagem C++, a biblioteca de programação de código aberto OpenCV (Open Source Computer Vision) e a IDE (*Integrated Development Environment*) gratuita Visual Studio Community da empresa Microsoft.

O software desenvolvido (**DetectaRad.exe**) está disponível para operar apenas com o sistema operacional Windows da Microsoft.

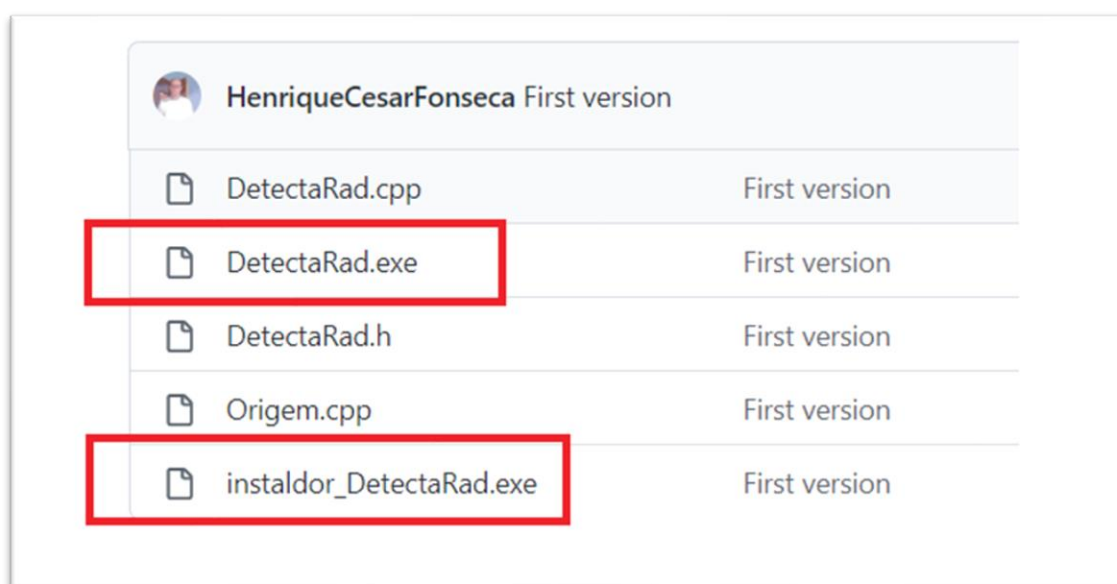
A instalação do software é feita em duas etapas:

1º) Fazer o download do software executável no site:

https://github.com/HenriqueCesarFonseca/gamma_detector.git

Existe uma versão com instalador automático (**instalador_DetectaRad.exe**) e uma versão executável sem instalador (**DetectaRad.exe**), conforme mostrado na Figura 1.

FIGURA 1 – Programa executável.



Fonte: Autor

2º) Para instalar a versão com instalador basta baixar o programa, clicar no ícone **instalador_DetectaRad.exe** e responder às perguntas.

Para instalar a versão sem instalador (**DetectaRad.exe**), basta baixar o programa, copiar e colar, em qualquer pasta do computador e criar um atalho caso queira.

O arquivo **README** no mesmo site contém todas as instruções de uso do software e licenças de uso.

Os arquivos fontes também estão disponíveis no mesmo site, são três arquivos fontes:

Origem.cpp

DetectaRad.h

DetectaRad.cpp

Segue a fonte do arquivo DetectaRad.h:

```
#pragma once
#include <opencv2/opencv.hpp>
#include <vector>
#include <fstream>

#define LIMITE_DE_PONTOS {20000};

class DetectaRad
{
private:

    int padroes_de_resolucoes[6][2] = {
        {320,240},
        {640,360},
        {640,480},
        {800,600},
        {1280,720},
        {1280,800}
    };

    struct CamEscuro {
```

```

        bool b_camera_esta_no_escuro{ false };
        int  numero_da_camera_no_escuro{ 0 };
    }CameraNoEscuro;

    const int ESC{ 27 };
    int largura { 0 };
    int altura  { 0 };
    int webcam_selecionada { 0 };
    int total_de_frames_testados { 0 };
    int total_de_frames_detectados { 0 };
    int limiar_nivel_cinza_para_deteccao { 20 };
    int limiar_nivel_cinza_para_escuro{ 10 };
    int coordenadas_xy[20000][4] {};
    int raio_circulo{ 10 };
    int espessura_circulo{ 2 };
    std::string nome_file_pontos{};
    std::string path_diretorio_base;
    std::string nome_diretorio_full {};
    cv::Mat frame, frame_gray;

    std::vector<int> cameras_detectadas{};
    int numero_de_cameras_detectadas{ 0 };
    int matriz_resolucoes_detectadas[6][2]{};
    int limite_cameras_a_serem_testadas{ 20 };
    int numero_do_experimento{ 1 };
    int histograma_nivel_todos_pixels[256]{ 0 };

    struct Config
    {
    public:
        int config_numero_experimento{ 1 };
        int config_limiar_webcam_escuro{10};
        int config_limiar_cinza_deteccao{30};
    }EstruturaConfig;

public:
    DetectaRad();
    void cria_diretorio_base(std::string);
    void cria_diretorio_full();
    void seta_nome_do_arquivo_pontos_detectados(std::string);
    void cria_arquivo_config_se_nao_existir();

```

```

void mostra_variaveis_arq_config();
void atualiza_arquivo_config_numero_experimento(int n);
void atualiza_arquivo_config_limiar_nivel_cinza_deteccao(int n);
void atualiza_arquivo_config_limiar_nivel_cinza_escuro(int n);
void altera_limiar_nivel_de_cinza_para_deteccao(int nivel);
void altera_limiar_nivel_cinza_para_escuro(int);

int detecta_radiacao();

bool configura_resolucao_webcam_n(int n, int largura, int altura,
bool mensagens);
std::vector<int> retorna_webcam_disponiveis();
bool retorna_se_existe_webcam_no_escuro();
bool retorna_se_webcam_n_esta_no_escuro(int);
bool retorna_se_webcam_n_esta_disponivel(int);
int retorna_num_da_webcam_no_escuro();
void escolhe_automaticamente_webcam_no_escuro();
void retorna_resolucoes_possiveis_de_uma_webcam_n(int, int[6][2]);
void escolhe_parametros_de_deteccao();
int retorna_maximo_valor_de_todos_pixels_camera_n(int num_camera);
void define_webcam_selecionada(int);
int retorna_numero_da_webcam_selecionada();
int escolhe_resolucao(int numero_camera, int &var_largura, int
&var_altura , int[6][2]);
};

```

Segue a fonte do arquivo DetectaRad.cpp:

```

#include "DetectaRad.h"

#include <iostream>

#include <fstream>

#include <direct.h>

#include <stdlib.h>

#include <stdio.h>

```

```

DetectaRad::DetectaRad() {

```

```

        EstruturaConfig.config_limiar_cinza_deteccao = this->limiar_nivel_cinza_para_deteccao;

        EstruturaConfig.config_limiar_webcam_escuro = this->limiar_nivel_cinza_para_escuro;
    }

```

```

bool DetectaRad::configura_resolucao_webcam_n(int n,int largura,int
altura,bool mensagens) //Escolhe com qual webcam trabalhar (webcam selecionada)
{
    this->largura = largura;
    this->altura = altura;
    //this->webcam_selecionada = n;
    if (mensagens) {
        std::cout << "\n\nConfigurado a resolução da webcam " << n <<
        "\n";

        std::cout << "Largura: " << largura << std::endl;
        std::cout << "Altura : " << altura << std::endl << std::endl;;
    }
    switch (largura)
    {
    case 320:
        this->raio_circulo = 4;
        this->espessura_circulo =1;
        break;
    case 640:
        this->raio_circulo = 5;

```

```
        this->espessura_circulo = 1;
    case 800:
        this->raio_circulo = 8;
        this->espessura_circulo = 2;
        break;
    case 1280:
        this->raio_circulo = 10;
        this->espessura_circulo = 2;
    default:
        this->raio_circulo = 10;
        this->espessura_circulo = 2;
        break;
    }
    return true;
}

void DetectaRad::escolhe_parametros_de_deteccao()
{
    int matriz_resolucoes_detectadas[6][2] = {};
    char op = 'a';
    bool b_opcao_valida = false;
    bool b_camera_valida = false;
    int valor{ 0 };
    do {
        std::cout << "\n";
```

```

std::cout << "Numero do experimento: " <<
numero_do_experimento << std::endl;

std::cout << "Webcam selecionada: " << webcam_selecionada
<< std::endl;

std::cout << "Largura: " << largura << std::endl;
std::cout << "Altura: " << altura << std::endl;

std::cout << "Limiar de escuro: " <<
EstruturaConfig.config_limiar_webcam_escuro << std::endl;

std::cout << "Limiar de detecção: " <<
EstruturaConfig.config_limiar_cinza_deteccao << std::endl;

std::cout << "\n1) Altera limiar de detecção de escuro \n";
std::cout << "2) Altera limiar de detecção de radiação \n";
std::cout << "3) Testa todos os pixels da câmera e retorna maior
valor encontrado \n";

std::cout << "4) Seleciona outra webcam \n";
std::cout << "5) Finaliza alterações \n";

std::cout << "Escolha alguma opção: ";
std::cin >> op;

switch (op) {
case '1': b_opcao_valida = true;

mostra_variaveis_arq_config();

std::cout << "\n\tDigite novo nível de detecção de escuro: ";
std::cin >> valor;

if ((valor < 0) || (valor > 255)) {

std::cout << "\tVALOR INVÁLIDO - Valores válidos:
de 0 até 255\n";

mostra_variaveis_arq_config();

break;

```

```

    }

    atualiza_arquivo_config_limiar_nivel_cinza_escuro(valor);
    std::cout << "Valor alterado com sucesso!\n";
    mostra_variaveis_arq_config();
    break;

case '2': b_opcao_valida = true;
    mostra_variaveis_arq_config();
    std::cout << "\n\tDigite novo nível de detecção de radiação:
";

    std::cin >> valor;
    if ((valor < 0) || (valor > 255)) {
        std::cout << "\tVALOR INVÁLIDO - Valores válidos:
de 0 até 255\n";

        mostra_variaveis_arq_config();
        break;
    }

    atualiza_arquivo_config_limiar_nivel_cinza_deteccao(valor);
    std::cout << "Valor alterado com sucesso!\n";
    mostra_variaveis_arq_config();
    break;

case '3': b_opcao_valida = true;
    mostra_variaveis_arq_config();
    std::cout << "Maior valor encontrado no escuro: " <<

    retorna_maximo_valor_de_todos_pixels_camera_n(webcam_selecionada) <<
std::endl;

```

```

        std::cout << "\n";

        break;

case '4': b_opcao_valida = true;

        mostra_variaveis_arq_config();

        cameras_detectadas.clear();

        cameras_detectadas = retorna_webcam_disponiveis();

        std::cout << "\nCâmeras disponíveis: \n";

        for (auto n : cameras_detectadas)
        {
            std::cout << n << "\n";
        }

        std::cout << "\nEscolha uma câmera: ";

        std::cin >> valor;

        // falta verificar se valor é valido

        for (auto n : cameras_detectadas)
        {
            if (n == valor) {
                webcam_selecionada = valor;

                b_camera_valida = true;
            }
        }

        if (!b_camera_valida) {
            std::cout << "\nCâmera não disponível, escolha
outra.\n";
        }

```

```

        else {
            webcam_selecionada = valor;

            if (retorna_se_webcam_n_esta_no_escuro(valor))
                std::cout << "\nEsta câmera está no
escuro\n";

            else std::cout << "\nEsta câmera NÃO está no
escuro\n";

            retorna_resolucoes_possiveis_de_uma_webcam_n(valor,
matriz_resolucoes_detectadas);

            escolhe_resolucao(valor, this->largura, this->altura,
matriz_resolucoes_detectadas);
        }

        std::cout << "\n";

        break;

    case '5': b_opcao_valida = false;

        break;

    default:

        b_opcao_valida = true;

    }

} while (b_opcao_valida);

}

int DetectaRad::retorna_maximo_valor_de_todos_pixels_camera_n(int n)
{
    int nivel_cinza_xy{ 0 };

    int nivel_cinza_xy_max{ 0 };

```

```

//cv::VideoCapture webcam(webcam_selecionada);

cv::VideoCapture webcam(n);

if (!webcam.isOpened()) {

    std::cout << "\n\n *****      Não foi possível abrir a
webcam *****\n\n\n";

    return -1;

}

webcam.set(cv::CAP_PROP_FRAME_WIDTH, largura);
webcam.set(cv::CAP_PROP_FRAME_HEIGHT, altura);

cv::waitKey(200);
webcam.read(frame);
cv::waitKey(200);
webcam.read(frame);
cv::waitKey(200);
webcam.read(frame);

if (frame.empty()) {

    std::cout << "\n\n *****      Imagem da webcam inacessível
*****\n\n\n";

    return -1;

}

webcam.read(frame);

```

```

cv::cvtColor(frame, frame_gray, cv::COLOR_BGR2GRAY);

for(int i=0; i<=255; i++) histograma_nivel_todos_pixels[i] = 0;


for (int vertical = 0; vertical <= altura - 1; vertical++)
    for (int horizontal = 0; horizontal <= largura - 1; horizontal++) {
        nivel_cinza_xy =
frame_gray.at<uchar>(vertical, horizontal);
        if ((nivel_cinza_xy >= 0) && (nivel_cinza_xy <= 255)) {
            histograma_nivel_todos_pixels[nivel_cinza_xy] =
histograma_nivel_todos_pixels[nivel_cinza_xy] + 1;
            if((nivel_cinza_xy)>(nivel_cinza_xy_max))
                nivel_cinza_xy_max = nivel_cinza_xy;
        }
    }

webcam.release();

std::cout << "\nHistograma:\n";

for (int i = 0; i <= 255; i++)
{
    if (histograma_nivel_todos_pixels[i] != 0) {
        std::cout << i << " -> " << histograma_nivel_todos_pixels[i]
<< "\n";
    }
}

```

```

        std::cout << std::endl;

        std::cout << "Largura = " << largura << std::endl;

        std::cout << "Altura = " << altura << std::endl;

        std::cout << std::endl;

        return nivel_cinza_xy_max;
    }

    void DetectaRad::define_webcam_selecionada(int n)
    {
        this->webcam_selecionada = n;
    }

    int DetectaRad::retorna_numero_da_webcam_selecionada()
    {
        return webcam_selecionada;
    }

    int DetectaRad::escolhe_resolucao(int numero_camera,int &var_largura, int
&var_altura , int matriz_resolucoes_detectadas[6][2])
    {
        char op = 'a';
        bool b_opcao_valida = true;
        do {
            std::cout << "Resoluções possíveis para a webcam " <<
numero_camera << "\n";

            for (int i = 0; i <= 5; i++) {
                if (matriz_resolucoes_detectadas[i][0] == 0) break;

                std::cout << i << " " << matriz_resolucoes_detectadas[i][0]
<< " x " << matriz_resolucoes_detectadas[i][1];

```

```

        std::cout << "\n";
    }
    std::cout << "Escolha uma resolução: ";
    std::cin >> op;
    switch (op)
    {
    case '0': b_opcao_valida = true;
        var_largura = matriz_resolucoes_detectadas[0][0];
        var_altura = matriz_resolucoes_detectadas[0][1];
        break;
    case '1': b_opcao_valida = true;
        var_largura = matriz_resolucoes_detectadas[1][0];
        var_altura = matriz_resolucoes_detectadas[1][1];
        if (matriz_resolucoes_detectadas[1][0] == 0)
b_opcao_valida = false;
        break;
    case '2': b_opcao_valida = true;
        var_largura = matriz_resolucoes_detectadas[2][0];
        var_altura = matriz_resolucoes_detectadas[2][1];
        if (matriz_resolucoes_detectadas[2][0] == 0)
b_opcao_valida = false;
        break;
    case '3': b_opcao_valida = true;
        var_largura = matriz_resolucoes_detectadas[3][0];
        var_altura = matriz_resolucoes_detectadas[3][1];
        if (matriz_resolucoes_detectadas[3][0] == 0)
b_opcao_valida = false;

```

```

        break;

    case '4': b_opcao_valida = true;

        var_largura = matriz_resolucoes_detectadas[4][0];
        var_altura = matriz_resolucoes_detectadas[4][1];
        if (matriz_resolucoes_detectadas[4][0] == 0)
b_opcao_valida = false;

        break;

    case '5': b_opcao_valida = true;

        var_largura = matriz_resolucoes_detectadas[5][0];
        var_altura = matriz_resolucoes_detectadas[5][1];
        if (matriz_resolucoes_detectadas[5][0] == 0)
b_opcao_valida = false;

        break;

    default: std::cout << "Opção inválida!\n\n";

        b_opcao_valida = false;

    }

} while (!b_opcao_valida);

return 0;

}

void DetectaRad::cria_arquivo_config_se_nao_existir() // se não existir
{

    std::ifstream file_conf_in(this->path_diretorio_base +
"\config.dat",std::ios::binary);

    if (!file_conf_in.is_open()) {

        //file_conf_in.close();

```

```

        EstruturaConfig.config_limiar_cinza_deteccao            =
limiar_nivel_cinza_para_deteccao;

        EstruturaConfig.config_limiar_webcam_escuro            =
limiar_nivel_cinza_para_escuro;

        EstruturaConfig.config_numero_experimento    = 01;
        this->numero_do_experimento = 01;;

        std::ofstream      file_conf_out(this->path_diretorio_base +
"\config.dat",std::ios::binary);

        file_conf_out.write((char*)&EstruturaConfig, sizeof(Config));
        file_conf_out.close();
    }
    else {
        //std::ifstream      file_conf_in(this->path_diretorio_base +
"\config.dat", std::ios::binary);

        file_conf_in.read((char*)&EstruturaConfig, sizeof(Config));
        file_conf_in.close();

        limiar_nivel_cinza_para_deteccao            =
EstruturaConfig.config_limiar_cinza_deteccao;

        limiar_nivel_cinza_para_escuro            =
EstruturaConfig.config_limiar_webcam_escuro;

        EstruturaConfig.config_numero_experimento++;

        this->numero_do_experimento            =
EstruturaConfig.config_numero_experimento;

        std::ofstream file_conf_out(path_diretorio_base + "\config.dat",
std::ios::binary);

```

```

        file_conf_out.write((char*)&EstruturaConfig, sizeof(Config));

        file_conf_out.close();

    }

}

int DetectaRad::detecta_radiacao()
{
    int tmp_horizontal{ 0 };
    int tmp_vertical{ 0 };
    int tmp_nivel_de_cinza{ 0 };
    int tmp_frame{ 0 };
    int nivel_cinza_xy{ 0 };
    int tmp_n_frame_em_que_foi_detectado{ 0 };
    std::string texto_n_pontos = "PONTOS DETECTADOS : ";
    cv::Scalar Cor_Preto(0, 0, 0);
    cv::Scalar Cor_Fundo_Marrom(95, 115, 126);
    cv::Scalar Cor_Branco(255, 255, 255);
    cv::Mat      matriz_detectados(altura,      largura,      CV_8UC3,
Cor_Fundo_Marrom);

    cv::Mat tela_mensagens(100, 640, CV_8UC3, Cor_Preto);
    cv::Mat tela_mensagens_default(100, 640, CV_8UC3, Cor_Preto);
    cv::VideoCapture webcam(webcam_selecionada);

    bool b_flag_radiacao_detectada{ false };

    std::string nome_arq_imagem = "";

    std::ofstream file;

```

```

        if (!webcam.isOpened()) {

            std::cout << "\n\n *****      Não foi possível abrir a
webcam *****\n\n\n";

            return 0;

        }

        webcam.set(cv::CAP_PROP_FRAME_WIDTH, largura);
        webcam.set(cv::CAP_PROP_FRAME_HEIGHT, altura);
        cv::waitKey(200);
        webcam.read(frame);

        if (frame.empty()) {

            std::cout << "\n\n ***** Imagem da webcam inacessível
*****\n\n\n";

            return 0;

        }

        cv::putText(tela_mensagens, texto_n_pontos + " 0", cv::Point(40, 40),
cv::FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 1, Cor_Branco, 2);

        cv::namedWindow("MENSAGENS", cv::WINDOW_AUTOSIZE);
        cv::imshow("MENSAGENS", tela_mensagens);

        while (cv::waitKey(1) != ESC) {

            webcam.read(frame);

            cv::cvtColor(frame, frame_gray, cv::COLOR_BGR2GRAY);

```

```

//cv::Mat frame_gray(720, 1280, CV_8UC1, Cor_Preto); //
RETIRAR

//frame_gray.at<uchar>(80, 200) = 255; //
RETIRAR

cv::namedWindow("IMAGEM EM TEMPO REAL",
cv::WINDOW_NORMAL);

cv::imshow("IMAGEM EM TEMPO REAL", frame);

for(int vertical = 0; vertical <= altura -1; vertical++)
    for (int horizontal = 0; horizontal <= largura - 1;
horizontal++) {

        nivel_cinza_xy = frame_gray.at<uchar>(vertical,
horizontal);

        if (((nivel_cinza_xy) >=
limiar_nivel_cinza_para_deteccao) &&

            ((nivel_cinza_xy) >= tmp_nivel_de_cinza)){
            tmp_horizontal = horizontal;
            tmp_vertical = vertical;
            tmp_nivel_de_cinza = nivel_cinza_xy;
            tmp_n_frame_em_que_foi_detectado =
total_de_frames_detectados;

            //std::cout << "(x;y) : " << horizontal << " : " <<
vertical << " cinza: " << tmp_nivel_de_cinza << std::endl;

            b_flag_radiacao_detectada = true;

        }

    }

}

if (b_flag_radiacao_detectada) {

```

```

                                coordenadas_xy[total_de_frames_detectados][0]      =
tmp_horizontal;

                                coordenadas_xy[total_de_frames_detectados][1]      =
tmp_vertical;

                                coordenadas_xy[total_de_frames_detectados][2]      =
tmp_nivel_de_cinza;

                                coordenadas_xy[total_de_frames_detectados][3]      =
tmp_n_frame_em_que_foi_detectado;

                                tmp_nivel_de_cinza = 0; // IMPORTANTE VERIFICAR SE
CORRETO

                                matriz_detectados.at<cv::Vec3b>(tmp_vertical,
tmp_horizontal) = cv::Vec3b(255, 255, 255);

                                cv::circle(matriz_detectados,      cv::Point(tmp_horizontal,
tmp_vertical), raio_circulo, cv::Scalar(0, 0, 255), espessura_circulo);

                                tela_mensagens_default.copyTo(tela_mensagens);

                                texto_n_pontos  = "PONTOS  DETECTADOS  :  "  +
std::to_string(total_de_frames_detectados+1);

                                cv::putText(tela_mensagens, texto_n_pontos, cv::Point(40,
40), cv::FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 1, Cor_Branco, 2);

                                cv::namedWindow("MENSAGENS",
cv::WINDOW_AUTOSIZE);

                                cv::imshow("MENSAGENS", tela_mensagens);

                                //frame.at<cv::Vec3b>(80, 200) = (255,255,255);
// RETIRAR

```

```

        nome_arq_imagem      =      nome_diretorio_full      +
"\imagem_captada_" + std::to_string(total_de_frames_detectados) + ".bmp";

        cv::imwrite(nome_arq_imagem, frame);

        b_flag_radiacao_detectada = false;
        total_de_frames_detectados++;
    }

    cv::namedWindow("MATRIZ DE PONTOS DETECTADOS",
cv::WINDOW_NORMAL);

    cv::imshow("MATRIZ DE PONTOS DETECTADOS",
matriz_detectados);

    total_de_frames_testados++;

}

webcam.release();

std::cout << "\n \n";

std::cout << "\nTotal de frames testados: " << total_de_frames_testados
<< std::endl;

std::cout << nome_diretorio_full + "\\" + nome_file_pontos << "\n\n";

file.open(nome_diretorio_full + "\\" + nome_file_pontos);

cv::imwrite(nome_diretorio_full      +
"\imagem_com_todos_pontos_detectados.bmp", matriz_detectados);

```

```

        for (int contador=0; contador < total_de_frames_detectados; contador++)
        {
            file << coordenadas_xy[contador][0] << ":" <<
coordenadas_xy[contador][1] <<
            "\t\tNivel de cinza: " << coordenadas_xy[contador][2] <<
"\t\t Frame: " <<
            coordenadas_xy[contador][3] << "\n";
        }

        file <<
"#####\n";
        file << "Total de pontos detectados: " << total_de_frames_detectados<<
"\n";

        file.close();

        return 0;
    }

    std::vector<int> DetectaRad::retorna_webcam_disponiveis()
    {
        for (int n = 0; n <= limite_cameras_a_serem_testadas; n++) {
            cv::VideoCapture webcam(n);

            if (webcam.isOpened()) {
                cameras_detectadas.push_back(n);
                webcam.release();
            }
        }

        numero_de_cameras_detectadas = cameras_detectadas.size();
    }

```

```

        return cameras_detectadas;
    }

    void DetectaRad::retorna_resolucoes_possiveis_de_uma_webcam_n(int n, int
matriz_resolucoes[6][2])
    {
        int contador{ 0 };
        for (int j = 0; j < 6; j++) {
            matriz_resolucoes[j][0] = 0;
            matriz_resolucoes[j][1] = 0;

            cv::VideoCapture webcam(n);

            webcam.set(cv::CAP_PROP_FRAME_WIDTH,
padroes_de_resolucoes[j][0]);

            webcam.set(cv::CAP_PROP_FRAME_HEIGHT,
padroes_de_resolucoes[j][1]);

            cv::waitKey(100);

            webcam.read(frame);

            if (((frame.size().width) == padroes_de_resolucoes[j][0]) &&
((frame.size().height) == padroes_de_resolucoes[j][1])) {
                matriz_resolucoes[contador][0] =
padroes_de_resolucoes[j][0];
                matriz_resolucoes[contador][1] =
padroes_de_resolucoes[j][1];
                contador++;
            }
        }
    }

```

```

    }
}

void DetectaRad::escolhe_automaticamente_webcam_no_escuro()
{
    cv::Mat frame, frame_gray;
    for (auto n : cameras_detectadas) {
        cv::VideoCapture webcam(n);
        webcam.read(frame);
        cv::cvtColor(frame, frame_gray, cv::COLOR_BGR2GRAY);
        if (frame_gray.at<uchar>(100, 100) <=
limiar_nivel_cinza_para_escuro) {
            CameraNoEscuro.numero_da_camera_no_escuro = n;
            CameraNoEscuro.b_camera_esta_no_escuro = true;
        }
    }
}

bool DetectaRad::retorna_se_webcam_n_esta_no_escuro(int n)
{
    cv::Mat frame, frame_gray;
    cv::VideoCapture webcam(n);
    webcam.read(frame);
    if (frame.empty()) return false; // Verificar
    cv::cvtColor(frame, frame_gray, cv::COLOR_BGR2GRAY);
    if (frame_gray.at<uchar>(100, 100) <= limiar_nivel_cinza_para_escuro)
{
        CameraNoEscuro.b_camera_esta_no_escuro = true;

```

```

        return true;
    }
    return false;
}

void DetectaRad::altera_limiar_nivel_cinza_para_escuro(int novo_limiar)
{
    limiar_nivel_cinza_para_escuro = novo_limiar;
}

int DetectaRad::retorna_num_da_webcam_no_escuro()
{
    return CameraNoEscuro.numero_da_camera_no_escuro;
}

bool DetectaRad::retorna_se_existe_webcam_no_escuro()
{
    return CameraNoEscuro.b_camera_esta_no_escuro;
}

bool DetectaRad::retorna_se_webcam_n_esta_disponivel(int n)
{
    cv::VideoCapture webcam(n);
    if (webcam.isOpened()) return true;
    else return false;
}

void DetectaRad::altera_limiar_nivel_de_cinza_para_deteccao(int nivel)
{

```

```

        this->limiar_nivel_cinza_para_deteccao = nivel;
    }

    void DetectaRad::mostra_variaveis_arq_config()
    {
        std::ifstream      file_conf_in(this->path_diretorio_base      +
"\config.dat",std::ios::binary);

        if (file_conf_in.is_open()) {
            file_conf_in.read((char*)&EstruturaConfig, sizeof(Config));
            file_conf_in.close();

            std::cout << "\n Número do experimento : " << this-
>EstruturaConfig.config_numero_experimento;

            std::cout << "\n Limiar de escuro          : " << this-
>EstruturaConfig.config_limiar_webcam_escuro;

            std::cout << "\n Limiar de detecção        : " << this-
>EstruturaConfig.config_limiar_cinza_deteccao;

            std::cout << "\n\n";
        }
        else {
            std::cout << "Não conseguiu abrir o arquivo config.dat\n";
            file_conf_in.close();
        }
    }

    void DetectaRad::cria_diretorio_base(std::string diretorio)
    {
        this->path_diretorio_base = diretorio;
    }

```

```

int tamanho = std::strlen(diretorio.c_str());

char criado[80] = "";

for (int i = 0; i < tamanho; i++) {
    criado[i] = diretorio[i];
}

if (_mkdir(criado) != 0) {
    std::cout << "\nDiretório " << path_diretorio_base << "\n";
    this->numero_do_experimento = 01;
}
}

void DetectaRad::cria_diretorio_full()
{
    if (this->numero_do_experimento <= 9) {
        nome_diretorio_full = this->path_diretorio_base + "\\Experimento"
+ "0" + std::to_string(this->numero_do_experimento);
    }
    else {
        nome_diretorio_full = this->path_diretorio_base + "\\Experimento"
+ std::to_string(this->numero_do_experimento);
        std::cout << "Diretório do experimento: " << nome_diretorio_full
<< "\n";
    }

    int tamanho = std::strlen(nome_diretorio_full.c_str());
    char criado[80] = "";
    for (int i = 0; i < tamanho; i++) {

```

```

        criado[i] = nome_diretorio_full[i];
    }

    if (_mkdir(criado) != 0) std::cout << "\nDiretório " << nome_diretorio_full
<< "\n";
}

```

```

void DetectaRad::seta_nome_do_arquivo_pontos_detectados(std::string
nome_arquivo_pontos_detectados)
{
    this->nome_file_pontos = nome_arquivo_pontos_detectados;
}

```

```

void DetectaRad::atualiza_arquivo_config_numero_experimento(int n) {
    std::ifstream file_conf_in(path_diretorio_base+
"\config.dat",std::ios::binary);
    if (file_conf_in.is_open()) {
        file_conf_in.read((char*)&EstruturaConfig, sizeof(Config));
        this->EstruturaConfig.config_numero_experimento = n;
        this->numero_do_experimento = n;
        file_conf_in.close();

        std::ofstream file_conf_out(path_diretorio_base +
"\config.dat",std::ios::binary);

        file_conf_out.write((char*)&EstruturaConfig, sizeof(Config));
    }
}

```

```

        file_conf_out.close();
    }
    else file_conf_in.close();
}

void DetectaRad::atualiza_arquivo_config_limiar_nivel_cinza_deteccao(int n) {
    std::ifstream          file_conf_in(path_diretorio_base      +
"\config.dat",std::ios::binary);
    if (file_conf_in.is_open()) {
        file_conf_in.read((char*)&EstruturaConfig, sizeof(Config));
        file_conf_in.close();
        this->EstruturaConfig.config_limiar_cinza_deteccao = n;
        limiar_nivel_cinza_para_deteccao = n;

        std::ofstream      file_conf_out(path_diretorio_base    +
"\config.dat",std::ios::binary);

        file_conf_out.write((char*)&EstruturaConfig, sizeof(Config));
        file_conf_out.close();
    }
    else file_conf_in.close();
}

void DetectaRad::atualiza_arquivo_config_limiar_nivel_cinza_escuro(int n) {
    std::ifstream          file_conf_in(path_diretorio_base      +
"\config.dat",std::ios::binary);
    if (file_conf_in.is_open()) {
        file_conf_in.read((char*)&EstruturaConfig, sizeof(Config));

```

```
        file_conf_in.close();

        this->EstruturaConfig.config_limiar_webcam_escuro = n;

        limiar_nivel_cinza_para_escuro = n;

        std::ofstream          file_conf_out(path_diretorio_base      +
"\config.dat",std::ios::binary);

        file_conf_out.write((char*)&EstruturaConfig, sizeof(Config));

        file_conf_out.close();

    }

    else file_conf_in.close();

}
```

Segue a fonte do arquivo Origem.cpp:

```
#include <iostream>
#include <opencv2/opencv.hpp>
#include <string>
#include <vector>
#include <locale>
#include "DetectaRad.h"

int main() {
    system("CLS");
    setlocale(LC_ALL, "Portuguese");
    DetectaRad* DR = new DetectaRad;
    //int escolhe_resolucao(int n, int& largura, int& altura, int
matriz_resolucoes_detectadas[6][2]);

    int matriz_resolucoes_detectadas[6][2] = {};
    int largura = 640;
    int altura = 480;

    bool b_mensagem = true;
    std::vector<int> cameras_detectadas;
    std::string nome_arquivo_pontos = "todos_pontos_detectados.txt";
    std::string diretorio = "C:\\\\DetectaRadiacao";

    std::cout << "Programa DETECTA RADIACAO iniciando ... \n";

    DR->cria_diretorio_base(diretorio);
    DR->cria_arquivo_config_se_nao_existir();
    DR->cria_diretorio_full();
    DR->seta_nome_do_arquivo_pontos_detectados(nome_arquivo_pontos);
    DR->mostra_variaveis_arq_config();

    cameras_detectadas = DR->retorna_webcam_disponiveis();
    std::cout << "\nNumero de cameras disponíveis detectadas: " <<
cameras_detectadas.size() << "\n";
    std::cout << "Lista de câmeras disponíveis detectadas:\n";
    for (auto n : cameras_detectadas)
    {
        std::cout << n << "\n";
    }
}
```

```

DR->escolhe_automaticamente_webcam_no_escuro();
if (DR->retorna_se_existe_webcam_no_escuro()) {
    std::cout << "Número da webcam detectada no escuro: " <<
    DR->retorna_num_da_webcam_no_escuro() << "\n";
    DR->define_webcam_selecionada(DR-
>retorna_num_da_webcam_no_escuro());
}
else {
    std::cout << "\nNenhuma câmera no escuro!\n";
    DR->define_webcam_selecionada(0);
}

DR->retorna_resolucoes_possiveis_de_uma_webcam_n
(DR->retorna_num_da_webcam_no_escuro(),
matriz_resolucoes_detectadas);

DR->define_webcam_selecionada(DR-
>retorna_num_da_webcam_no_escuro());
std::cout << "Webcam selecionada: " << DR-
>retorna_numero_da_webcam_selecionada() << "\n\n";

//escolhe_resolucao(DR->retorna_numero_da_webcam_selecionada(),
largura, altura, matriz_resolucoes_detectadas);
DR->escolhe_resolucao(DR-
>retorna_numero_da_webcam_selecionada(), largura, altura,
matriz_resolucoes_detectadas);

DR->configura_resolucao_webcam_n
(DR->retorna_numero_da_webcam_selecionada(), largura, altura,
b_mensagem);

std::cout << "Maior valor encontrado no escuro: "
<< DR->retorna_maximo_valor_de_todos_pixels_camera_n
(DR->retorna_numero_da_webcam_selecionada()) << std::endl;

std::cout << "\n";
DR->escolhe_parametros_de_deteccao();
std::cout << "\nIniciando detecção de radiação ....\n";

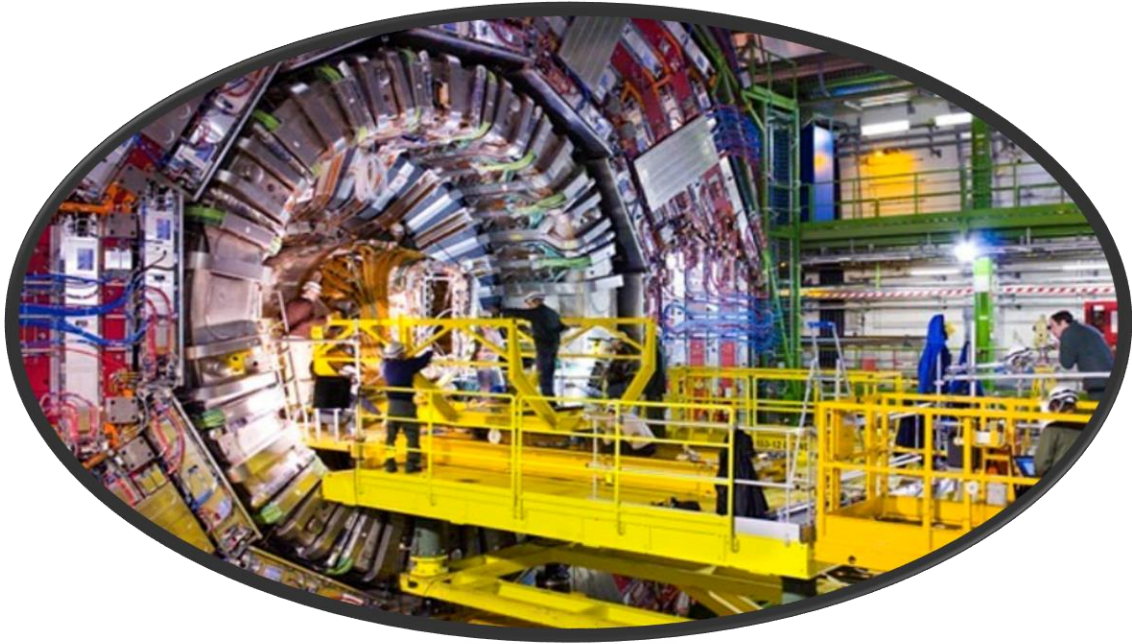
DR->detecta_radiacao();
delete DR;
return 0;
}

```

APÊNDICE E**PRODUTO EDUCACIONAL**

PRODUTO EDUCACIONAL

Para professores e apaixonados pela física



O Detector ATLAS do LHC responsável por confirmar a interação entre fótons e o Bóson de Higgs.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JULIO DE MESQUITA
FILHO**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA/FCT
DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

**MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 16**

HENRIQUE CESAR FONSECA

**PRODUTO EDUCACIONAL
DETECÇÃO DE RADIAÇÃO IONIZANTE UTILIZANDO SENSOR
DIGITAL CMOS DE CÂMERA FOTOGRÁFICA**

Presidente Prudente

julho de 2023

DETECÇÃO DE RADIAÇÃO IONIZANTE UTILIZANDO SENSOR

DIGITAL CMOS DE CÂMERA FOTOGRÁFICA

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: USO DA TECNOLOGIA NOS EXPERIMENTOS DE FÍSICA: DETECÇÃO DE RADIAÇÃO IONIZANTE POR SENSOR DIGITAL CMOS DE CÂMERA FOTOGRÁFICA, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 16, UNESP/FCT/DF, Presidente Prudente, São Paulo, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora: Ana Maria Osorio Araya

Presidente Prudente

julho de 2023

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), código 001.

À Sociedade Brasileira de Física pela oportunidade aberta aos professores para realizar este Mestrado.

Agradeço à Universidade Estadual Paulista pelo apoio ao programa.

A todos os professores do MPEF, pela competência, dedicação e paciência.

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO.....	7
2. RADIAÇÕES.....	8
3.1 Radiação Ionizante e Não Ionizante	27
3.2 Átomos Radioativos.....	28
3.3 Decaimento Alfa, Beta e Gama	29
3.3.1 Decaimento Alfa.....	29
3.3.2 Decaimento Beta.....	30
3.3.3 Decaimento Gama.....	32
3.4 Interação da Radiação com a Matéria	33
3.4.1 Interação da Radiação Eletromagnética Ionizante com a Matéria	33
3.4.2 Interação da Radiação Alfa com a Matéria	35
3.4.3 Interação da Radiação Beta com a Matéria	36
3.5 Meia Vida de um Radionuclídeo	37
3.6 Atividade de uma Amostra.....	39
3.7 Unidades e Grandezas de Radiação	39
3.8 Outras considerações sobre radioatividade	41
3.8.1 Radiação em Todo Lugar	41
3.8.2 Astrofísica Nuclear	41
3.8.3 Radionuclídeos Primordiais, Cosmogênicos e Antropogênicos.....	42
3.8.4 Fontes de Radiação Natural	42
3.9 Detecção de radiação.....	45
4 DETETOR DE RADIAÇÃO GAMA UTILIZANDO SENSOR DE IMAGEM CMOS	47
4.1 Fotodiodos.....	47
4.2 Sensor de Imagem CMOS.....	49
4.3 Formação de uma Imagem Digital	52
4.4 Uso de Sensor de Imagem CMOS para Detecção de Radiação Gama	54
4.5 Detectando Radiação Gama com Sensor de Imagem CMOS.....	54
5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	64
5.1 Tipo de pesquisa	64
5.2 Local e sujeitos da pesquisa.....	65
5.3 Sequência Didática e sua realização	66
5.4 Desenvolvimento da Sequência Didática.....	70
5.5 1º Semana da Sequência Didática	70
5.6 2º Semana da Sequência Didática	70

5.7	3ª Semana da Sequência Didática	73
5.8	4ª Semana da Sequência Didática	76
5.9	5ª Semana da Sequência Didática	79
5.10	6ª Semana da Sequência Didática.....	81
6	RESULTADOS.....	90
6.1	Breve Introdução	90
6.2	Pré-análise	90
6.3	Exploração do Material	91
6.4	Tratamento dos Resultados Obtidos e Interpretação	91
6.5	Análise das Reações dos Alunos Durante o Desenvolvimento da Sequência Didática	92
6.5.1	Análise das Atividades da Primeira Semana	92
6.5.2	Análise das Atividades da Segunda Semana.....	94
6.5.3	Análise das Atividades da Terceira Semana.....	95
6.5.4	Análise das Atividades da Quarta Semana	96
6.5.5	Análise das Atividades da Quinta Semana	96
6.5.6	Análise das Atividades da Sexta Semana	97
6.6	Respostas ao Questionário Sobre as Atividades Realizadas.....	98
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	105
	REFERÊNCIAS.....	107
	APÊNDICE A – FONTE RADIOATIVA DE AMERÍCIO-241	112
	APÊNDICE B – EXPERIMENTO: DETECÇÃO DE RADIAÇÃO IONIZANTE POR DISPARO DE CENTELHA.....	114
	APÊNDICE C – AREIA MONAZÍTICA DE GRARAPARI (ES)	118
	APÊNDICE D – SOFTWARE PARA CAPTAÇÃO E TRATAMENTO DAS IMAGENS DA WEBCAM.....	120
	APÊNDICE E - PRODUTO EDUCACIONAL	152
2.	RADIAÇÕES	8
2.1.	Radiação Ionizante e Não Ionizante	9
2.2.	Átomos Radioativos.....	10
2.3.	Decaimento Alfa, Beta e Gama	11
	Decaimento Alfa	11
	Decaimento Beta	12
	Decaimento Gama	13
	Interação da Radiação Eletromagnética Ionizante com a Matéria	14
	Interação da Radiação Alfa com a Matéria	17
	Interação da Radiação Beta com a Matéria	18

2.5. Meia Vida de um Radionuclídeo	19
Atividade de uma Amostra.....	21
2.6. Unidades e Grandezas de Radiação	21
2.7. Alguns tópicos sobre radioatividade	23
Radiação em Todo Lugar	23
Astrofísica Nuclear	24
Radionuclídeos Primordiais, Cosmogênicos e Antropogênicos.	24
Fontes de Radiação Natural	25
2.8. Detecção de radiação.....	28
3. Detector de radiação gama utilizando sensor de imagem CMOS	29
Fotodiodos	29
3.1. Sensor de Imagem CMOS.....	32
3.3 Uso de Sensor de Imagem CMOS para Detecção de Radiação Gama	36
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	47
4.1. Sequência Didática e sua realização	47
4.2 Desenvolvimento da Sequência Didática.....	52
1º Semana da Sequência Didática	52
2º Semana da Sequência Didática	52
3º Semana da Sequência Didática	54
4º Semana da Sequência Didática	57
5º Semana da Sequência Didática	60
6º Semana da Sequência Didática	62
REFERÊNCIAS.....	72
APENDICE A.....	76
FONTE RADIOATIVA DE AMERÍCIO-241	76
APÊNDICE B.....	79
EXPERIMENTO: DETECÇÃO DE RADIAÇÃO IONIZANTE POR DISPARO DE CENTELHA	79
apêndice C.....	83

APRESENTAÇÃO

Todo o software (código fonte, programa executável e programa instalador) e procedimentos de montagem dos experimentos podem ser encontrados no site do GitHub (https://github.com/HenriqueCesarFonseca/gamma_detector). O software utilizado no experimento de detecção de radiação gama foi desenvolvido pelo autor desta dissertação utilizando a linguagem C++.

Este produto educacional faz parte da dissertação desenvolvida no âmbito do programa Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, implantado pela Sociedade Brasileira de Física. O objetivo principal é apresentar um experimento de Física Moderna que pode ser realizado por professores de física, utilizando uma tecnologia de baixo custo e ao alcance deles, assim como uma Sequência Didática que contém o tempo utilizado em cada atividade, e objetivos de cada unidade que compõe a Sequência Didática.

Consideramos importante deixar o item referenciais que justificam a forma de desenvolvimento da metodologia e o item conteúdos, que apresenta os conhecimentos básicos necessários para o professor realizar o experimento.

O experimento consiste, basicamente, em captar radiação ionizante do tipo gama em uma câmera do tipo webcam, analisar as imagens utilizando um software desenvolvido para este fim, que possibilita visualizar os pontos detectados, constantemente, e uma imagem em tempo real do que está sendo captado e proporciona ao aluno uma melhor compreensão da radiação ionizante e de um dos processos de detecção desta, além de permitir que ele participe ativamente da experiência, segundo os preceitos da aprendizagem significativa. O experimento foi realizado com alunos da segunda série do ensino médio e, também, os depoimentos e respostas dos alunos a um questionário.

Todos os itens que compõem o produto educacional permitem que o professor possa fazer uso dele em sala de aula, organizando o tempo e material a ser utilizado.

O referencial e atividades a serem desenvolvidas foram realizadas no período de pandemia, sendo que as atividades com alunos foram realizadas no primeiro semestre de 2022, tomando todas as precauções necessárias indicadas pelo Ministério de Saúde, devido ainda a presença do COVID. No começo, foi difícil voltar as atividades presenciais devido a que os alunos tiveram dois anos de atividades online.

Esclarecimentos sobre o software utilizado no uso da webcam se encontra no link https://github.com/HenriqueCesarFonseca/gamma_detector#readme

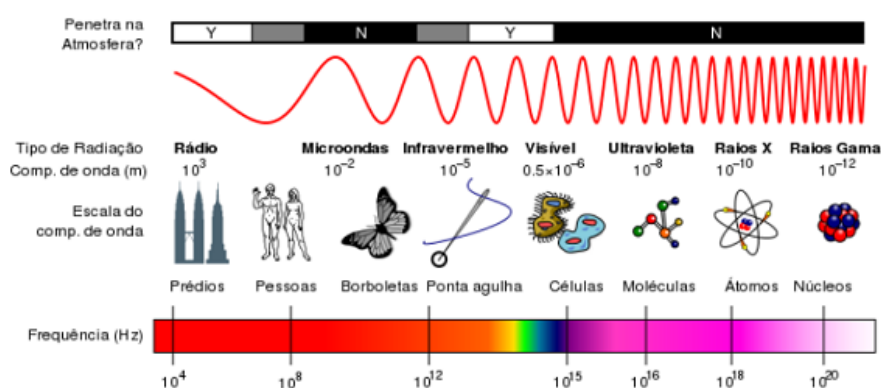
2. RADIAÇÕES

Acreditamos que o conteúdo apresentado neste capítulo pode ajudar o professor a busca por uma aula teórica, razão pela qual deixamos estas notas a disposição.

Radiação é toda energia ou partícula que se propaga de um ponto para outro, como por exemplo, a luz, micro-ondas, prótons, elétrons, raios X etc. Pode ocorrer na forma corpuscular (partículas subatômicas) ou na forma de energia (ondas de natureza eletromagnética) e, segundo intensidade, pode ser ionizante ou não ionizante (MAMEDE,2019). A Figura 1 apresenta o espectro eletromagnético. Nela podemos visualizar os diferentes tipos de radiação e dada sua frequência podem ser classificadas em não ionizantes, visível e ionizantes.

As radiações podem ter origens em fontes naturais ou artificiais. O presente trabalho procura apresentar alguns aspectos da radiação focando na radiação do ionizante.

Figura 1 – Espectro eletromagnético.



Fonte: <https://pt.khanacademy.org/science/9-ano/materia-e-energia-as-ondas>

2.1. Radiação Ionizante e Não Ionizante

A radiação ionizante é aquela que possui energia suficiente para arrancar um elétron de um átomo tornando-o em um cátion (átomo com carga positiva), e são classificadas como radiações de alta energia (DEYLLLOT, 2015). A radiação ionizante se apresenta na forma corpuscular, como as partículas alfa e beta, e na forma de ondas eletromagnéticas como os radiação gama e raios X.

Quando a radiação que incide em um átomo não possui energia suficiente para arrancar um de seus elétrons é dito que esta radiação é não ionizante. São exemplos de radiação não ionizante o infravermelho, o micro-ondas, a luz visível e ondas de rádio (DEYLLLOT, 2015). Também, a radiação, segundo Okuno (2018), depende das características do átomo,

A energia de ligação de um elétron a um átomo depende de átomo para átomo. Desse modo uma radiação pode ser ionizante em um meio e não em outro. [...] A Comissão Internacional de Proteção contra Radiação não ionizante considera como radiação ionizante uma onda eletromagnética com comprimento de onda menor que 100 nm, que correspondem a fótons com energia maior que 12 eV, ou seja, fótons de raios X e raios gama (OKUNO, 2018, p.30).

Mesmo sem arrancar um elétron de um átomo a radiação não ionizante pode levar um átomo a um nível de maior energia denominado de excitado. Se a excitação ocorrer na eletrosfera (região onde se localizam os elétrons), o elétron absorve toda energia do fóton (pequenos “pacotes” de energia), e vai para um nível mais alto de energia e posteriormente volta para seu estado fundamental emitindo um fóton. Se a excitação ocorrer no núcleo atômico o núcleo assume um estado de maior energia e posteriormente volta ao seu estado fundamental emitindo o excesso de energia. Outra forma de interação possível da radiação não ionizante, quando a energia é muito baixa para que ocorra a ionização, é elevar a temperatura do corpo com o qual interage (DEYLLLOT, 2015; MAMEDE, 2019).

2.2. Átomos Radioativos

Átomos radioativos, também denominados de radioisótopos ou radionuclídeos, são aqueles que se desintegram (decaem, transmutam) emitindo radiação na forma de partículas subatômicas ou energia. Quando o decaimento ocorre sem influência externa, o processo é denominado de decaimento espontâneo. Átomos com número atômico (número de prótons representado pela letra Z) maior que 83 contêm apenas isótopos radioativos (MAMEDE, 2019).

O modelo atômico atualmente aceito descreve o átomo como sendo constituído de um núcleo, composto de prótons e nêutrons (núcleons), que comporta a maior parte da massa de um átomo, e a região em torno do núcleo denominada de eletrosfera, composta de elétrons. Radiações emitidas por átomos podem ter origem nestas duas regiões, núcleo e eletrosfera (TIPLER e LLEWELLYN, 2014).

Quando a origem da radiação é a eletrosfera, a radiação emitida ocorre na forma de um fóton. O fenômeno foi pela primeira vez explicado por Niels Bohr em 1913 em seu artigo intitulado *Sobre a Teoria Quântica de Espectros de Linhas*, nele, Bohr propunha um modelo atômico, hoje conhecido como átomo de Bohr, onde os elétrons não podiam assumir qualquer órbita e a cada órbita estava associado um diferente nível de energia, o que leva à quantização da energia. Um elétron em um átomo poderia receber energia de uma fonte externa assumindo um estado denominado de excitado, um nível de energia maior, e posteriormente, voltar para o estado anterior com a emissão desta diferença de energia entre estes dois estados na forma de um fóton (ROCHA e col., 2011; TIPLER e LLEWELLYN, 2014).

Quando a radiação tem origem no núcleo do átomo a sua ocorrência pode ser na forma de um fóton ou na forma de partículas subatômicas, e assim como ocorre na eletrosfera em que a energia é quantizada, o mesmo ocorre com fótons emitidos pelo núcleo. Deve-se observar que fótons com origem no núcleo tem uma ordem de energia de MeV (mega elétron-volt) enquanto fótons com origem na eletrosfera tem energia na ordem entre eV e keV (BAUER e col., 2013).

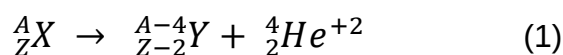
2.3. Decaimento Alfa, Beta e Gama

A maioria dos decaimentos ocorrem nos modos denominados de decaimento alfa, beta e gama. É importante observar que todos os processos de decaimentos obedecem ao princípio mais fundamental da física que são as leis de conservação da massa-energia relativística, carga elétrica, momento angular, momento linear e dos números quânticos (ABDALLA, 2006; TIPLER e LLEWELLYN, 2014).

No núcleo ocorrem transmutações que podem ser na forma de partícula alfa (α) para o decaimento alfa, ou a emissão de um pósitron (decaimento β^+) ou elétron (decaimento β^-) para o decaimento beta. Já no decaimento gama (γ) o núcleo passa de um estado excitado para não excitado com a emissão de um fóton de alta energia (γ) sem a transmutação do núcleo (BAUER e col., 2013).

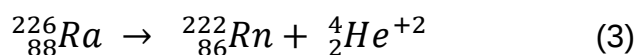
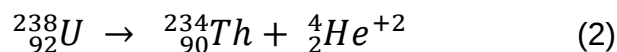
Decaimento Alfa

No decaimento alfa o núcleo emite uma partícula alfa, símbolo α , composta por dois prótons e dois nêutrons. A composição da partícula alfa é a mesma do núcleo do átomo de hélio (dois prótons e dois nêutrons). Como cada próton possui carga elétrica $+e$, (onde $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$) a carga elétrica total é $+2e$. Sua emissão é explicada pela mecânica quântica em um processo denominado de tunelamento (TIPLER e LLEWELLYN, 2014). Neste processo o núcleo do radioisótopo (antes da transmutação) é denominado de núcleo-pai e o núcleo resultante da transmutação, é denominado de núcleo-filho. O esquema de decaimento alfa está representado na Equação (1):



onde X é o núcleo-pai e Y é o núcleo-filho, A representa o número de massa (número de prótons mais número de nêutrons) e Z representa o número atômico (número de prótons). O núcleo filho tem dois prótons e dois nêutrons a menos que o núcleo-pai que estão na partícula alfa (núcleo de hélio, He) e o sobrescrito $+2$ (He^{+2}) deve-se ao fato que o hélio possui uma carga elétrica $+2e$, ou seja, é um cátion. Como

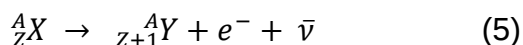
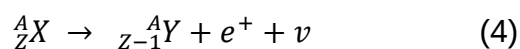
exemplos do decaimento alfa tomemos o caso do $^{238}_{92}\text{U}$ (urânio–238) e do $^{226}_{88}\text{Ra}$ (rádio–226) representados nas Equações (2) e (3).



Com muita frequência após um decaimento alfa ou beta o núcleo é deixado em um estado excitado e decai em seguida, para um nível de energia mais baixo com a emissão de um fóton de alta energia, este processo é denominado de decaimento gama (SERWAY e JEWETT, 2004).

Decaimento Beta

No decaimento beta, símbolo β , podemos ter duas situações, a emissão de um pósitron (decaimento beta–mais, símbolo β^+) mais um neutrino (símbolo ν) conforme mostrado na Equação (4) ou um elétron (decaimento beta–menos, símbolo β^-) mais um antineutrino (símbolo $\bar{\nu}$) conforme o esquema mostrado na Equação (5).



O pósitron, símbolo e^+ , emitido no decaimento β^+ , é a antipartícula do elétron, com a mesma massa que o elétron, porém, com uma carga elétrica positiva (+e, onde $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$), a mesma do próton. Dentro do núcleo ocorre a transmutação de um nêutron em um próton e um elétron conforme o esquema da Equação (6).

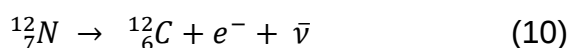
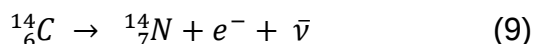


Para o decaimento beta–mais, dentro do núcleo, ocorre a transmutação de um próton em um nêutron mais um pósitron conforme esquema da Equação (7).



O neutrino (símbolo ν da letra grega *nu*) é uma partícula de carga elétrica nula e com uma massa extremamente baixa que interage fracamente com a matéria, sua existência foi proposta em 1930 por Wolfgang Pauli para explicar as diferentes velocidades com que os elétrons e pósitrons eram emitidos durante o decaimento beta e para evitar que lei de conservação do momento angular fosse violada (HALLIDAY e col., 2016; TIPLER e LLEWELLYN, 2014).

Nos esquemas das Equações (9) e (10) temos dois exemplos de decaimentos beta.



Decaimento Gama

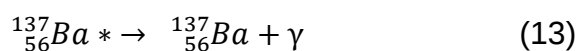
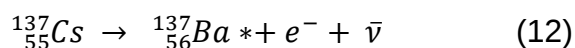
Conforme citado anteriormente, com muita frequência após um decaimento alfa ou beta o núcleo é deixado em um estado excitado e decai em seguida, para um nível de energia mais baixo com a emissão de um fóton de alta energia sem que ocorra a transmutação do núcleo, este processo é denominado de decaimento gama (TIPLER e LLEWELLYN, 2014).

O estado excitado é representado por uso de um asterisco (*) conforme esquema da Equação (11) representando o decaimento gama:

$${}^A_ZX^* \rightarrow {}^A_ZX + \gamma \quad (11)$$

Os níveis de energia do núcleo são quantizados (assim como na eletrosfera) sendo a diferença de energia entre os níveis permitidos da ordem de MeV, ou seja, a radiação gama emita é de alta energia.

O exemplo seguinte representado pelas Equações (12) e (13) descreve o cézio-137 que pelo decaimento beta transmuta em bário-137 no estado excitado e em seguida o bário-137 através do decaimento gama sai do estado excitado para o estado fundamental.



O elétron e o pósitron no decaimento beta podem ser representados em algumas literaturas por ${}_{-1}^0\beta$ para o elétron e ${}_{+1}^0\beta$ para o pósitron (DEYLLLOT, 2015; SERWAY e JEWETT, 2004).

2.4. Interação da Radiação com a Matéria

As radiações na forma de corpúsculos e na forma de ondas eletromagnéticas interagem de formas diferentes com a matéria.

Todo feixe de partículas sem carga, assim como as ondas eletromagnéticas, possui certa probabilidade de atravessar um meio material sem sofrer nenhuma interação, portanto, sem perder nenhuma energia, enquanto uma partícula sofre colisões em um meio, perdendo energia gradativamente. Do ponto de vista da partícula, ela perde energia, mas, do ponto de vista do meio, ali ocorre deposição de energia (NOVAK, 2018, p.31)

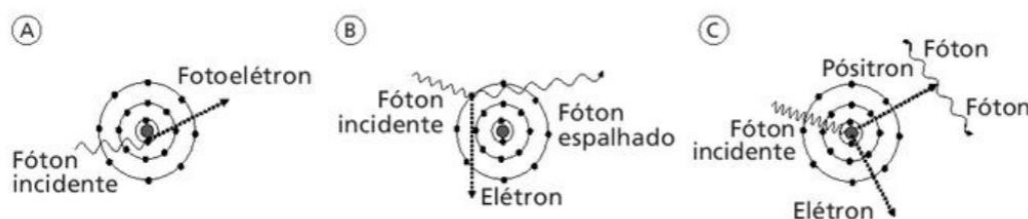
Interação da Radiação Eletromagnética Ionizante com a Matéria

As três principais formas de interação de ondas eletromagnéticas com a matéria são apresentadas na Figura 2:

- Efeito fotoelétrico: um fóton interage com elétrons das camadas, geralmente das camadas K e L da eletrosfera, com energia suficiente para ejetar este elétron do átomo.

- Efeito Compton: um fóton interage com um elétron da camada mais externa da eletrosfera desviando de sua trajetória transferindo apenas parte de sua energia.
- Produção de pares: a interação ocorre com o forte campo elétrico no núcleo ou com qualquer elétron do átomo resultando na criação de um par pósitron–elétron.

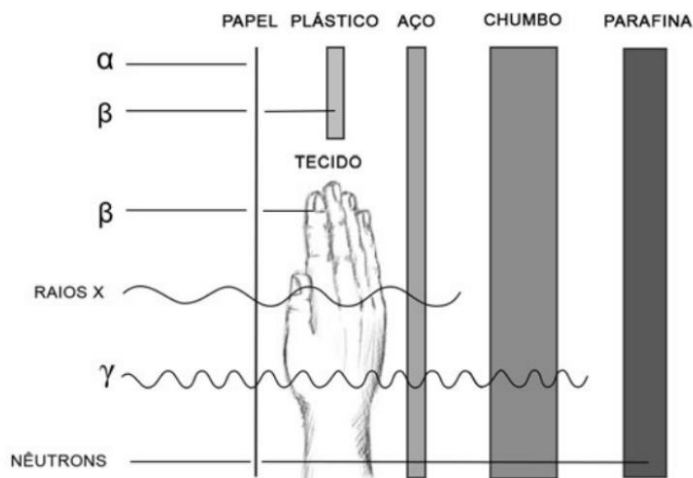
Figura 2– Efeito fotoelétrico (A), Efeito Compton (B) e produção de pares (C).



Fonte: OKUNO (2018, p. 36)

A forma com que a radiação eletromagnética ionizante interage com a matéria – efeito fotoelétrico, efeito Compton ou produção de pares – depende da sua energia (diretamente proporcional à sua frequência) e do número atômico dos átomos do meio com quem irá interagir, o que implica em maior ou menor poder de penetração conforme ilustrado na Figura 3 onde podemos comparar a penetração dos raios X com relação aos raios gama (OKUNO 2018). A Figura 3 também compara o poder de penetração de diferentes radiações nas formas de partículas e eletromagnética.

Figura 3– Representação da atenuação da radiação na matéria.



Fonte: MAMEDE (2019, p.18)

No efeito Compton o fóton é totalmente absorvido transferindo parte de sua energia para o elétron que por sua vez emite um novo fóton com menor energia que o fóton incidente. A produção de pares só ocorre para ondas eletromagnéticas (fóton) com energias maiores que 1.022 keV, e se a interação ocorre com um elétron do átomo, e não com o núcleo, este é ejetado juntamente com os pares elétron–pósitron (MAMEDE, 2019; NOVAK, 2018; OKUNO, 2018).

Conforme esclarece Okuno (2018), sobre a probabilidade de ocorrência do efeito fotoelétrico,

A probabilidade de ocorrência do efeito fotoelétrico diminui com o aumento da energia E do fóton e aumento com o número atômico Z do absorvedor, sendo proporcional a $Z^{4.5}/E^3$. Assim, a absorção fotoelétrica é alta em ossos do nosso corpo por causa do cálcio, que tem Z de 20, muito mais altos que os números atômicos 1, 6, 7 e 8, respectivamente do hidrogênio, do carbono, do nitrogênio e do oxigênio, os principais elementos que constituem nosso corpo. É por isso que o osso aparece em contraste em relação ao músculo em radiografias: o fóton incidente e o fotoelétron são absorvidos pelo osso com maior probabilidade e não chegam ao filme radiográfico (OKUNO, 2018, p.36).

A Figura 4 é uma foto comumente mostrada em livros de física, mostra a radiografia tomada por Roentgen da mão esquerda de sua esposa Anna Bertha Ludwig, em dezembro de 1895. Observa-se que seu anel e ossos

aparecem mais escuros na radiografia pois o número atômico do metal do anel e do cálcio dos ossos tem maior probabilidade de absorver os raios X.

Figura 4– Radiografia da mão esquerda da Sra. Anna Bertha Ludwig.



Fonte: OKUNO (2018, p.19)

Interação da Radiação Alfa com a Matéria

De todas as radiações ionizantes, a partícula alfa é a de maior massa (dois prótons e dois nêutrons) e por ser um cátion (dois prótons) interage com as forças coulombianas com vários átomos do meio em que estiver penetrando ao mesmo tempo pois a força elétrica entre cargas elétricas é de longo alcance podendo excitar ou ionizar os átomos do meio (NAMEDE, 2019).

Por ser uma partícula pesada sua trajetória é praticamente retilínea e seu alcance depende do meio e da energia cinética com que foi emitida (NAMEDE, 2019). Devido a estas características ela tem pouca capacidade de penetrar a matéria (PALANDI e col.. 2010). No Quadro 1 se apresentam alguns exemplos do alcance da penetração da partícula alfa para alguns materiais.

Quadro 1 – Penetração da partícula alfa para diferentes materiais.

Ar	Água	Papel	Alumínio	Cobre	Ouro
4 cm	0,0048 cm	0,0034 cm	0,0024 cm	0,001 cm	0,00075 cm

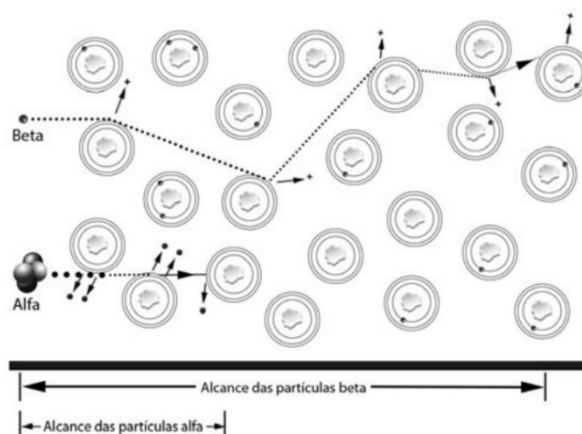
Fonte: Palandi e col. (2010).

Por interagir fortemente com a matéria perde energia rapidamente, portanto, seu poder de penetração na matéria é pequeno sendo facilmente blindada por uma folha de papel. No ar seu alcance é em torno de 5 cm e não oferece perigo ao ser humano quando exposto a uma fonte externa ao corpo pois não consegue ultrapassar a camada morta de pele. Teoricamente, todos com núcleos com número atômico maior que 82 ($Z > 82$) são instáveis em relação ao decaimento alfa, por exemplo, tório, urânio, polônio e o rádio (DEYLLLOT, 2015; MAMEDE, 2019; TIPLER e LLEWELLYN, 2014).

Interação da Radiação Beta com a Matéria

A partícula beta é cerca de 7350 vezes menor que uma partícula alfa, como consequência ao se chocar com átomos os desvios em sua trajetória serão bem maiores que a partícula alfa, conforme ilustrado na Figura 5. Uma partícula de beta de 1 MeV tem um alcance no ar de 420 cm e de aproximadamente 0,5 cm no tecido humano (OKUNO, 2018).

Figura 5– Alcance e interações das partículas alfa e beta com a matéria.



Fonte: MAMEDE (2019, p.17)

A interação de uma partícula beta–menos (pósitron) com um elétron resulta na emissão de dois fótons com energia de 511keV, processo denominado de aniquilação de pares, quando um elétron interage com sua antipartícula, ou seja, ocorre o processo oposto da produção de pares. Mais penetrante que a radiação alfa, a radiação beta pode ser detida por uma barreira de alumínio ou plástico de poucos milímetros (MAMEDE, 2019).

2.5. Meia Vida de um Radionuclídeo

Ironicamente, o físico Ernest Rutherford e o químico Frederick Soddy se conheceram em uma reunião em que Soddy apresentara um estudo sobre a indivisibilidade de um átomo. Em 1901 Rutherford pede para Soddy investigar o gás produzido (emanado) pelo tório, ao que este descobriu tratar-se de isótopo do radônio. Do trabalho conjunto dos dois surge o conceito de meia vida,

Hoje falamos na meia-vida de um elemento. Por exemplo, o torônio tem uma meia-vida de um minuto, porque nas palavras de Soddy, “Sessenta segundos depois do momento em que começamos a contar, a quantidade de torônio será apenas a metade do que era no momento inicial”. Soddy recorda esses dias como dos mais emocionantes de toda a sua vida, cheios de “intensa exaltação mental”. Com o seu trabalho no desenvolvimento da teoria da desintegração atômica, as peças da “quebra-cabeças” da radioatividade pouco a pouco iam formando um todo coerente (SMITH, 2008, p.87).

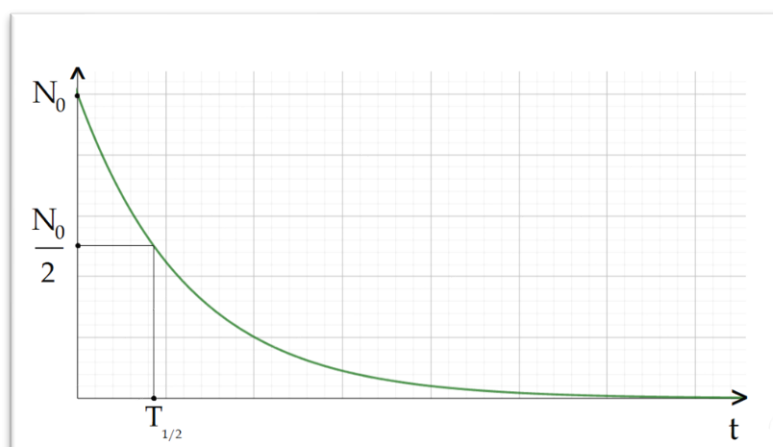
A Equação (14) descreve o número de núcleos radioativos $N(t)$ em função do tempo (t) , onde N_0 é o número de átomos radioativos no instante $t=0$, λ é denominada

de constante de decaimento e expressa a probabilidade por unidade de tempo de que um radionuclídeo decaia.

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (14)$$

Observa-se então que o número de núcleos radioativos $N(t)$ de uma amostra qualquer diminui exponencialmente em função do tempo conforme mostrado no Gráfico 1. Passado o tempo de meia vida ($T_{1/2}$) a quantidade de núcleos radioativos cai pela metade ($N_0/2$), passado o tempo de duas meias vidas o número de núcleos radioativos cai para ($N_0/4$) e assim por diante (TIPLER e LLEWELLYN, 2014).

Gráfico 1 – Gráfico $N(t)$ exponencial.



Fonte: Autor

O tempo de meia vida de um radionuclídeo pode ser de alguns milissegundos ou dias como o iodo ^{131}I , com meia vida de 8 dias, ou bilhões de anos como o urânio- ^{238}U com meia vida de $4,47 \times 10^9$ anos.

Atividade de uma Amostra

Outro parâmetro de interesse quando se trabalha com decaimento radioativo é a taxa de desintegrações dos núcleos por unidade de tempo $R(t)$, denominada de atividade e expressa pela Equação (15), onde R_0 é a taxa de decaimento no instante $t=0$ e, λ é a constante de decaimento (TIPLER e LLEWELLYN, 2014).

$$R(t) = R_0 e^{-\lambda t} \quad (15)$$

2.6. Unidades e Grandezas de Radiação

As principais grandezas físicas para medir radiação são:

- Atividade (A);
- Exposição (R);
- Dose Absorvida (D);
- Dose Equivalente (H);

O nome da unidade de atividade no Sistema Internacional de Unidades (SI) é o becquerel com o símbolo Bq, onde 1 Bq equivale a um decaimento por segundo.

$$1 \text{ Bq} \equiv 1 \text{ decaimento / s}$$

Uma unidade mais antiga é o *curie* (de símbolo Ci), e a equivalência com o becquerel é dada por

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ decaimentos / s} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

A unidade de exposição no SI é o Roentgen (R) e mede a capacidade de ionização para cada quilograma do ar, produzida por radiação ionizante do tipo raio X e raio gama.

$$1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C / kg}$$

Dose absorvida é a quantidade de energia depositada em certa quantidade de massa. No SI é o *Gray* (Gy), definido por,

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J / kg}$$

Antigamente a dose absorvida utilizada era o *rad*, a relação entre rad e Gray é,

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

Dose equivalente (H), Equação (16), expressa o dano biológico produzido nos seres vivos, e depende não só da energia absorvida, mas também pelo tipo de radiação incidente (nêutrons, raios X, radiação gama, beta e alfa). A grandeza dose equivalente (H) é definida pela relação entre Q, a qualidade da radiação, D, a dose absorvida e N o fator de modificação, que para efeito de cálculo é adotado N=1. O nome da unidade é o *sievert* com o símbolo Sv (ROCCA e col., 2022).

$$H = DQN \quad (16)$$

O Quadro 2 informa o valor de Q para cada tipo de radiação e o Quadro 3 a relação entre unidades utilizadas antigamente e as novas unidades

Quadro 2 – Valor de Q para cada tipo de radiação.

Tipo de radiação	Valor de Q
Raios-X	1
Raios gama	1
Partículas beta	1
Elétrons	1
Nêutrons rápidos	10
Prótons	10
Partícula alfa	20
Íons pesados	20

Fonte: DEYLLLOT (2015, p. 72)

Quadro 3– Antigas e novas unidades de radiação

Grandeza	Unidade antiga	Unidade nova	Relações entre as grandezas
Exposição	roentgen (R)	coulomb/quilograma (C/kg)	$1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$ ou $1 \text{ C/kg} = 3,88 \times 10^3 \text{ R}$
Dose absorvida	rad	gray (Gy)	$1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ Gy} = 10^{-2} \text{ J/kg}$ ou $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg} = 100 \text{ rad}$
Dose equiva-lente	rem	sievert (Sv)	$1 \text{ rem} = 10^{-2} \text{ Sv} = 10^{-2} \text{ J/kg}$ ou $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg} = 100 \text{ rem}$
Atividade	curie (Ci)	becquerel (Bq)	$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ dps} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ ou $1 \text{ Bq} = 1 \text{ dps} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ci}$

Fonte: DEYLLLOT (2015, p. 77)

2.7. Alguns tópicos sobre radioatividade

Radiação em Todo Lugar

Desde a descoberta dos raios X em 1895 por Wilhelm Conrad Roentgen o ser humano foi evoluindo seu entendimento sobre a radiação e hoje sabemos que a radiação natural está em todo o ambiente em que vivemos, chamamos esta radiação

do ambiente de radiação de fundo, ou *background*. Os raios X de Roentgen foram produzidos de forma artificial, porém, todas as formas de radiação (raio X, gama, beta etc.) são produzidas pela natureza e estão presentes no ambiente em que vivemos. As fontes naturais de radiação serão o assunto do presente trabalho (ROCCA e col., 2022).

Astrofísica Nuclear

A maior parte do hidrogênio e hélio do Universo foi criado durante o Big Bang, e elementos mais pesados que o hidrogênio até o ferro são criados por fusão nuclear no interior das estrelas. Os astrônomos acreditam que os elementos mais pesados que o ferro no Sistema Solar foram criados durante a explosão de uma supernova à 5 bilhões de anos (BAUER e col., 2013).

A Terra tem 4,5 bilhões de anos e alguns radioisótopos de meia vida longos ainda podem ser encontrados na natureza como o urânio-238 com meia vida de 4,5 bilhões de anos. Já o urânio-235 com meia vida de 700 milhões de anos também pode ser encontrado na natureza, porém, com apenas 0,7% de abundância isotópica. Interessante notar que a dois bilhões de anos, a abundância do urânio-235 era de 3,8%, um valor maior que o utilizado no urânio enriquecido dos reatores nucleares. Desta forma podemos inferir que o nível de radiação terrestre de origem natural vem diminuindo com o passar dos anos (BAUER e col., 2013; HALLIDAY e col., 2016; OKUNO, 2018).

Radionuclídeos Primordiais, Cosmogênicos e Antropogênicos.

Radionuclídeos como o Urânio-238 que está presente desde a criação do planeta Terra são classificados como radionuclídeos primordiais. Outros exemplos de radionuclídeos primordiais são o Tório-232 com meia vida de 14 bilhões de anos e o potássio-40 com meia vida de 1,28 bilhões de anos (DEYLLLOT, 2015; MAMEDE, 2014).

Radionuclídeos como o carbono-14, hidrogênio-3 (trítio), berílio-7 e sódio-22 que são formados pela ação de prótons e nêutrons dos raios cósmicos ao atingir a alta atmosfera, são denominados de radionuclídeos cosmogênicos. O carbono-14,

por exemplo, é formado constantemente pela ação dos raios cósmicos na alta atmosfera ao atingir o núcleo dos átomos de nitrogênio-14 (MAMEDE, 2019; TIPLER e LLEWELLYN. 2014).

Radionuclídeos como o cézio-137 e o iodo-131, produzidos em acidentes com reatores nucleares ou pela explosão de armas nucleares, são denominados de radionuclídeos antropogênicos, ou seja, criados pela ação humana (MAMEDE, 2019).

Fontes de Radiação Natural

Respiramos o gás radônio (^{222}Rn) constantemente, principalmente em ambientes de alvenaria fechados e pouco ventilados onde a concentração é maior. Com meia vida de 3,825 dias o radônio é um gás nobre e naturalmente radioativo que decai emitindo radiação alfa e gama, sendo, portanto, nocivo à saúde humana. O radônio contribui com 55% da dose anual oriunda de fonte natural, o que corresponde a 2 mSv por ano. O nome radônio deriva do elemento rádio do qual se origina por decaimento alfa (BAUER e col., 2013; DEYLLLOT, 2015; MAMEDE 2019; TOMA, 2013).

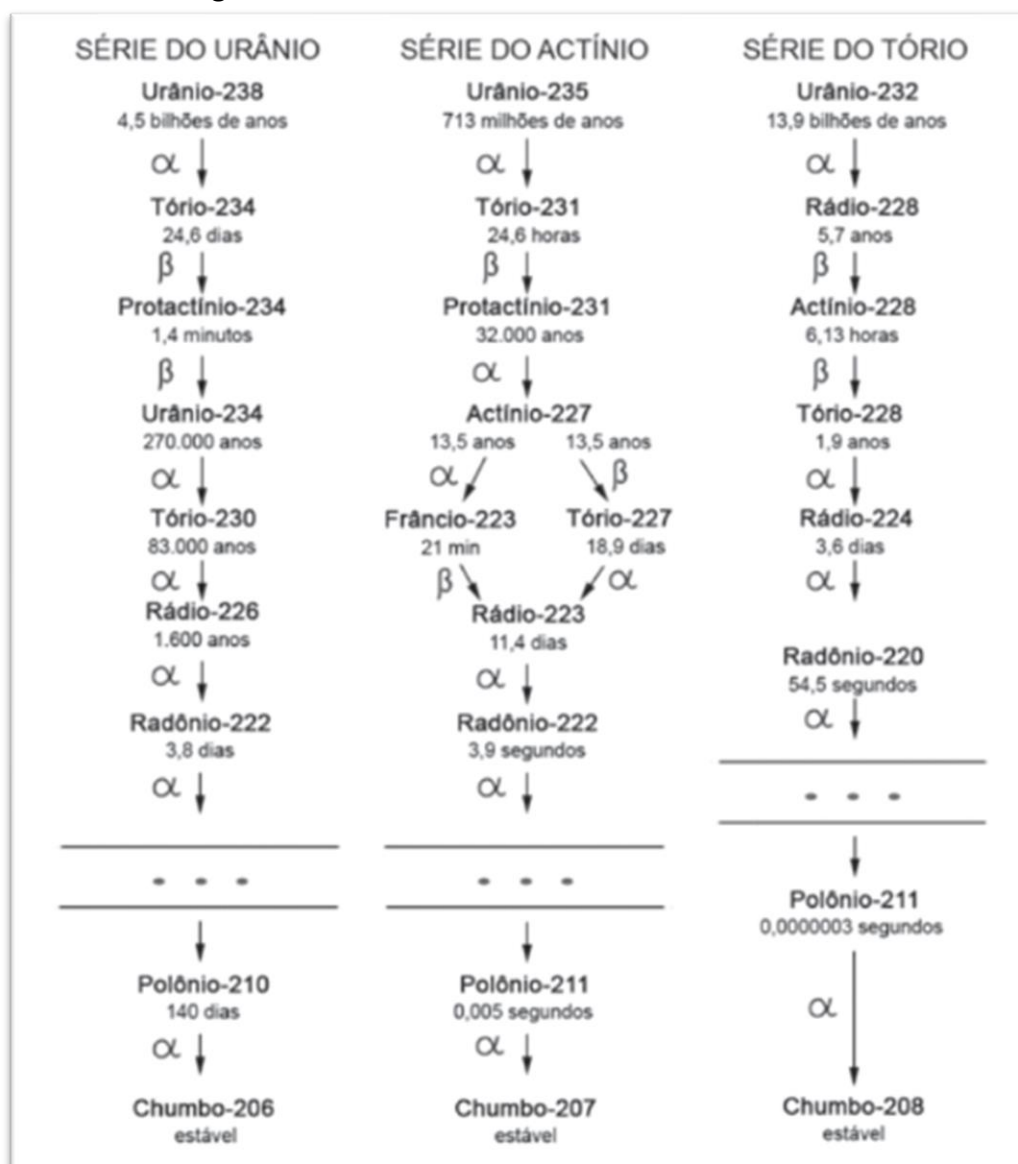
Segundo Mamede (2019),

O ser humano constantemente respira radônio e seus produtos filhos, presentes no ar. No entanto, mais preocupante que a inalação do gás radônio em si, que por ser um gás nobre não permanece nos pulmões e é novamente expelido, são os efeitos dos “filhos” do radônio. Esses radionuclídeos se depositam nas paredes do trato respiratório e continuam decaindo e emitindo suas radiações (MAMEDE, 2019, p. 7).

Os materiais de construção de alvenaria como tijolos, areia, concreto, granito etc. são fontes de radônio, portanto, pessoas que habitam em casas de madeira estão menos expostas à radiação oriunda do radônio (DEYLLLOT, 2015).

Os três radionuclídeos primordiais urânio-238, urânio-235 e urânio-232 decaem em uma sequência de radionuclídeos filhos até o chumbo-206, chumbo-207 e chumbo-208 respectivamente, todos estáveis. Estas sequências de decaimentos são denominadas de séries (ou famílias) radioativas naturais e são mostradas na Figura 6.

Figura 6 – Séries Radioativas Naturais.



Fonte: Adaptado de MAMEDE (2019, p. 8)

Outra importante fonte de radiação natural são os raios cósmicos, oriundos principalmente do Sol, com maior intensidade em grandes altitudes e menor intensidade ao nível do mar pois a atmosfera terrestre atua como uma proteção à radiação cósmica absorvendo esta radiação. Como exemplo, a intensidade da radiação cósmica a 2000 metros de altitude é 2,5 vezes maior que ao nível do mar. Por serem constituídas de partículas carregadas o campo magnético terrestre também atua como uma proteção à radiação cósmica. Pilotos de aviões e moradores de regiões mais altas estão mais expostos a este tipo de radiação.

Alimentos são outra fonte de radiação, o potássio-40, por exemplo, é radioativo e está presente na banana, cenoura e batata com atividade de 120 Bq/kg. O potássio no corpo humano tem uma concentração de 2g por quilograma de músculo, desta forma uma pessoa de 70 kg apresenta uma atividade de 3700 Bq, ou seja, 3700 decaimentos a cada segundo ocorrendo no corpo humano, entendemos então que a radiação além de estar em todo o ambiente está presente também no próprio corpo humano. Outras fontes de radiação presentes no corpo humano são o carbono-14, o hidrogênio-3 (trítio) o rubídio-87 e o rádio-226.

O Quadro 4 mostra as doses efetivas devido à radiação proveniente de fontes naturais.

Quadro 4 Dose efetiva do público devido à radiação proveniente de fontes naturais

Fontes naturais de exposição	Forma de exposição	Dose efetiva anual (mSv)	
		Média	Intervalo típico
Radiação cósmica	Exposição externa	0,39	0,3-1,0
Radiação terrestre externa	Exposição externa	0,48	0,3-1,0
Radônio (inalação do ar)	Exposição interna	1,26	0,2-10,0
Ingestão de água e alimento	Exposição interna	0,29	0,2-1,0
Total		2,42	1,0-13,0

Fonte: OKUNO (2018, p. 62)

2.8. Detecção de radiação

Para que ocorra a detecção de radiação é necessário que haja interação da radiação com o material que constitui o detector. Neste processo, havendo energia suficiente, pode ocorrer a ionização de átomos, elétrons são removidos dos átomos produzindo íons. Este tipo de radiação é denominado de radiação ionizante (OKUNO, 2018).

As diferentes formas de interação da radiação com a matéria, que levam a diferentes tecnologias de detecção, foram descritas anteriormente e devido às características de cada interação elas podem ser utilizadas em radioproteção, diagnósticos e radioterapia. Por exemplo, nos locais que existem equipamentos que emitem radiação para diagnóstico ou terapia, a pessoa que manipula estes equipamentos deve utilizar um detector que permite medir a radiação recebida em um dado período (MAMEDE, 2019).

Atualmente detectores são utilizados para detectar o produto da interação entre partículas de altas energias, produzidas no grande Colisor Hádrons ou LHC (*Large Hadron Collider*) (FOGAÇA, 2022). A Figura 7 mostra o experimento CMS do CERN.

Figura 7– Experimento CMS do CERN.



Fonte: <https://home.cern/>

3. Detector de radiação gama utilizando sensor de imagem CMOS

Esta seção é descrita a característica do sensor utilizado a pesquisa

Sensores de imagens são constituídos basicamente de milhares de sensores ópticos do tipo fotodiodos. Podemos encontrar os sensores de imagens em duas tecnologias:

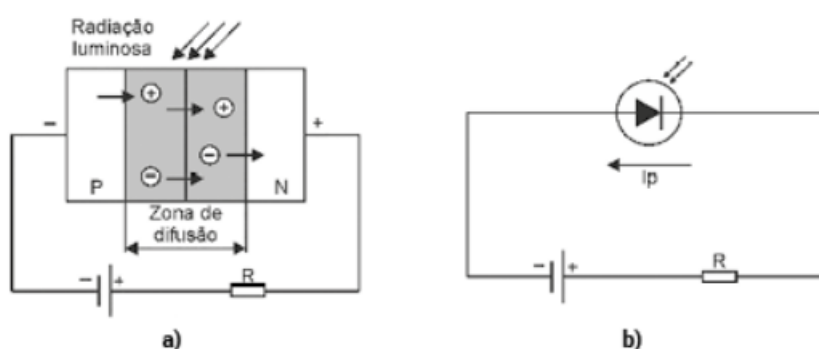
- CCD (Charge–Coupled Device);
- CMOS (Complementary Metal–Oxide Semiconductor);

Sensores de imagens CMOS são atualmente os mais utilizados em vários segmentos – celulares, câmeras de vigilância, máquinas fotográficas e outros (THOMAZINI e ALBUQUERQUE, 2020).

Fotodiodos

Fotodiodo é um diodo de material semiconductor com a região de operação limitada à polarização reversa e com a zona de difusão, também denominada de zona de depleção, exposta à luz conforme ilustrado na Figura 8.

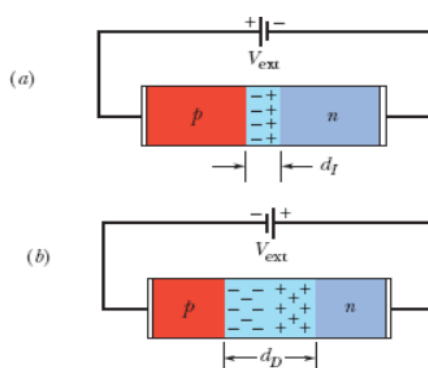
Figura 8- Estrutura com a configuração de polarização (a) e símbolo e corrente reversa (b).



Fonte: THOMAZINI e ALBUQUERQUE (2020, p. 32)

Quando um diodo é diretamente polarizado a corrente é intensa e a zona de depleção é estreita, quando um diodo é inversamente polarizado a corrente, denominada neste caso de corrente de saturação reversa, é pequena e a região de depleção é larga, conforme mostrado na Figura 9.

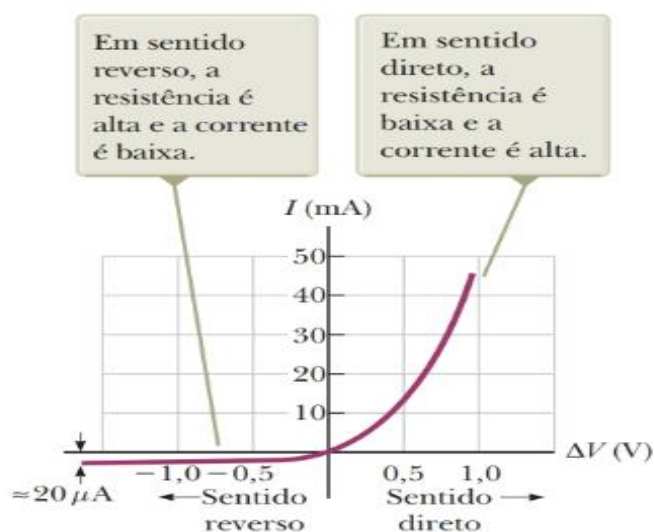
Figura 9– Zona de depleção quando diodo diretamente (a) e reversamente (b) polarizado.



Fonte: Modificado de HALLIDAY e col. (2016, p. 299)

O Gráfico 2 mostra a corrente de saturação reversa com ordem de grandeza três vezes menor do que quando diretamente polarizado.

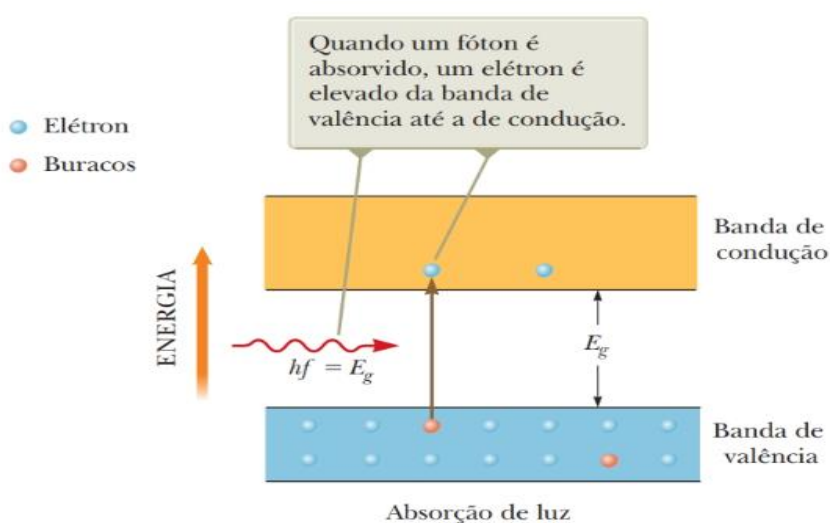
Gráfico 2 – Comportamento da corrente quando diodo é diretamente e inversamente polarizado.



Fonte: Modificado de SERWAY e JEWETT (2018, p. 297)

Em um fotodiodo, quando um elétron na banda de valência absorve um fóton este é excitado e levado para a banda de condução o que gera um aumento da corrente reversa, como ilustrado na Figura 10 (BOYLESTAD e NASHELSKY, 2004).

Figura 10– Absorção de luz por um semiconductor.

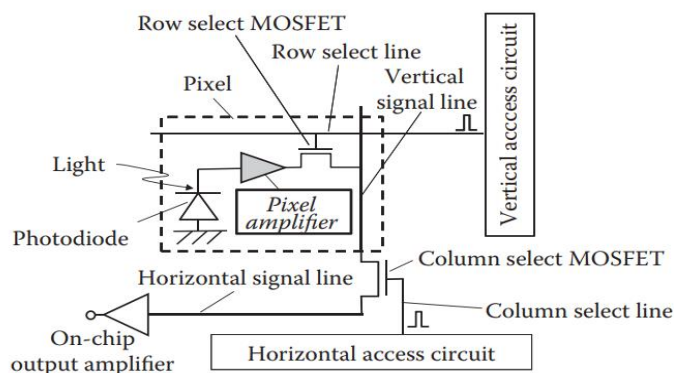


Fonte: Modificado de SERWAY e JEWETT (2018, p. 298)

3.1. Sensor de Imagem CMOS

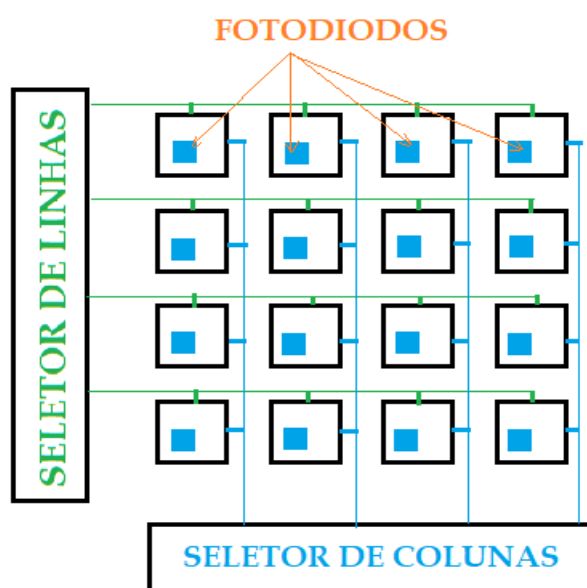
A Figura 11 ilustra o circuito básico de um sensor CMOS e o esquema se repete para todos dos fotodiodos dispostos em linhas e colunas conforme mostrado na Figura 12. Característica importante dos sensores CMOS é a possibilidade de integrar em um mesmo circuito integrados (CI), também conhecido como *chip* os fotodiodos e transistores responsáveis pela amplificação, seleção individual de cada fotodiodo por linha e coluna, interfaceamento com dispositivos externos e outros (VAHID, 2008).

Figura 11– Configuração básica de um sensor CMOS.



Fonte: Kuroda (2015, p. 84)

Figura 12– Arquitetura básica de um sensor CMOS.



Fonte: Adaptado de Kuroda (2015, p. 89)

Atualmente a tecnologia mais amplamente utilizada para a construção de circuitos integrados – analógicos ou digitais – é a tecnologia CMOS (complementary metal–oxide semiconductor) como por exemplo microprocessadores, memórias e outros. "Nesse tipo de circuito, os transistores atuam sempre em pares complementares, isto é, um transistor MOSFET – canal P em conjunto com outro MOSFET – canal N. Isso confere ao circuito maior velocidade e menor dissipação de potência" (MARQUES e col., 2012, p. 345).

A Figura 13 mostra um sensor CMOS com a lente desacoplada o que permite a vista interna do sensor.

Figura 13– Sensor CMOS OV2640.

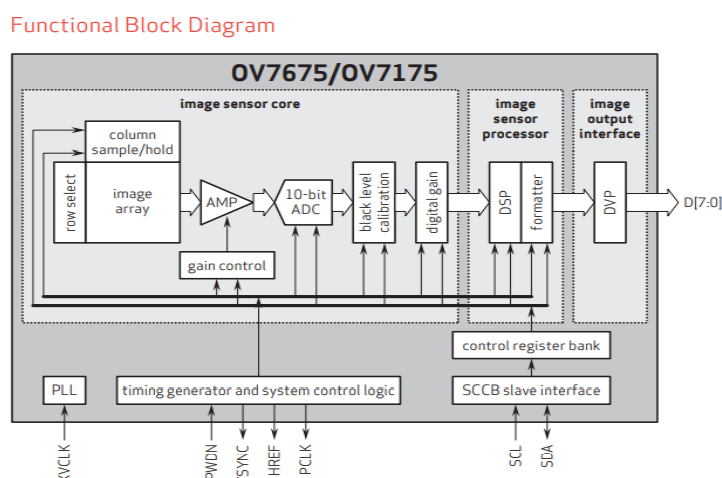


Fonte: Autor

A Figura 14 mostra o esquema básico de um sensor CMOS OV7675 da empresa OmniVision Technologies Inc., divididos em três blocos básicos:

- Image Sensor Core: matriz de fotodiodos é lida selecionando linhas e colunas, o sinal elétrico lido é amplificado e convertido de analógico para digital;
- Digital Signal Processor (DSP): a imagem é tratada em seus parâmetros e convertida do formato *row image* (imagem não compactada e não processada) para o padrão programado (RGB por exemplo);
- Digital Vídeo Port (DVP): responsável pelo interfaceamento entre o sensor CMOS e o dispositivo externo que vai receber a imagem;

Figura 14– o esquema básico de um sensor CMOS OV7675 da empresa OmniVision Technologies Inc.



Fonte: OmniVision Technologies Inc., disponível em: <https://www.ovt.com/>

3.2. Formação de uma Imagem Digital

Conforme visto anteriormente sensores de imagens são constituídos basicamente de milhares de sensores ópticos do tipo fotodiodos onde cada fotodiodo responde apenas à intensidade de luz, não à sua cor (comprimento de onda). Imagens formadas apenas pela simples leitura da quantidade de luz captada por cada fotodiodo geraria uma imagem acromática (sem cores) apenas com nível de cinza que vai da maior intensidade, o branco, até a menor intensidade, o preto, passando pelo cinza.

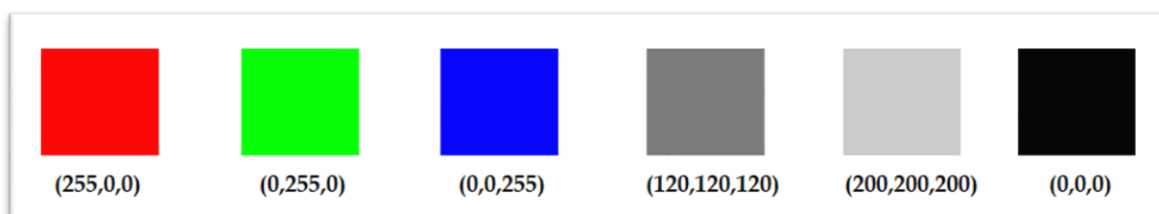
Um sensor de imagem consegue criar uma imagem colorida inserindo um filtro vermelho antes do fotodiodo que irá captar apenas a luz vermelha (*red* em inglês), um filtro antes do fotodiodo que irá captar apenas a luz verde (*green* em inglês) e um filtro azul antes do fotodiodo que irá captar apenas a luz azul (*blue* em inglês). O filtro mais comumente utilizado é o filtro Bayer conforme mostrado na Figura 15.

O filtro de Bayer consiste em linhas de pixels vermelhos e verdes alternados, seguidas por uma linha de pixels alternados em azul e verde. Há mais pixels verdes do que vermelhos ou azuis, já que o olho responde melhor ao verde do que ao vermelho ou ao azul. Um pequeno microprocessador na câmera calcula a melhor cor para cada pixel, baseado na intensidade da luz vermelha, verde e azul que passou pelo filtro de Bayer (BAUER e col., 2013, p.58).

A combinação das três cores primárias vermelho (*red* em inglês), verde (*green* em inglês) e azul (*blue* em inglês) para a formação de cores é denominado de modelo RGB de cores. “Os números de bits utilizado para representar cada pixel em um espaço de RGB é chamado de profundidade de pixel.” (GONZALEZ E WOODS, 2010, p. 345). Se, por exemplo, cada cor primária for representada por um byte de 8 bits, temos 2^8 combinações em oito bits, resultando para cada cor primária 256 valores diferentes. Combinando as três cores primárias temos $256 \times 256 \times 256$ que resulta em 16 milhões de cores diferentes de serem representadas. Neste caso a profundidade do sistema RGB seria de 24 bits.

No sistema RGB de 24 bits quanto maior o valor de cada um dos três bytes mais clara será a cor do pixel “(*pixel* é forma abreviada de ‘picture elements’, elementos de imagem, em inglês)” (VAHID, 2008), conforme exemplo da Figura 17. A branca seria representada por (255,255,255) e a preta por (0,0,0), valores iguais para os três bytes RGB resultam em cor cinza.

Figura 17 – Exemplos de diferentes combinações do sistema RGB de 24 bits.



Fonte: O autor

3.3 Uso de Sensor de Imagem CMOS para Detecção de Radiação Gama

Sensores de imagem CMOS para detectar radiação gama é uma possibilidade já explorada em alguns trabalhos tendo como atrativos o seu baixo custo, baixo consumo e boa resistência à radiação. O princípio básico é o mesmo descrito na captação de luz visível por um fotodiodo onde um elétron na banda de valência capta a radiação ionizante e é elevado para a banda de condução provocando um aumento da corrente reversa (COGLIATI e col., 2014; SHOULONG e col., 2017).

Neste trabalho o objetivo é didático e prima pela simplicidade e replicabilidade para que um professor de ensino médio possa reproduzir o experimento. Não se

pretende construir um aparelho de medição de dosagem de radiação. A escolha em utilizar uma Webcam, figura 18, simplifica a captação das imagens uma vez que normalmente estas são facilmente reconhecidas pelo sistema operacional Windows. .

Figura 18 – Webcam escolhida para o experimento.



Fonte: Autor

Principais características da Webcam:

- Sensor de imagem CMOS;
- Frame Rate: 320x240 26 fps / 640x480 16 fps

Com o propósito de descobrir o tipo de radiação detectada pela Webcam a sua lente foi removida conforme mostrado na Figura 19.

Figura 19– Webcam sem a lente óptica



Fonte: Autor

Para evitar algum curto-circuito com as partes elétricas expostas, a placa onde está o sensor CMOS foi coberta com fita isolante conforme mostrado na Figura 20.

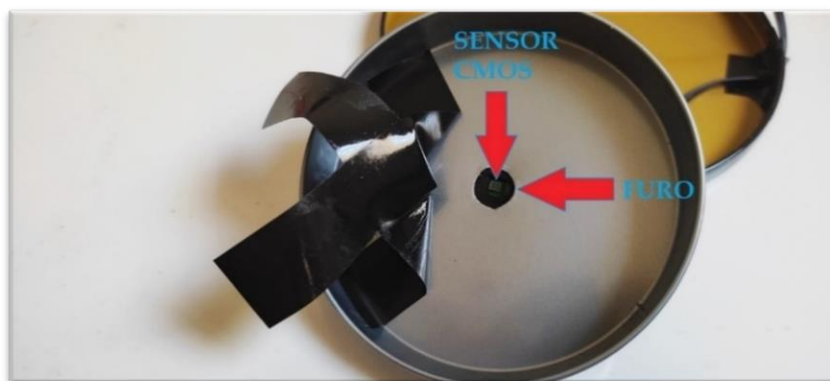
Figura 20– Fita isolante deixando exposto apenas o sensor CMOS.



Fonte: Autor

Em seguida, a tampa de uma pequena lata foi furada e o sensor montado conforme mostra a Figura 21.

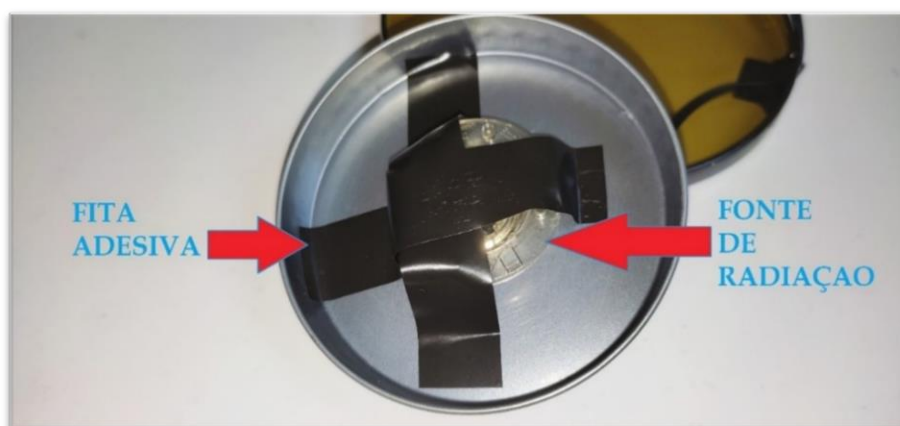
Figura 21– Fita isolante deixando exposto apenas o sensor CMOS



Fonte: Autor

Na sequência a fonte de radiação (Anexo A e B) é colocada de frente para o sensor e seguro por uma fita adesiva (neste caso uma fita isolante) conforme mostra a Figura 22. A Figura 23 mostra a lata fechada com a Webcam na parte externa.

Figura 22– Fonte de radiação presa com fita adesiva



Fonte: Autor

Figura 23– Lata fechada com sensor na parte superior



Fonte: Autor

Com o objetivo de evitar a entrada de luz, a lata da Figura 25 é colocada no interior de uma segunda lata maior conforme mostrado nas Figura 24 e 25.

Figura 24– Lata menor será colocada no interior de uma lata maior.



Fonte: Autor

Uma vez finalizada a montagem conforme mostrado na Figura 25, o cabo da Webcam é conectado a um computador com sistema operacional Windows 10 ou superior.

A entrada de luz impediria o sensor de distinguir a radiação detectada da luz ambiente inviabilizando o experimento.

Figura 25 – Montagem finalizada



Fonte: Autor

Um software (Anexo IV) foi desenvolvido com o objetivo de detectar quando a radiação atinge o sensor CMOS. O software cria três janelas conforme mostrado na Figura 26.

Figura 26– Janelas criadas pelo software.



Fonte: Autor

As três janelas criadas são:

- “MATRIZ DE PONTOS ACUMULADOS”, uma janela criada do lado esquerdo da tela onde os pontos são plotados na coordenada em que foram detectados, porém, modificados para uma cor branca e acrescentado a cada ponto um círculo vermelho em volta para facilitar sua visualização, conforme mostrado na Figura 27.
- “IMAGEM EM TEMPO REAL”, janela criada do lado direito da tela, mostra em tempo real o que o sensor CMOS está detectando. Se observada com atenção é possível observar pequenos pontos brilhando e apagando rapidamente que são justamente a radiação captada em tempo real;
- “MENSAGENS”, uma janela onde são mostrados o número total de pontos detectados desde o momento em que o software foi iniciado;

Figura 27– Dois pontos na janela “MATRIZ DE PONTOS ACUMULADOS”.



Fonte: Autor

O software pode ser interrompido a qualquer momento ao pressionar a tecla “ESC” do teclado. O software cria em um diretório um arquivo denominado “coordenadas_todos_pontos_detectados.txt” onde consta as coordenadas de todos os pontos detectados conforme mostrado na Figura 28.

Como a radiação ao incidir no sensor CMOS atinge mais de um ponto ao mesmo tempo (pontos “vizinhos”), é considerada para reproduzir na janela “MATRIZ DE PONTOS ACUMULADOS” apenas a coordenada com a intensidade mais forte (“Nível de cinza”).

Figura 28- Pontos detectados pelo sensor

```

614:68          Nivel de cinza: 32
344:351        Nivel de cinza: 37
344:352        Nivel de cinza: 45
345:351        Nivel de cinza: 51
345:352        Nivel de cinza: 38
346:352        Nivel de cinza: 39

530:408        Nivel de cinza: 31
530:409        Nivel de cinza: 40
530:410        Nivel de cinza: 62
531:408        Nivel de cinza: 36
531:409        Nivel de cinza: 105
531:410        Nivel de cinza: 62
532:408        Nivel de cinza: 59
532:409        Nivel de cinza: 63
532:410        Nivel de cinza: 62
533:409        Nivel de cinza: 43

0:110          Nivel de cinza: 40
0:111          Nivel de cinza: 35

590:442        Nivel de cinza: 37
590:443        Nivel de cinza: 38
590:444        Nivel de cinza: 32
591:442        Nivel de cinza: 46
591:443        Nivel de cinza: 108
591:444        Nivel de cinza: 38
592:442        Nivel de cinza: 47
592:443        Nivel de cinza: 57
592:444        Nivel de cinza: 45
593:443        Nivel de cinza: 30

389:57         Nivel de cinza: 50
389:58         Nivel de cinza: 33
390:58         Nivel de cinza: 40

518:430        Nivel de cinza: 30
519:429        Nivel de cinza: 64
519:430        Nivel de cinza: 46
520:429        Nivel de cinza: 37
520:430        Nivel de cinza: 58
521:429        Nivel de cinza: 30
#####
Total de pontos detectados: 7

```

Fonte: Autor

Outro arquivo criado é uma imagem do tipo não comprimida (formato BMP) com o nome “imagem_com_todos_pontos_detectados.bmp” que é uma cópia da janela “MATRIZ DE PONTOS ACUMULADOS” quando o software foi finalizado conforme mostrado na Figura 29.

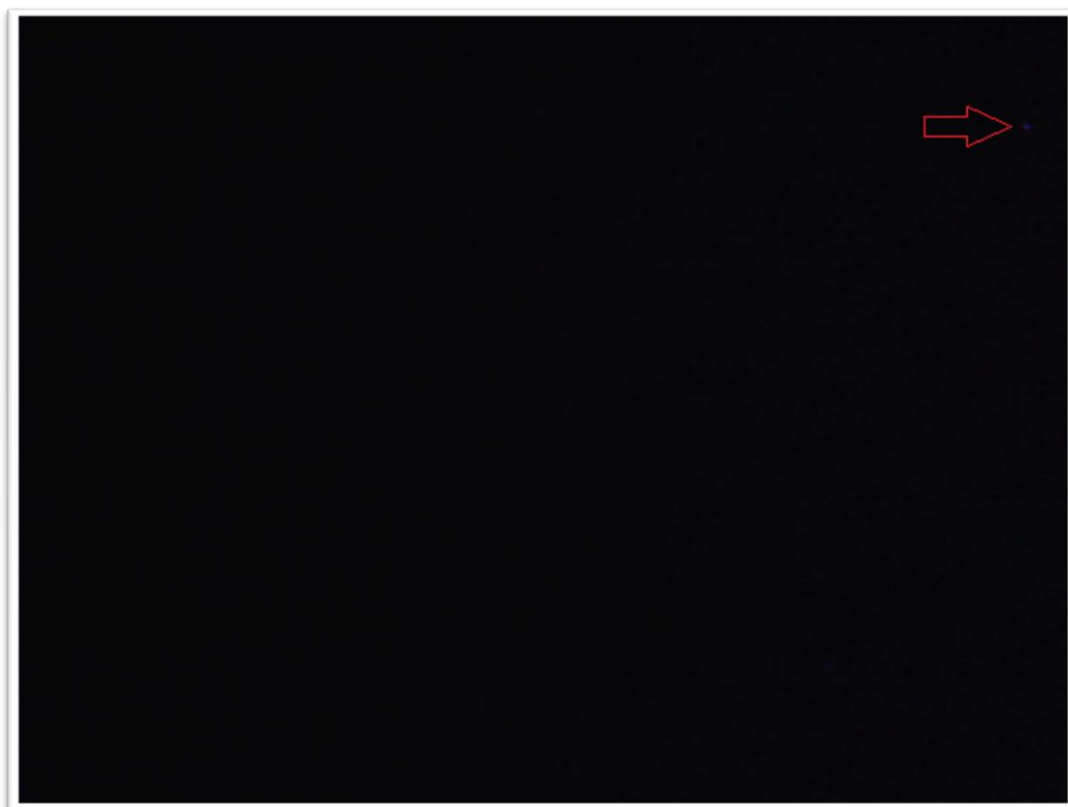
Figura 29– Imagem criada ao finalizar o programa.



Fonte: Autor

Todas as imagens captadas pelo sensor CMOS em que foram detectados incidência de radiação (pontos detectados) são gravadas no diretório de forma numerada sendo a primeira nomeada como “imagem_captada_1.bmp” a segunda “imagem_captada_2.bmp” e assim por diante. A Figura 33 mostra uma destas imagens. A Figura 31 mostra todos os arquivos criados ao finalizar o programa.

Figura 30– A seta vermelha mostra um ponto detectado.



Fonte: Autor

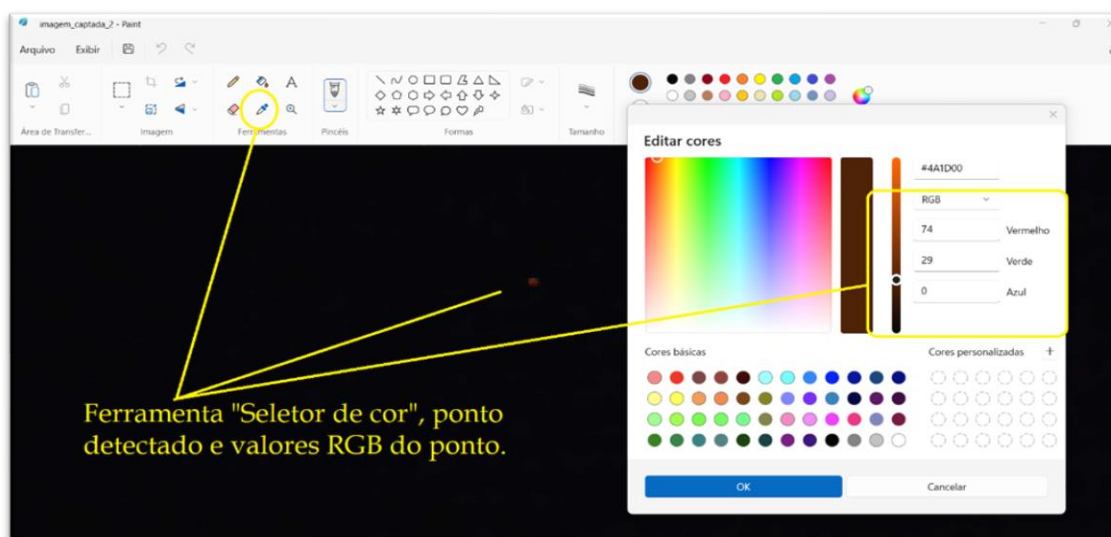
Figura 31– Todos os arquivos criados ao finalizar o programa

Nome	Tipo	Tamanho	Marcas
 coordenadas_todos_pontos_detectados	Documento de Te...	2 KB	
 imagem_captada_7	Arquivo BMP	901 KB	
 imagem_captada_6	Arquivo BMP	901 KB	
 imagem_captada_5	Arquivo BMP	901 KB	
 imagem_captada_4	Arquivo BMP	901 KB	
 imagem_captada_3	Arquivo BMP	901 KB	
 imagem_captada_2	Arquivo BMP	901 KB	
 imagem_captada_1	Arquivo BMP	901 KB	

Fonte: Autor

Podemos verificar se os pontos detectados realmente estão nas imagens captadas, primeiro, abrindo o arquivo “coordenadas_todos_pontos_detectados.txt”, e escolhendo um ponto qualquer, como por exemplo o ponto com maior nível de cinza que consta estar nas coordenadas (345:351) o que corresponde à segunda imagem captada “imagem_captada_2.bmp”. Basta então abrir a imagem “imagem_captada_2.bmp” pelo aplicativo Paint do Windows, em seguida utilizando a ferramenta “Seletor de cor” do Paint, selecionarmos a coordenada escolhida e selecionarmos a ferramenta “Editor de cor” que permite visualizar os valores RGB em decimal (neste caso vermelho = 74, verde = 29 e azul=0) conforme mostrado na Figura 32.

Figura 32– Aplicativo Paint do Windows aberto com uma das imagens captadas.



Fonte: Autor

As cores dos pontos captados não têm nenhuma relação com a radiação gama captada pois o que ocorre é que a radiação pode incidir com maior ou menor intensidade em cada sensor R, G ou B gerando diferentes cores.

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

As atividades relatadas foram realizadas nem uma Escola Estadual 2ª Série do Ensino Médio, As atividades de organização, planejamento da SD, e referenciais foram realizadas no ano 2021, sendo que as atividades com alunos de forma presencial, foram realizadas no primeiro semestre de 2022, tomando todas as precauções necessárias devido ainda à presença do COVID-19. Não houve incidentes, mas o retorno a aulas presenciais não foi fácil.

As aulas tinham duração de 45 minutos. A escola conta com um laboratório de Química/Biologia e um laboratório de Física/Inova (Inova Educação é um programa do Estado de São Paulo composto das disciplinas de Tecnologia e Inovação, Eletivas e Projeto de Vida). O laboratório de Física/Inova foi criado em 2022 e ambos os laboratórios têm recebido investimentos ao longo do ano de 2022 tanto em infraestrutura como em equipamentos.

4.1. Sequência Didática e sua realização

As habilidades trabalhadas seguem os objetivos do Currículo Paulista e estão listadas, juntamente com a unidade temática e objetos de conhecimento, no Quadro 5. Neste contexto o experimento *Detecção de Radiação Ionizante por Sensor Digital CMOS* faz parte de uma sequência didática (SD), planejada para ensinar o conceito de radiação ionizante.

Para a realização das atividades da sequência didática apresentada no Quadro 6, foram necessárias 7 semanas, sendo duas aulas por semana e com duração de 45 minutos para cada aula. Durante o desenvolvimento da sequência didática o professor atuou como mediador, fazendo as intervenções sempre que necessário. Todas as aulas foram realizadas no laboratório de Física, mesmo quando não necessárias, com o objetivo de tirar os alunos da sala de aula colocá-los em um ambiente diferente.

Quadro 5– Habilidades apresentadas no Currículo Paulista para Unidade Temática Matéria e energia.

Unidade Temática	Habilidades	Objetos de Conhecimento
Matéria e Energia	Avaliar os benefícios e os riscos à saúde e ao ambiente, considerando a composição, a toxicidade e a reatividade de diferentes materiais e produtos, como também o nível de exposição a eles, posicionando-se criticamente e propondo soluções individuais e/ou coletivas para seus usos e descartes responsáveis.	Propriedade elétrica dos materiais (condutores e isolantes) Ondas eletromagnéticas (espectro eletromagnético; ondas de rádio; micro-ondas; radiações infravermelhas; radiações visíveis; radiações ultravioletas, raios x; raios gama) Quantização de energia (Núcleo atômico; radioatividade); Radioatividade (fissão e fusão nuclear; decaimento radioativo; radiação ionizante)

Fonte: Caderno do Professor. Disponível em:

<https://efape.educacao.sp.gov.br/>

Quadro 6– Sequência Didática aplicada.

Semana	Aula	Objetivo	Resumo da atividade
1		Apresentação do objetivo da sequência didática e levantamento dos conhecimentos prévios. Visualizar a proporção do tamanho de um	Bate-papo com os alunos sobre a radiação. Reproduzir a proporção do tamanho de um átomo com relação ao seu núcleo imaginando um núcleo de 1mm.

		átomo com relação ao seu núcleo.	Alunos formaram grupos para apresentar em aulas futuras trabalhos com temas relacionados à radiação (trabalhos foram apresentados na semana 4).
	2	Compreender as forças presentes no núcleo de um átomo (força eletrostática entre prótons e atuação da força nuclear forte) e quantificação das energias em um átomo. Compreender o que são isótopos e os decaimentos alfa, beta e gama.	Experimento com ímãs de neodímio e tampinhas de garrafas para representar a atuação da força nuclear forte e a força eletrostática entre prótons.
2		Apresentar as unidades de medida de radiação (Sievert, curie e becquerel).	Utilizando projetor da sala, foi realizado busca pela internet de taças, bandejas e outros compostos de vidro contendo urânio (conhecido como uralina) à venda. Apresentação de vídeo da praia de Guarapari no Espírito Santo. Vídeo do YouTube com o Prof. Carl Willis medindo radiação na Usina Nuclear de Chernobyl.
	4	Medir radiação do ambiente e da areia monazítica do estado	Medir com dosímetro a radiação do ambiente e de porção

		do Espírito Santo, Guarapari.	de areia monazítica do estado do Espírito Santo, Guarapari.
3	5	Compreender a relação entre radiação e instabilidade do núcleo atômico.	Simulação "Monte um Átomo" do site PhET. Aula expositiva sobre tabela periódica, isótopos e número de massa.
	6	Compreender conceito de meia-vida.	Atividade em grupos com tampinhas de garrafas para representar o conceito de meia-vida.
4	e 8	Apresentação dos trabalhos de pesquisa realizados por 4 grupos de alunos.	Grupos apresentaram os seguintes trabalhos: •Águas de Lindoia e radiação da sua água. •Acidente de Chernobyl. •Radiação na medicina. •Raio-X. Professor comentou trabalhos.
5	e 10	Apresentação pelo professor do livro <i>Os Homens do Fim do Mundo</i> com leitura oral pelo professor de trechos do livro relacionado à descoberta da radiação e os aprendizados nos primeiros anos por parte dos cientistas e sociedade.	Utilizando projetor da sala, professor apresentou a capa do livro <i>Os Homens do Fim do Mundo</i> e realizou a leitura oral de alguns trechos do livro relacionados à descoberta da radiação comentando alguns trechos lidos.

6	1	Realização de experimento de ionização do ar com fonte radioativa.	Aplicando uma alta tensão entre dois terminais, no limiar para que surja uma centelha entre estes, um arco voltaico ocorre quando o ar entre os terminais é ionizado por radiação alfa. Alunos experimentaram colocar folha de papel entre a fonte de radiação e os terminais observando em qual situação surge o arco voltaico. Por segurança a atividade foi realizada sempre com a presença do professor e com grupos de cinco alunos de cada vez.
	2	Realização do experimento <i>Detecção de Radiação Ionizante por Sensor Digital CMOS</i> .	Realização do experimento <i>Detecção de Radiação Ionizante por Sensor Digital CMOS</i> primeiro sem obstáculo entre o sensor e a fonte de radiação e depois experimentando papel como obstáculo e por fim papel alumínio como obstáculo.
7	3 e 14	Alunos responderem questionário sobre o que eles aprenderam.	Após as respostas escritas dos alunos eles tiveram um espaço para diálogo com o professor para finalizar a atividade

Fonte: Autor

4.2 Desenvolvimento da Sequência Didática

1º Semana da Sequência Didática

Na primeira semana a aula 1 iniciou com uma conversa com os alunos sobre radiação e levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos sobre o tema. Como os alunos já tinham um conhecimento sobre o modelo atômico de Bohr, trabalhados no bimestre anterior, foram então separados em grupos e orientados a pesquisarem, na internet, qual o tamanho de um átomo e a proporção entre o tamanho do átomo e seu núcleo. Em seguida foram desafiados a representar um átomo, mantendo as proporções, se o núcleo tivesse 1 mm de diâmetro.

Foi fornecida uma trena e uma régua para que eles pudessem representar o núcleo e o limite do átomo. Nesta etapa foi necessária a intervenção do professor pois os alunos não sabiam lidar com potência de base dez. Após a conclusão da atividade os alunos foram orientados a formarem grupos e escolherem um tema dentro de uma lista apresentada pelo professor para prepararem uma apresentação a ser realizada por eles na quarta semana. Os temas propostos eram todos relacionados à radiação (trabalhos foram apresentados na semana 4) , são estes:

- Águas de Lindoia e radiação da sua água.
- Acidente de Chernobyl.
- Radiação na medicina.
- Raio-X

2º Semana da Sequência Didática

A segunda aula iniciou com um diálogo com os alunos sobre como um átomo está constituído, os alunos responderam corretamente situando prótons e nêutrons no núcleo e elétrons na eletrosfera. Também identificaram corretamente as cargas elétricas positiva para os prótons, negativas para os elétrons e neutra para os nêutrons e descreveram as forças de interação entre cargas de forma correta identificando a força de repulsão entre cargas iguais e atração entre cargas diferentes. Neste momento o professor indagou,

“Como é possível que os prótons fiquem unidos no núcleo sendo que cargas iguais se repelem?”

Os alunos não souberam responder, foi explicado então a existência de uma outra força além da forma elétrica e forma magnética, a força nuclear forte, explicando como ela atua. Utilizando uma folha de papel e tampinhas de garrafas para representar prótons e nêutrons, o professor desenhou um círculo em torno das tampinhas explicando que aquela linha representava o limite de atuação da força nuclear forte e que dentro deste limite esta força sobrepujava a força de repulsão eletrostática entre os prótons, Figura 33.

Figura 33– Representação da força nuclear forte.



Fonte: Autor

Com o objetivo de reforçar o conceito de força de repulsão, o professor pediu para os alunos tentarem aproximar dois ímãs de neodímio, conforme mostrado na Figura 34.

Figura 34– Aluna experimentando a força de repulsão entre dois ímãs.



Fonte: Autor

Os alunos ficaram admirados com a dificuldade de aproximar os polos iguais, foi explicado que no núcleo também ocorre força de repulsão entre os prótons, porém a natureza da força envolvida é elétrica e não magnética como nos ímãs e o que supera esta força de repulsão é a força nuclear forte. Todos os alunos sinalizaram terem compreendido bem. Em seguida foi realizada uma atividade com o objetivo de reforçar o conceito de quantificação de energia dos elétrons na eletrosfera do átomo, habilidade já vista no bimestre anterior.

Com um aluno voluntário, na frente da sala onde todos podiam ver, pediu então que o aluno subisse em cima de uma cadeira – que por sua vez estava ao lado de uma mesa. A atividade consistia em fazer uma analogia entre diferentes níveis de energia dos elétrons e a altura em que o aluno se encontrava, que pode ser no chão, em cima da cadeira ou em cima da mesa, enfatizando que somente determinados níveis de energia são permitidos, o do chão que corresponde ao nível fundamental, em cima da cadeira que corresponde ao primeiro nível excitado e em cima da mesa que corresponde ao segundo nível excitado (análogo aos níveis do elétron). Níveis entre o chão e a cadeira, entre a cadeira e a mesa não são permitidos, de forma análoga à física quântica que rege o comportamento dos elétrons em um átomo. Em seguida professor apresentou os fenômenos físicos quando um núcleo de um átomo passa de um nível excitado para um nível de menor energia que resulta na emissão da radiação gama. Também explicou a emissão alfa e beta e o conceito de isótopos.

3º Semana da Sequência Didática

Na aula 3 o professor fez uma breve apresentação de um vídeo sobre a praia de Guarapari no estado do Espírito Santo e de um trecho de um vídeo do YouTube do Prof. Carl Willis (EUA) medindo a radiação no entorno da Usina Nuclear de Chernobyl.

Também se mostrou, utilizando um projetor, o resultado de uma busca por sites de compras pelo produto uralina (vidro contendo urânio) onde foram encontradas taças, bandejas e outros, como apresentado na Figura 35. Em seguida o professor fez uma breve apresentação das unidades de medida de radiação: Curie, becquerel e Sievert.

Figura 35– Bandeja de uralina.



Fonte: <https://www.mercadolivre.com.br/>

Na aula 4 os alunos foram apresentados a um dosímetro de radiação com o qual mediram a radiação do ambiente (chamada radiação de fundo), Figura 36.

Figura 36– Dosímetro.



Fonte: Autor

Em seguida os alunos mediram a radiação, mostrada na Figura 37, com o mesmo dosímetro, de uma porção de areia monazítica do estado do Espírito Santo, Guarapari. **Esta areia se encontrava em um frasco de vidro de forma que os alunos não tiveram contato direto com a areia, somente o professor. É importante que o professor tome as precauções necessárias devido à curiosidade dos alunos que podem querer ter contato com a areia. No apêndice se encontram mais especificações**

Figura 37– Dosímetro e areia monazítica.



Fonte: Autor

Compararam os resultados e perceberam que a radiação da areia monazítica é ligeiramente superior à radiação medida no ambiente. Alunos comentaram se acreditavam ou não nos propalados benefícios medicinais da areia. Também observaram a areia monazítica no microscópio ótico (Figura 38) chegando à conclusão que a areia monazítica diferia da areia comum pela presença de alguns grãos pretos. Em esta parte, só o professor teve contato com a areia.

Figura 38– Aluna observando areia monazítica.

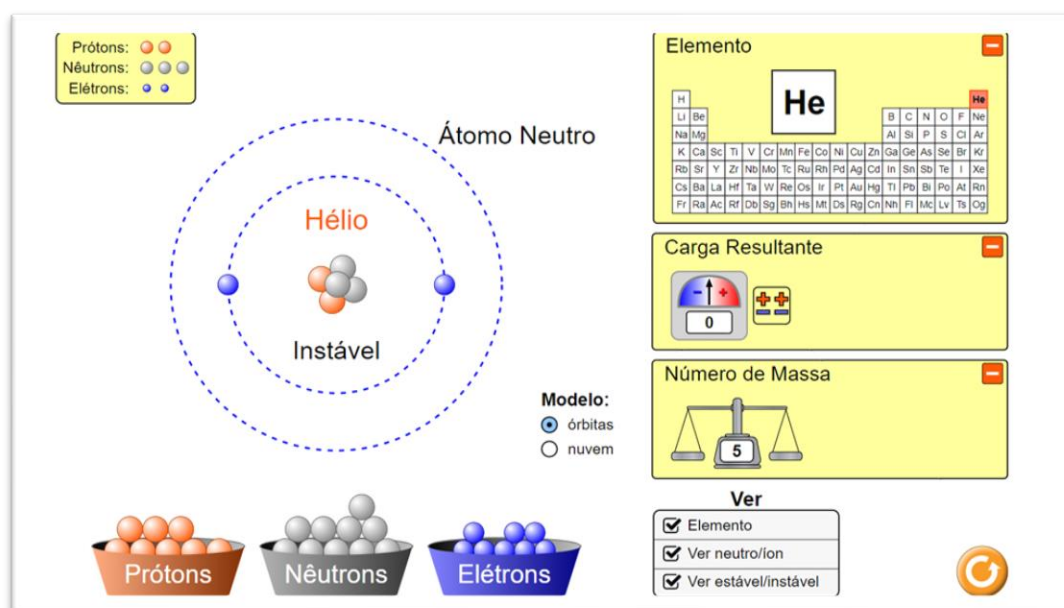


Fonte: Autor

4º Semana da Sequência Didática

A aula 5 iniciou com a apresentação de uma simulação "Monte um Átomo" do site PhET (Figura 39) que permite simular a montagem de um átomo acrescentando prótons, nêutrons e elétrons e observar que a falta ou excesso de nêutrons causa a instabilidade do núcleo. Professor explicou que a instabilidade do núcleo está relacionada com o decaimento radioativo.

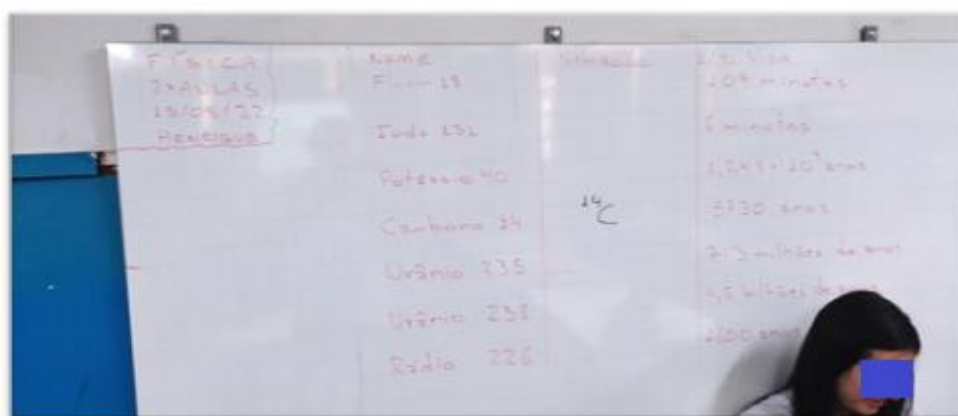
Figura 39– Experimento virtual “Monte um Átomo”.



Fonte: Site PhET, <https://phet.colorado.edu/>

A aula 6 foi dedicada para trabalhar o conceito de meia-vida com uma atividade prática valendo nota. Os alunos foram divididos em grupos. Professor fez uma explicação sobre o conceito de meia-vida. Em seguida o professor colocou uma lista de isótopos radioativos na lousa (Figura 40) juntamente com o tempo de vida de cada um e distribuiu tampinhas de garrafas para cada grupo.

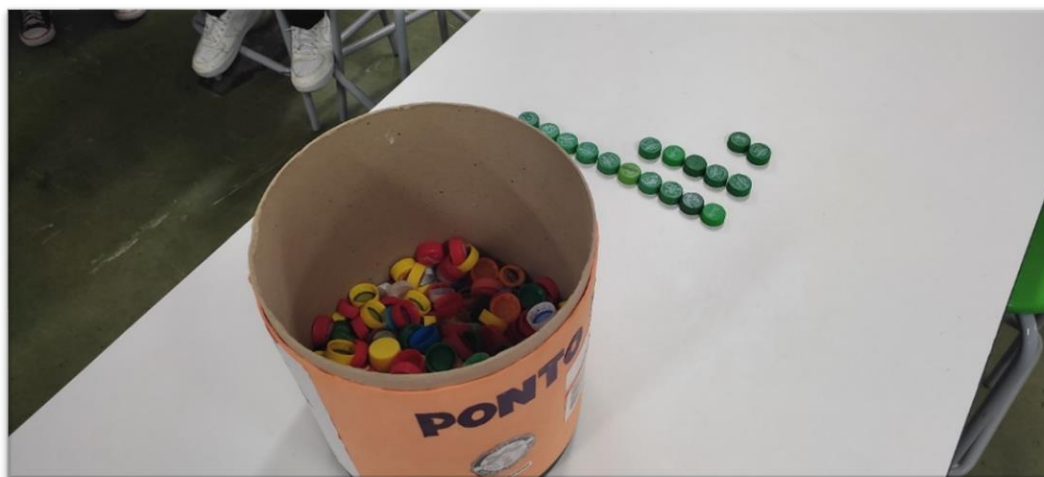
Figura 40– Lousa com lista de isótopos radioativos.



Fonte: Autor

A atividade consistia em alunos escolherem um isótopo dentro da lista da lousa, encontrarem o símbolo de cada elemento químico na tabela periódica e em seguida chamar o professor e demonstrar o conceito de meia-vida simulando o decaimento dos átomos (Figura 41) com a diminuição gradativa das tampinhas entre cada período de meia-vida simulado.

Figura 41– Atividade simulando decaimento radioativo.



Fonte: Autor

Os alunos demonstraram pouca familiaridade com a tabela periódica, necessitando por vezes a intervenção do professor. Foi dado alguns minutos para que cada grupo preparasse sua explicação utilizando as tampinhas de garrafas. Aos grupos que não conseguiram explicar, o professor refez a explicação e retornou mais tarde para que eles tentassem novamente.

Na 4ª semana, aulas 7 e 8, os grupos apresentaram (Figuras 42 e 43) os seguintes trabalhos:

- Águas de Lindoia e radiação da sua água.
- Acidente de Chernobyl.
- Radiação na medicina.
- Raio-X.

Figura 42– Apresentação dos trabalhos.



Fonte: Autor

Figura 43– Apresentação dos trabalhos.



Fonte: Autor

Ao final das apresentações, professor comentou os trabalhos.

5º Semana da Sequência Didática

Na 5ª semana, aulas 9 e 10, o professor apresentou o livro *Os Homens do Fim do Mundo*, Figura 44, e realizou a leitura oral de alguns trechos do livro relacionados à descoberta da radiação comentando alguns trechos lidos. Alguns trechos lidos mostram o desconhecimento dos perigos da radiação nos primeiros anos à sua descoberta.

“Em uma ocasião, Marie Curie referiu-se à alegria que sentia ao entrar no seu laboratório à noite e ver a fila de tubos que brilhavam tenuamente. Eram

como luzes de fadas, ela disse. Ela chegava a levar sal de rádio para a cama, para vê-lo brilhar no escuro – um abajur atômico. O metal de rádio é de um branco puro, que se escurece em contato com o ar. Ele emite raios alfa, beta e gama. O rádio-226 perde apenas 1% da sua radioatividade em 25 anos, até que, por fim, se estabiliza, transformando em chumbo. Os seus raios fazem brilhar os diamantes “como uma luz clara e fosforescente”. As pedras falsas não brilham com o rádio, e algumas senhoras que compareciam a conferência sobre o rádio ficaram boquiabertas ao descobri-lo. Mas os raios de rádio também são perigosos. Marie e Pierre Curie logo viram que uma exposição de apenas cinco minutos era suficiente para causar feridas profundas, embora demorassem estranhamente vários dias para aparecer”. (SMITH, 2008, p.82).

O trecho a seguir ajuda a quebrar o estereótipo do cientista como uma pessoa que simplesmente tem ideias geniais e faz suas descobertas simplesmente pensando no problema.

Embora parecesse tímida e reservada para os que a viam pela primeira vez, era, na verdade, uma mulher determinada e pertinaz. Sem dúvida sentia-se feliz diante do tremendo desafio de separar os novos elementos: “Eu tinha de trabalhar com vinte quilos do material de cada vez, de modo que o galpão estava sempre cheio de recipientes grandes com precipitados e líquidos. Era um trabalho exaustivo que me obrigava a carregar os recipientes, transferir os líquidos e misturá-los durante horas a fio, com uma barra de ferro, em um cadinho de ferro”. Marie Curie precisou de quatro anos de trabalho duro para isolar um décimo de grama de cloreto de rádio. Em julho de 1902, ela dispunha de material suficiente para convencer os mais céticos do mundo da ciência de que “o rádio é efetivamente um novo elemento”. (SMITH, 2008, p.83).

Alguns trechos ajudam o estudante a compreender que todo material radioativo produz calor.

“O polônio é mais radioativo que o rádio e o urânio. Um miligrama de polônio-210 emite tantas partículas alfa como cinco gramas de rádio. Uma capsula com meio grama de polônio-210 pode alcançar a temperatura de 500 °C e proporciona uma fonte de calor leve, capaz de alimentar as células termoelétricas de satélites artificiais”. (SMITH, 2008, p.82).

Outros trechos chamam a atenção do estudante para um aspecto fascinante dos elementos radioativos, que é capacidade de produzir energia por longos períodos. O trecho abaixo relata o diálogo entre Pierre Curie e um repórter que o visitou em seu laboratório.

“Seria verdade”, Moffett perguntou – e acrescentou com ênfase dramática – “poderia ser verdade que essa substância estranha produza incessantemente calor e luz e seja uma fonte de energia inextinguível?” Pierre repetiu os detalhes extraordinários do calor inato do rádio e disse: “Uma quantidade determinada de rádio derrete uma massa equivalente de gelo em uma hora” “Para sempre?”, perguntou o jornalista. O cientista

cautelosamente hesitou. “Tanto quanto se sabe – para sempre.”” (SMITH, 2008, p.91).

O objetivo da leitura destes trechos, entre outros não citados aqui, é propiciar ao estudante uma visão histórica dos fatos relacionados à descoberta da radiação e reforçar o entendimento da radiação e seus aspectos. Os relatos dos primeiros usos do raio-X, por exemplo, mostram como as pessoas ficaram maravilhadas com a possibilidade de ver através de objetos sólidos em contraste com os dias atuais em que estamos tão acostumados com o fato que não somos levados a refletir de como algo assim é possível.

Figur a 44– Leitura de trechos do livro “Os Homens do Fim do Mundo”.

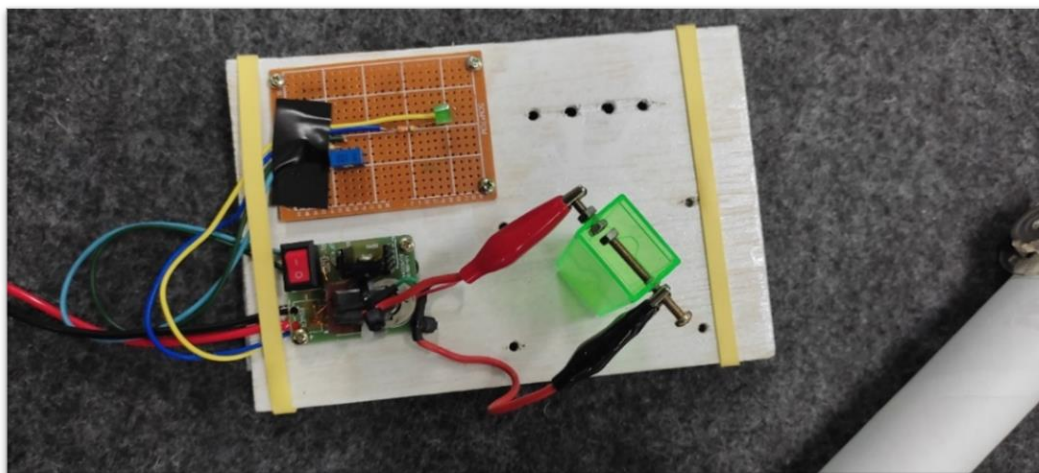


Fonte: Autor

6º Semana da Sequência Didática

A 6ª semana, aula 11, foi dedicada à realização de um experimento que permite observar a ionização do ar por uma fonte de radiação alfa. O experimento consiste em aplicar uma alta tensão entre dois terminais, no limiar para que surja uma centelha entre estes, e quando a radiação passa por entre os terminais o ar é ionizado surgindo então um arco voltaico entre os terminais. A Figura 45 mostra a montagem do experimento com uma fonte de alta tensão (tensão menor que 15 kV).

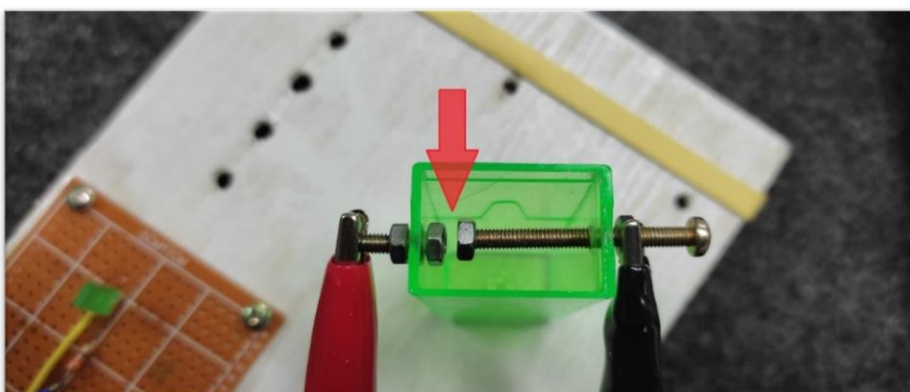
Figura 45– Experimento com alta tensão.



Fonte: Autor

A fonte foi comprada pela internet como kit com todas as peças necessárias e as instruções de montagem. Uma limitação desta fonte é que só pode ficar ligada por alguns segundos pois o transistor sobreaquece, com risco de danos. A Figura 46 mostra em detalhe os terminais por onde ocorre a centelha quando o ar entre estes é ionizado. Os terminais foram feitos de parafusos o que permite ajustar as distâncias entre estes no limiar para que surja uma centelha (arco voltaico).

Figura 46– Terminais com alta tensão.



Fonte: Autor

A fonte de radiação consiste em uma capsula de equipamento para detecção de fumaça contendo Amerício-241 que é uma fonte de radiação alfa capaz de ionizar o ar. A capsula de Amerício-241 foi colocada na extremidade de um canudo de

papelão, Figuras 47 e 48, evitando assim a proximidade com os terminais em alta tensão e evitando sua manipulação direta pelos alunos.

Figura 47– Fonte de radiação presa na extremidade de um canudo de papelão.



Fonte: Autor

Figura 48– Moeda e fonte de radiação utilizados no experimento.



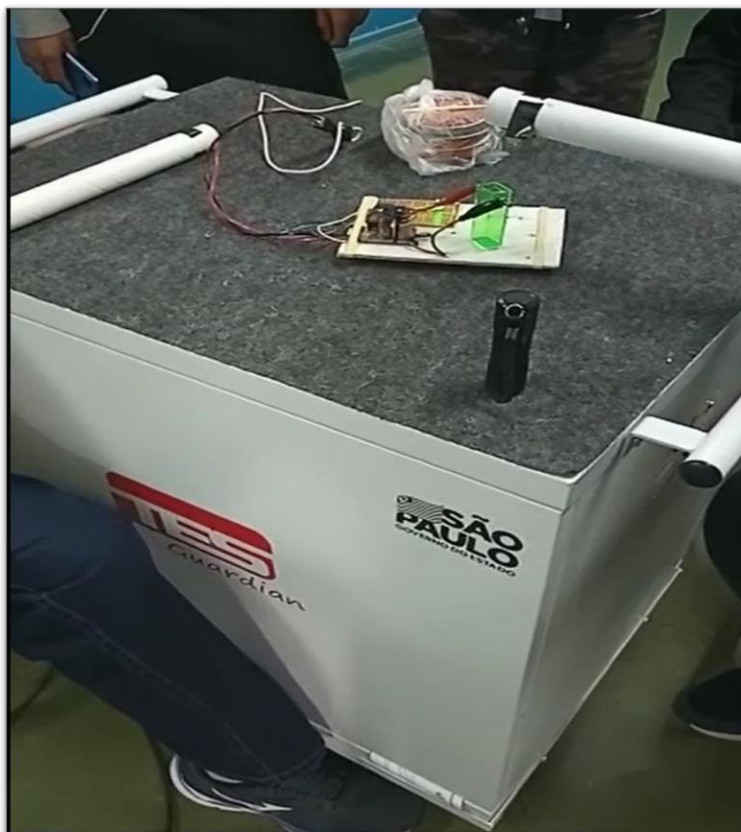
Fonte: Autor

Para evitar dúvidas se o surgimento do arco voltaico se devesse a presença de uma peça de metal que de alguma forma interferisse no campo elétrico entre os terminais e não à radiação ionizante, foi preparado um segundo canudo com uma moeda na sua extremidade, Figura 59.

O experimento foi realizado sempre com a presença do professor e com grupos pequenos de cada vez. O professor explicou que seria utilizada uma fonte de alta

tensão e que os alunos não deveriam tocar ou aproximar as mãos dos terminais. Também apresentou a fonte de radiação e pediu para que assim que a fonte de radiação fosse ligada algum aluno aproximasse o canudo com a moeda dos terminais. Não ocorreu a centelha entre os terminais. Em seguida um aluno aproximou o canudo com a fonte de radiação direcionada para a região entre os terminais, Figura 51.

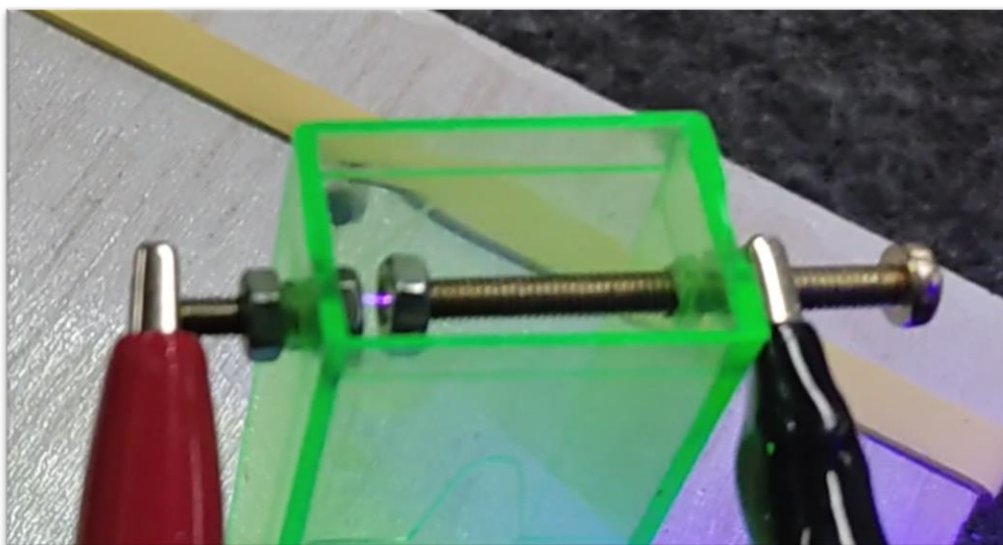
Figura 61– Fonte de radiação próxima aos terminais.



Fonte: Autor

Foi observado que ocorria uma centelha entre os terminais, Figura 52.

Figura 50– Centelha entre os terminais.



Fonte: Autor

Sempre que surgia uma centelha a fonte era desligada logo em seguida pois a centelha não cessava por si só. Por fim o professor pediu que os alunos colocassem entre os terminais e a fonte de radiação uma folha de papel, foi observado que a centelha só surgia quando a folha era retirada. Os alunos se mostraram admirados com o fato, então o professor indagou–os que tipo de radiação estava sendo emanada que poderia ser detida por uma simples fonte de papel, muitos alunos responderam sem hesitar que se tratava de radiação alfa conforma haviam aprendido em alunas anteriores.

Deve–se observar que a fonte de alimentação utiliza um transistor e foi observado que para realizar o experimento era necessário esperar que o transistor esfriasse e alguns alunos quiseram colocar o dedo no transistor (com a fonte desligada) e puderam constatar que realmente a temperatura do transistor estava alta. Durante a realização do experimento um dos alunos chamou a atenção do colega que estava manipulando a fonte de radiação para que “não aponte isso para a gente”.

Foi dada a oportunidade para que todos experimentassem realizar o experimento, porém sempre com o professor em prontidão para desligar a fonte de alimentação caso necessário. Uma das perguntas que surgiu é “o que acontece se eu colocar o dedo (nos terminais com alta tensão)”, foi explicado então que a potência era baixa e provavelmente não teria consequências graves assim como levamos um

choque em dias secos ao encostar em uma pessoa ou abrir a porta de um carro. As tensões são elevadas, porém, a potência é baixa.

Alguns alunos quiseram saber como comprar a capsula com o Amerício-241, o professor aproveitou para comentar sobre o maior rigor sobre materiais radioativos após o atentado de 11 de setembro de 2001, sobre o uso de materiais radioativos em equipamentos como forno de micro-ondas (uma pequena quantidade de óxido de tório é adicionada ao filamento de tungstênio do magnétron) e outros exemplos.

Na 6ª semana, aula 12, foi realizado o experimento *Deteção de Radiação Ionizante por Sensor Digital CMOS*. Novamente os alunos participaram dos experimentos em pequenos grupos de cada vez e sempre com a presença e supervisão do professor. Primeiro o professor explicou que existem várias formas de detecção de radiação e que neste experimento seria utilizado um sensor de imagem CMOS de uma Webcam.

Foi explicado que o sensor de imagem CMOS é composto por vários sensores de luz dispostos em linhas e colunas chamados de pixels (um ponto na tela) e que cada pixel é composto de três sensores de luz, um sensor com filtro que deixa passar a luz vermelha (*red* em inglês) outro com filtro que deixa passar a luz verde (*green* em inglês) e um sensor com filtro que deixa passar a luz azul (*blue* em inglês) formando o sistema conhecido com RGB. Foi mostrado o sensor da Webcam sem a lente e explicado que a lente foi tirada para evitar que a lente eventualmente atuasse como um obstáculo à radiação e esta não alcançasse o sensor CMOS e que a lente é desnecessária pois não iríamos captar luz e sim outro tipo de radiação.

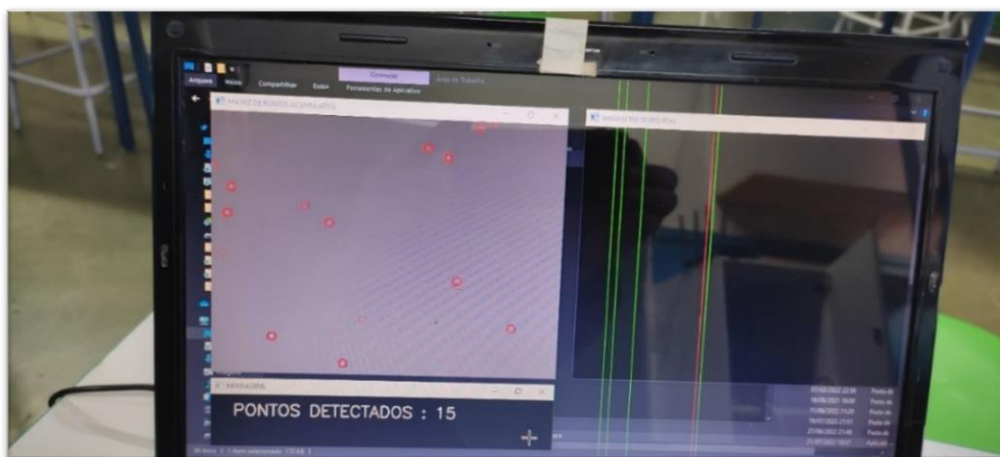
Foi explicado aos alunos todo o funcionamento do experimento:

- Que as imagens captadas em tempo real seriam apresentadas na tela do computador do lado direito e todos os pontos captados seriam registrados de forma fixa do lado esquerdo;
- Como o software inspecionava cada imagem (frame) e detectava um ponto onde a radiação incidiu;
- Que as coordenadas de cada ponto detectado são gravadas em um arquivo que pode ser aberto ao final do experimento;
- Que todas as imagens em que são detectadas algum ponto onde a radiação incidiu são arquivadas e podem ser visualizadas ao final do programa;

- Todas as imagens sem pontos de radiação detectadas são descartadas;
- Que a fonte de radiação é composta de uma capsula contendo Amerício-241;
- Que seria necessário colocar o sensor dentro de um recipiente vedado para não entrar luz;

Na primeira parte do experimento a capsula com o Amerício-241 foi fixada ao sensor CMOS utilizando uma fita adesiva e depois colocados dentro de uma lata vedada, com uma pequena saída que permitia passar o cabo USB para ser conectado ao computador. Após a montagem foi executado o software e a radiação captada foi registrada na tela conforme previsto, Figura 51.

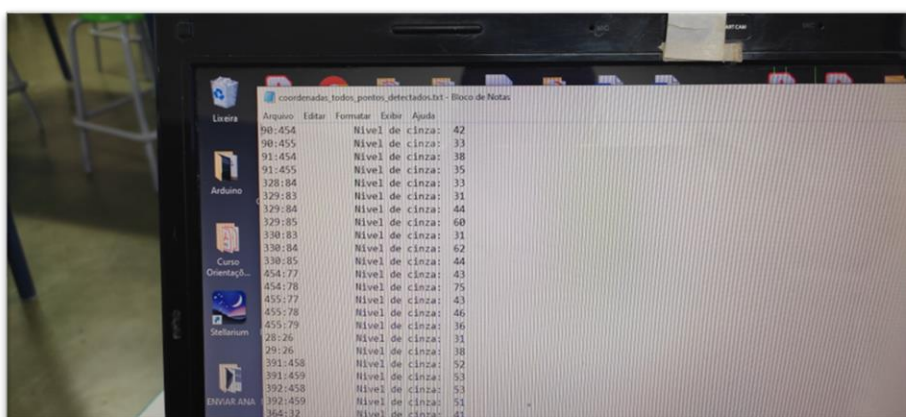
Figura 51– Pontos detectados.



Fonte: Autor

Em seguida o professor abriu o diretório onde estava o arquivo com o registro de todas as coordenadas de cada ponto detectado, Figura 52.

Figura 52– Coordenadas de todos os pontos detectados.



Coordenada	Nível de cinza
90:454	Nível de cinza: 42
90:455	Nível de cinza: 33
91:454	Nível de cinza: 38
91:455	Nível de cinza: 35
328:84	Nível de cinza: 33
329:83	Nível de cinza: 31
329:84	Nível de cinza: 44
329:85	Nível de cinza: 60
330:83	Nível de cinza: 31
330:84	Nível de cinza: 62
330:85	Nível de cinza: 44
454:77	Nível de cinza: 43
454:78	Nível de cinza: 75
455:77	Nível de cinza: 43
455:78	Nível de cinza: 46
455:79	Nível de cinza: 36
29:26	Nível de cinza: 31
29:26	Nível de cinza: 38
391:458	Nível de cinza: 52
391:459	Nível de cinza: 53
392:458	Nível de cinza: 53
392:459	Nível de cinza: 55
364:32	Nível de cinza: 43

Fonte: Autor

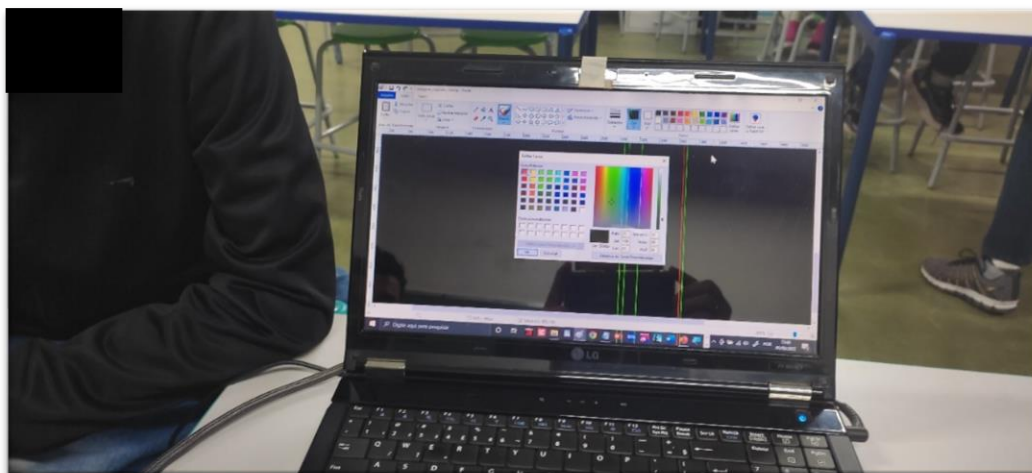
Os alunos anotaram as coordenadas do primeiro ponto e em seguida o professor abriu a imagem correspondente a este ponto com o programa PAINT de edição de imagens do Windows. Alunos puderam verificar que na coordenada do primeiro ponto detectado realmente havia um ponto colorido, com o restante da imagem totalmente escura. Com o recurso *Seletor de Cor* do PAINT foi mostrado os valores dos registros RGB onde o ponto foi detectado e comparado com os valores de registro RGB de um ponto onde nada foi detectado. Figuras 53 e 54.

Figura 53– Alunos analisando imagens captadas.



Fonte: Autor

Figura 54– Alunos analisando imagens captadas.



Fonte: Autor

Alunos sinalizaram terem compreendido bem. Foi explicado aos alunos que a cor do ponto não tem significado real pois a radiação incidente ao atingi com diferentes intensidades cada sensor RGB do sensor e que a cada diferente combinação de valores diferentes cores serão formadas. Foi comentado que o ideal seria não ter os filtros de cores RGB. Alunos sinalizaram terem compreendido bem.

Na segundo parte do experimento foi colocado uma folha de papel entre o sensor CMOS e a capsula de Amerício-241. Repetido o experimento os alunos puderam constatar que os pontos continuavam sendo detectados. Indagados sobre o que tipo de radiação que estaria sendo detectadas neste caso alguns alunos responderam corretamente que “não é radiação alfa” e outros “pode ser beta ou gama”.

Na terceira parte do experimento o professor perguntou qual teste poderíamos fazer para descobrir que tipo de radiação está sendo detectada, um aluno respondeu que se colocasse uma folha de alumínio (nos exemplos de livros e internet é comum comparar o poder de penetração de cada tipo de radiação utilizando folha de papel, alumínio, chumbo ou concreto). Professor tinha consigo uma folha de papel alumínio que foi dobrada duas vezes formando quatro camadas. Em seguida colocado as folhas de alumínio entre o sensor CMOS e a capsula de Amerício-241. Uma vez montado o experimento foi constatado que a radiação continuava sendo detectada. Indagando os alunos que tipo de radiação estaria sendo detectada alguns responderam se tratar de radiação gama, outros não responderam.

Esclarecimentos sobre o software utilizado na webcam se encontra no link https://github.com/HenriqueCesarFonseca/gamma_detector#readme.

[Esperamos ter contribuído para ensino da física e os autores ficam a disposição para esclarecimentos.](#)

REFERÊNCIAS

ABDALLA, Maria Cristina Batoni. **O discreto charme das partículas elementares**. São Paulo: Editora UNESP, 2006.

ALVES FILHO, J.P. **Atividades experimentais: do método à prática construtivista**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Educação - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências da Educação, 2000.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Educational psychology: a cognitive view**. Second Edition. New York. USA: Ed. Holt, Rinehart and Winston, 1978.

BACICH, Lilian; MORAN, José. **Metodologias Ativas para uma Educação Inovadora: Uma Abordagem Teórico-Prática**. Edição do Kindle. Porto Alegre: Penso, 2018.

BATISTA, M.C; FUSINATO, P.A. **Reflexões sobre a Importância da Experimentação no Ensino de Física**. Acta Scientiarum. Language and Culture (Impresso), (Cessou em 2007. Cont. ISSN 1983-4675), v. 31, p. 43-49, 2009.

BAUER, Wolfgang; WESTFALL, Gary D.; DIAS, Helio. **Física para Universitários**. Porto Alegre: AMGH, 2013. Disponível em: <<https://minhabiblioteca.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

BOYLESTAD, Robert L.; NASHELSKY, Louis; **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos**. 8ª edição. São Paulo: Prentice Hall, 2004. Disponível em: <<https://plataforma.bvirtual.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

DEYLLLOT, Mônica Elizabete Caldeira. **Física das Radiações: Fundamentos e Construção de Imagens**. 1ª edição. São Paulo: Érica, 2015. Disponível em: <<https://minhabiblioteca.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. LHC – **O Maior Acelerador de Partículas do Mundo**. UOL – Mundo da Educação. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/lhc-maior-acelerador-particulas-mundo.htm>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

GERHARDT, T.E.; SILVEIRA, D.T. **Métodos de pesquisa**. Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS, Porto Alegre: Editora da UFRGS, 120 p., 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GODOY A.S. **Pesquisa qualitativa tipos fundamentais**. Revista de Administração de Empresas São Paulo, v. 35, n.3, p. 20-29 maio/jun. 1995

COGLIATI, Joshua J; DERR, Kurt W.; WHARTON, Jayson. **Using CMOS Sensors in a Cellphone for Gamma Detection and Classification**. Cornell

University – arcXiv. 7 de jan. 2014. Disponível em: <<https://arxiv.org/pdf/1401.0766.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

GONZALEZ, Rafael C.; WOODS, Richard E.. **Processamento digital de imagens**. 3ª edição. São Paulo: Pearson, 2010. Disponível em: <<https://plataforma.bvirtual.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

GUIMARÃES, L. R. **Série professor em ação: atividades para aulas de ciências: ensino fundamental, 6º ao 9º ano**. 1.ed. – São Paulo: Nova Espiral, (2009).

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física - Vol. 4 - Óptica e Física Moderna**. 10ª edição. Rio de Janeiro: LTD – Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2016. Disponível em: <<https://minhabiblioteca.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

HOUSECROFT, Catherine E.; SHARPE, Alan G. **Química Inorgânica - Vol. 2**. 4ª edição. Rio de Janeiro: LTD – Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2013. Disponível em: <<https://minhabiblioteca.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

LATTES, César. **Descobrimos a Estrutura do Universo**. São Paulo: Editora UNESP, 2001.

Khan Academy. **Espectro eletromagnético**. Disponível em: <<https://pt.khanacademy.org/science/9-ano/materia-e-energia-as-ondas>>. Acesso em: março 2021.

KURODA, Takao. **Essential Principles of Image Sensors**. Boca Raton: CRC Press, 2015. Disponível em: <<http://materias.df.uba.ar/l5a2021c1/files/2021/05/Takao-Kuroda-Essential-Principles-of-Image-Sensors-CRC-Press-2015-1.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

LAGANÁ, C.. **Estudo de raios cósmicos utilizando uma câmara de nuvens de baixo custo**. Dissertação – São Paulo: Instituto de Física Teórica, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, p 5. 2011.

MAMEDE, Marcelo. **Tecnologia Radiológica**. 1ª edição. Rio de Janeiro: MedBook Editora, 2019. Disponível em: <<https://minhabiblioteca.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

MARTINAZZO. C.A.; TRENTIN, D.S.; FERRARI, D.; **PERSPECTIVA**, Erechim. v. 38, n.143, p. 21-30, 2014

MARQUES, Ângelo Eduardo, CHOUERI JÚNIOR, Salomão; CRUZ, Eduardo Cesar Alves. **Dispositivos Semicondutores: Diodos e Transistores**. 13ª edição. São Paulo: Érica, 2012. Disponível em: <<https://minhabiblioteca.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

MARUMO, Júlio Takehiro. **Avaliação da contaminação provocada por pará-raios radioativos de Amerício-241 descartados em lixões**. 2006. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear - Materiais) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares,

Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. doi:10.11606/T.85.2006.tde-29052007-151318. Acesso em: 27 nov. 2022.

MASINI, E. F. S.; MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa: a teoria de aprendizagem de David Ausubel**. São Paulo: Centauro Editora. 2ª edição, 2006.

MESQUITA, Marcelo David Silva de. **Matéria e Radiação: Uma Abordagem Contextualizada ao Ensino de Física**. Dissertação - Simplíssimo Livros. Edição do Kindle, p. 112. 2011.

MOREIRA, Marco Antonio. **Aprendizagem significativa crítica**. Porto Alegre, 2000.

MOREIRA, Marco Antonio. **A Teoria da Aprendizagem significativa e sua implementação em Sala de Aula**. Brasília: /editora da Universidade de Brasília, 2006.

NOVAK, D. Joseph. **Aprender a Aprender**. Plátano-Edições Técnicas. Lisboa, 1996.

OKUNO, Emico. **Radiação: efeitos, riscos e benefícios**. São Paulo: Oficina de Textos, 2018. Disponível em: <<https://plataforma.bvirtual.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

QUALIBEST. Disponível em: <<https://www.institutoqualibest.com/blog/dicas/entenda-o-que-e-pesquisa-qualitativa-e-quantitativa/>> (Primeiro instituto de pesquisas online do Brasil). Acesso em: novembro de 2020.

ROCCA, Fátima Fernandes Della; MARTINS, Fernando Ramos; JARDIM, Vladimir. **Física, biossegurança e proteção radiológica**. Santo André: Difusão Editora, 2022. Disponível em: <<https://plataforma.bvirtual.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2022

ROCHA (Org.) José Fernando; PONCZEK, Roberto I. Leon; PINHO, Suani T. Rubin de; ANDRADE, Roberto F. Silva; JÚNIOR, Olival Freire; FILHO, Aurino Ribeiro – **Origens e evolução das ideias da física**. Salvador: EDUFABA, 2011. E-book Kindle.

SERÉ, M.G., COELHO, S.M., NUNES, A.D. **O papel da experimentação no ensino da física**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.20, n.1: 30-42, 2003.

SERWAY, Raymond, A. e John W. JEWETT JUNIOR. **Princípios de Física - Volume 4 - Óptica e Física Moderna** – Tradução da 3ª edição norte-americana. São Paulo: Pioneira Thomsom Learning, 2004.

SERWAY, Raymond, A. e John W. JEWETT JUNIOR. **Física para cientistas e engenheiros - Volume 4 - Luz, óptica e física moderna** – Tradução da 9ª edição, 2ª edição. São Paulo: Cengage Learning Brasil, 2018. Disponível em: <<https://minhabiblioteca.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

SHOULONG, X e col. **Gamma Ray Detection Using Commercial Off-the-Shelf CMOS and CCD Image Sensors**. IEEE Sensors Journal, vol. 17, no. 20, pp. 6599-6604 15 out. 2017. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

SMITH, P. D.. **Os Homens do fim do mundo: o verdadeiro dr. Fantástico e o sonho da arma total**. São Paulo: Companhia das Letras, 2008.

SOUZA, R.A. **Teoria da Aprendizagem Significativa e experimentação em sala de aula: integração teoria e prática**. Dissertação de mestrado, Salvador - Ba 2011.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de. **Sensores industriais**. 9ª edição. São Paulo: Érica, 2020. Disponível em: <<https://minhabiblioteca.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

TIPLER, Paul, A.; LLEWELLYN, Ralph A. **Física Moderna**. 6ª edição. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Ltda, 2014. Disponível em: <<https://minhabiblioteca.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

TOMA, Henrique E. *Estrutura atômica, ligações e estereoquímica*. 2ª edição. São Paulo: Editora Blucher, 2013. Disponível em: <<https://minhabiblioteca.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

VAHID, Frank. **Sistemas digitais: projeto, otimização e HDLs**. Porto Alegre: ARTMED, 2008. Disponível em: <<https://minhabiblioteca.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

APENDICE A**FONTE RADIOATIVA DE AMERÍCIO-241**

FONTE RADIOATIVA DE AMERÍCIO-241

A fonte de radiação gama utilizada no experimento de detecção radiação gama com sensor de imagem CMOS, é uma fonte radioativa de amerício-241 utilizada em detectores de fumaça, mostrada na Figura 1. **Esta fonte não oferece nenhum perigo aos alunos**

Figura 1 – Fonte radioativa de amerício-241



Fonte: Autor

A capsula mostrada na Figura 1 pode ser vista desmontada na Figura 2.

Figura 2 – Capsula desmontada.

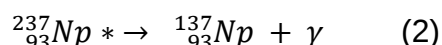
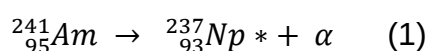


Fonte: Autor

Tipler e Llewellyn explicam o princípio por traz de um detector de fumaça,

Em um tipo de detector de fumaça, partículas α emitidas por uma pequena quantidade de ^{241}Am ionizam o ar, permitindo a passagem de uma corrente elétrica entre dois eletrodos. Em caso de incêndio, a fumaça neutraliza parte dos íons e a redução da corrente elétrica faz soar um alarme. Este detector é mais sensível que os modelos que usam sensores fotelétricos. (TIPLER e LLEWELLYN, 2014, p.322).

O amerício foi descoberto em 1944, seu nome é dedicado à América. O isótopo amerício-241 é radioativo e possui uma meia-vida de 432 anos, sofre decaimento alfa transmutando em neptúnio-237 no estado excitado. O neptúnio-237 passa do estado excitado para o estado de energia fundamental com a emissão gama de baixa energia. O neptúnio-237 tem uma meia vida de 2,14 milhões de anos – descoberto em 1940 o nome netúnio foi inspirado no planeta Netuno. As Equações (1) e (2) descrevem o decaimento do amerício-241 (MARUMO,2006; TOMA, 2013; TIPLER e LLEWELLYN, 2014).

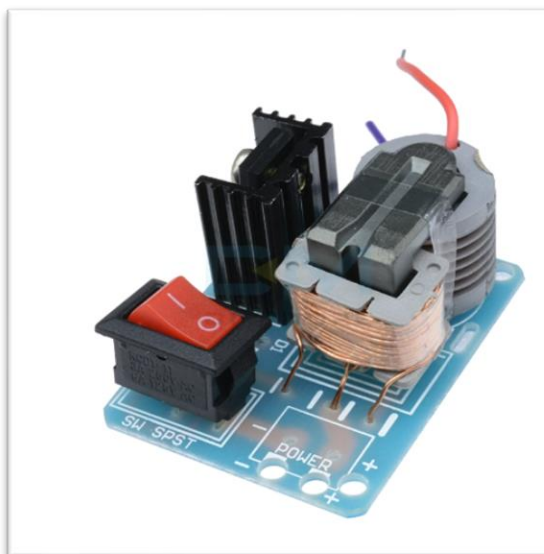


Portanto, a amostra de amerício-241 emite radiação alfa e gama ao mesmo tempo. A atividade da amostra que consta na capsula é de 0,8 μCi o que equivale a 29,6 kBq.

Figura 3 – Capsula

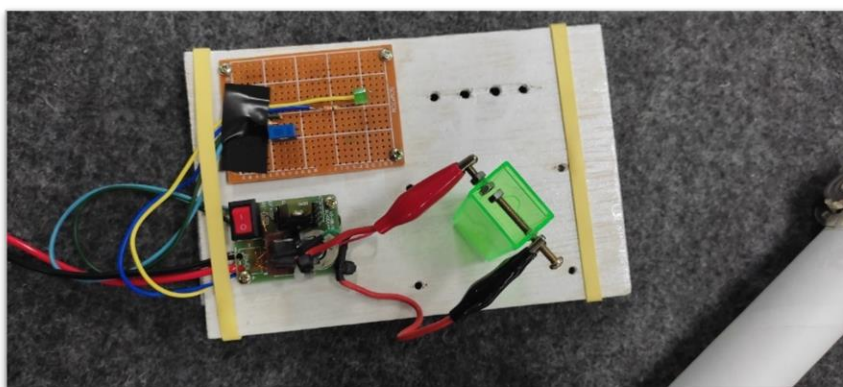


Fonte: Autor

Figura 2 – Kit Gerador de Alta Tensão

Fonte: <https://pt.aliexpress.com/>

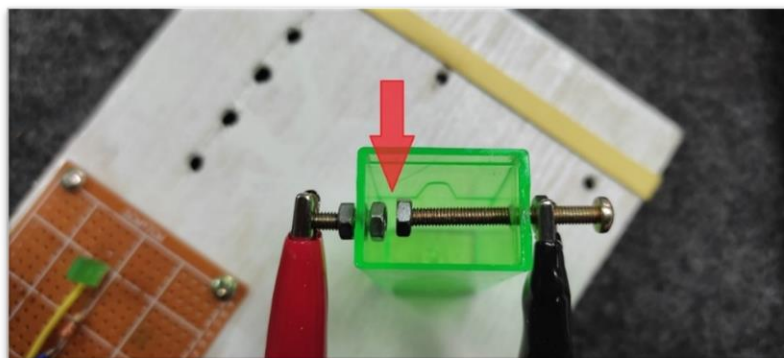
Após a montagem do kit foi observado que o transistor sobreaquecia, foi instalado então um resistor e um trimpot (um potenciômetro em miniatura) em série com um resistor numa tentativa de reduzir a corrente no transistor e diminuir o sobreaquecimento. Também foi instalado um LED para sinalizar quando a fonte de alimentação de 5V estaria ligada e evitar tocar nos terminais com a fonte ligada. Consultando outros fornecedores do kit foi descoberto que não era recomendável deixar o arco voltaico por mais de 5 segundos. Também foi observado que uma vez ocorrendo o arco voltaico este só cessava se a fonte de 5V fosse desligada.

Figura 3 – Montagem final do Kit Gerador de Alta Tensão

Fonte: Autor

A Figura 3 mostra a montagem final sobre uma base de madeira. Para permitir um controle da distância entre os terminais foi utilizado a carcaça de um apontador de lápis onde dois parafusos foram fixados de cada lado conforme mostrado na Figura 4.

Figura 4 – Parafusos permitem ajustar a distância entre estes



Fonte: Autor

A capsula com o amerício-241 foi presa a um bastão de papelão conforme mostrado na Figura 5 para evitar a sua manipulação direta e evitar proximidade com os terminais de alta tensão. Para evitar dúvidas se o surgimento do arco voltaico se devesse a presença de uma peça de metal que de alguma forma interferisse no campo elétrico entre os terminais e não à radiação ionizante, foi preparado um segundo canudo com uma moeda na sua extremidade também mostrado na Figura 5.

Figura 5 – Bastões com fonte ^{241}Am e moeda



Fonte: Autor

Ao colocar a fonte de radiação próxima dos terminais surgia um arco voltaico, conforme mostrado na Figura 6.

Figura 6 – Centelha entre os terminais



Fonte: Autor

A Figura – 7 mostra a fonte de alimentação de 5V utilizada para alimentar o gerador de alta tensão.

Figura 7 – Fonte de alimentação 5V DC utilizada para alimentar o gerador de alta tensão



Fonte: Autor

APÊNDICE C

AREIA MONAZÍTICA DE GUARAPARI (ES)

A areia monazítica utilizada no experimento (150g) foi obtida em um site de compras online. **Os alunos não tiveram contato direto com esta fonte pois a areia se encontrava em um recipiente de vidro.** Sobre a areia monazítica Okuno (2018) escreve,

Ainda hoje, muitas pessoas se enterram nas areias monazíticas de Guarapari (ES), ricas em tório, para o tratamento das mais variadas doenças, tais como reumatismo e artrite. Na internet, há propagandas sobre as areias monazíticas informando serem areias escuras e ricas em monazita, com poder medicinal e alto teor de radioatividade. Alguns anos atrás, certos rótulos de água mineral ostentavam como propaganda seu nível de radioatividade. Hoje, não mais (OKUNO, 2018, p.25).

O Quadro 7 mostra uma tabela com áreas com alta dose de radiação de fundo.

Quadro 7– Áreas com alta dose de radiação de fundo (background).

País	Área	Característica da área	Taxa de dose absorvida no ar (nGy/h)
Brasil	Guarapari	Areia monazítica e áreas costeiras	90 a 170 (ruas) 90 a 90.000 (praias)
	Minas Gerais (Poços de Caldas, Araxá) e Goiás	Rochas intrusivas vulcânicas	110 a 1.300
China	Yangjiang e Quangdong	Partículas monazíticas	Média 370
Egito	Delta do Nilo	Areia monazítica	20 a 400
França	Região Central	Areia granítica, área de xisto, área de arenito Minerais de urânio	20 a 400
	Sudoeste		10 a 400
Índia	Kerala, Madras Delta do Ganges	Areia monazítica e áreas costeiras	200 a 4.000 260 a 440
Irã	Ramsar Mahallat	Águas de nascentes	70 a 17.000 800 a 4.000
Itália	Lazio	Solo vulcânico	180
	Campânia		200
	Orvieto (cidade)		560
	Sul da Toscana		150 a 200
Suíça	Tessin, Alpes, Jura	Gnaiss e ^{226}Ra em solos cáusticos	100 a 200

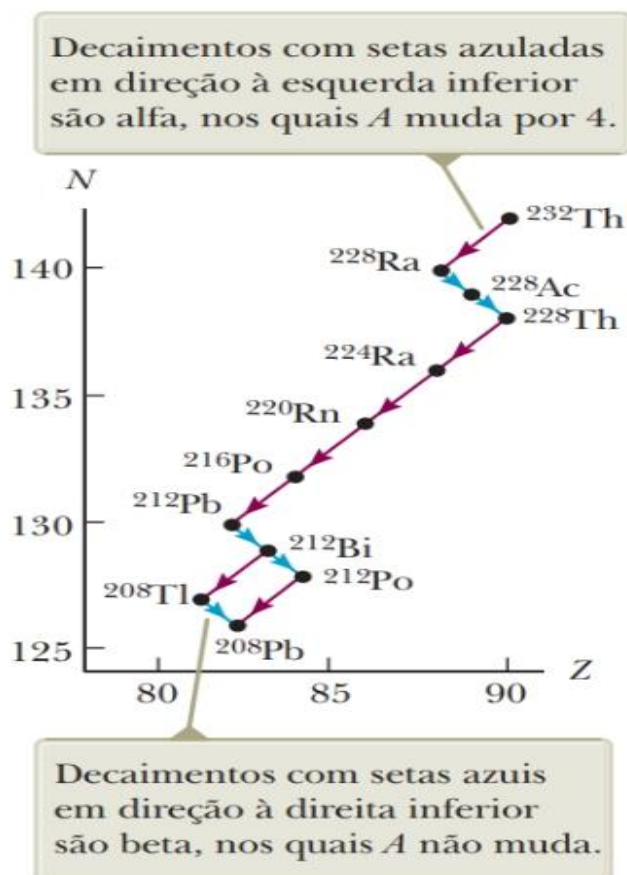
Fonte: MAMEDE (2019, p. 352)

Segundo Mamede (2019),

No Brasil, as cidades de Guarapari (ES), Meaípe (ES) e Poços de Caldas (MG) apresentam alta radiação de fundo devido à presença de depósitos minerais que contêm tório e urânio. Esses minerais são também comumente encontrados em residências, pois estão presentes na composição de tijolos, concretos, granitos etc. (MAMEDE, 2019, p. 7).

O símbolo do tório é Th, teve seu nome inspirado no deus escandinavo da guerra *Thor* e seu isótopo natural mais abundante é o tório-232 (^{232}Th) com meia vida de $1,41 \times 10^{10}$ anos. A série de decaimentos que inicia com o tório-232 é denominada série do tório, mostrada na Figura 2, onde primeiro o ^{232}Th sofre decaimento alfa transmutando para o ^{228}Ra . O tório é extraído da monazita (uma mistura de fosfatos metálicos) na forma de ThO_2 . O urânio-238 corresponde à 99,247% da abundância isotópica natural (TOMA, 2013; HOUSECROFT e SHARP, 2013; SERWAY e JEWETT, 2018).

FIGURA 2 – Decaimentos sucessivos para a série do ^{232}Th



Fonte: SERWAY e JEWETT (2018, p. 333)