



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Programa de Pós-Graduação em Ensino De Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física

A FÍSICA DAS RADIAÇÕES EM SALA DE AULA: DO PROJETO À PRÁTICA.

Alexandre Marcelo Pereira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadores:

Prof. Dr. Antônio Carlos Fontes dos Santos

Prof. Dr. Hélio Salim Amorim

Rio de Janeiro

Fevereiro de 2014

A FÍSICA DAS RADIAÇÕES EM SALA DE AULA: DO PROJETO À PRÁTICA.

Alexandre Marcelo Pereira

Orientadores:

Prof. Dr. Antônio Carlos Fontes dos Santos

Prof. Dr. Hélio Salim Amorim

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Prof. Dr. Antônio Carlos Fontes dos Santos (Presidente)
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ

Prof. Dr. Fernando de Souza Barros
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ

Prof. Dr. Odair Dias Gonçalves
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ

Rio de Janeiro

Fevereiro de 2014

FICHA CATALOGRÁFICA

P436f Pereira, Alexandre Marcelo

A Física das Radiações em Sala de Aula: Do Projeto à Prática /
Alexandre Marcelo Pereira - Rio de Janeiro: UFRJ / IF, 2014.

xiii, 81 f. : il. ; 30cm.

Orientadores: Dr. Antônio Carlos Fontes dos Santos

Dr. Hélio Salim Amorim

Dissertação (mestrado) – UFRJ / Instituto de Física / Programa
de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2014.

Referências Bibliográficas: f. 79–81.

1. Ensino de Física. 2. Formação de professores. 3. Radiação.
4. Medidor Geiger. 5. Arduino. I. Santos, Antônio Carlos Fontes dos.
II. Amorim, Hélio Salim. III. Universidade Federal do Rio de Janeiro,
Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de
Física. IV. A Física das Radiações em Sala de Aula: Do Projeto à
Prática.

*Dedico este trabalho à
meus saudosos tios José e Albertina.*

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Hortência que sempre lutou para me proporcionar o melhor estudo.

À meus tios José e Albertina que me criaram como filho e sempre me dedicaram muito amor e carinho.

À minha mulher e companheira Cacá que entendeu meu mau humor e estresse com muita paciência, amor e compreensão.

Ao amigo Daniel Felipe Neves Martins pelo incentivo dado para voltar à Academia.

Ao amigo Thiago Monteiro Mendes pelas discussões e valiosas contribuições.

Aos professores Antônio Carlos Fontes dos Santos e Hélio Salim Amorim pela excelente orientação.

Aos professores Fernando de Souza Barros e Odair Dias Gonçalves por aceitarem fazer parte da banca.

À saudosa professora Suzana de Souza Barros por suas conversas incentivadoras.

Aos demais professores e pares do curso pelo divertido, saudável e construtivo ambiente convívio, discussões e formação complementar.

RESUMO

A FÍSICA DAS RADIAÇÕES EM SALA DE AULA: DO PROJETO À PRÁTICA.

Alexandre Marcelo Pereira

Orientadores:

Prof. Dr. Antônio Carlos Fontes dos Santos

Prof. Dr. Hélio Salim Amorim

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Interagimos com a radiação proveniente de várias fontes, tanto naturais quanto artificiais, e de fato a vida na Terra depende dela, sendo um aspecto fundamental do nosso cotidiano. Vários estudos têm mostrado que, embora a maioria dos alunos já tenha ouvido falar sobre radiação, um número significativo desconhece o assunto, bem como a diferença entre as radiações ionizantes e não ionizantes. Um sério esforço deve ser feito nos currículos de Física do ensino médio de modo a abordar o tema, caso contrário um aspecto importante da nossa vida moderna continuará a ser um mistério para os alunos. A fim de contribuir neste sentido, várias atividades educacionais de medições de radiação foram realizadas utilizando um conjunto experimental de baixo custo que permitiu a monitoração em longo prazo do fluxo de raios cósmicos secundários e a medição da radiação de fundo. Utilizamos um tubo Geiger e um GPS acoplados à plataforma Arduino e registramos o número de contagens em um cartão de memória em determinado instante associando a posição global em que a partícula foi detectada. A partir destes dados, encontramos o valor médio e o desvio padrão. Procedimentos muito simples para o estudo de propriedades estatísticas de contagem de partículas são apresentados, incluindo: a absorção de raios gama a partir de uma amostra de areia monazítica utilizando absorvedores, onde o número de fótons que atravessa o material é medido em função de sua natureza, espessura e distância à fonte, taxas de contagens de raios cósmicos secundários em diferentes pisos de um edifício, efeito barométrico dos raios cósmicos secundários em diferentes altitudes no caminho entre Rio de Janeiro e Teresópolis e mapeamento da radiação de fundo nas vizinhanças do bairro da Urca. Os experimentos realizados neste trabalho – dentro da sala de aula e ao ar livre – podem constituir atividades educativas realizadas com equipes de estudantes do ensino médio, caracterizando desta forma uma boa experiência pedagógica.

Palavras chave: Ensino de Física, Formação de professores, Radiação, Medidor Geiger, Arduino.

ABSTRACT

PHYSICS OF RADIATION IN THE CLASSROOM: FROM PROJECT TO PRACTICE.

Alexandre Marcelo Pereira

Advisors:

Prof. Dr. Antônio Carlos Fontes dos Santos

Prof. Dr. Hélio Salim Amorim

Abstract of Master's Dissertation submitted to the Graduate Program in Teaching Physics, Institute of Physics, Federal University of Rio de Janeiro (Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ), as part of the requirements needed to obtain the title of Master in Physics Teaching.

People interact with radiation from various sources, both natural and artificial, and undeniably life on Earth depends on it as a fundamental aspect of our daily lives. Several studies have shown that although most students have heard about radiation, a significant number do not know the subject as well as the difference between ionizing and non-ionizing radiation. A serious effort should be made in the high school Physics *curriculum* in order to address the issue, otherwise an important aspect of our modern life will remain being a mystery to students. In a way to contribute to this issue numerous educational activities for radiation measurements were performed using a low-cost experimental package that allowed long-term monitoring of the flow of secondary cosmic rays and measuring the background radiation. We use a Geiger tube and a GPS coupled to *Arduino* platform and record the number of counts in a memory card at some point linking the global position where the particle was detected. From these data, the mean value and standard deviation were found. Simple procedures for the study of statistical properties of particle counting are presented, including: the absorption of gamma rays from a sample of monazite sand using absorbers, where the number of photons that passes through the material is measured in terms of its nature, thickness and distance from the source, counting rates of secondary cosmic rays on different floors of a building, barometric effect of secondary cosmic rays at different altitudes in the path between Rio de Janeiro and Teresópolis and mapping of the background radiation in the neighborhood of Urca. The experiments performed in this paper – inside the classroom and outdoors – can constitute educational activities with high school students' teams, characterizing this way a good learning experience.

Keywords: Physical Education, Teacher Training, Radiation, Geiger Counter, Arduino.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	ix
LISTA DE TABELAS	X
LISTA DE GRÁFICOS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xii
LISTA DE SÍMBOLOS	xiii
CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2. FONTES DE RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA IONIZANTE	3
CAPÍTULO 3. A RADIAÇÃO NO COTIDIANO	10
CAPÍTULO 4. O QUE DIZ A DOCUMENTAÇÃO OFICIAL	21
CAPÍTULO 5. O CONTADOR GEIGER-MÜLLER	27
CAPÍTULO 6. FÍSICA DAS RADIAÇÕES NA SALA DE AULA	32
6.1. Projetos básicos:	
Prática 1	36
Prática 2	39
Prática 3	41
Prática 4	43
Prática 5	46
6.2. Projetos avançados:	
Prática 6	48
Prática 7	52
CAPÍTULO 7. CONCLUSÕES	55
APÊNDICE A – ONDE ENCONTAR	58
APÊNDICE B – HISTOGRAMAS E FIGURAS EXTRAS	59
APÊNDICE C – CURIOSIDADE: RADIAÇÃO MATINAL	71
APÊNDICE D – FOTOS DO PROJETO	74
APÊNDICE E – ORIENTAÇÕES PARA O PROFESSOR	76
FONTE DAS FIGURAS	78
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Espectro Eletromagnético	5
Figura 2	Poder de penetração das partículas α , β e γ	7
Figura 3	Partículas desviadas na presença de um campo elétrico	8
Figura 4	Aparelho de Raio-X	9
Figura 5	Raio X de coluna	9
Figura 6	Técnicos da CNEN e militares da escola do exército trabalham na área contaminada	10
Figura 7	Usina Nuclear de Chernobyl após o acidente com o reator 4	11
Figura 8	Foto do carro que transportava o material radioativo	12
Figura 9	Alimentos com selo verde de radiação	13
Figura 10	Ação da Magnetosfera	18
Figura 11	Como um raio cósmico se desfaz	18
Figura 12	Cinturão de Van Allen e a Magnetosfera	19
Figura 13	Esquema simplificado de um contador Geiger	27
Figura 14	Projeto Libelium	29
Figura 15	Prevenção e controle de rede de sensores de radiação	30
Figura 16	Componentes do projeto: Arduino UNO, Kit Geiger, MicroSD, GPS e Bateria	31
Figura 17	Mapa da Urca, Rio de Janeiro/RJ	52
Figura 18	Montagem areia monazítica	74
Figura 19	Montagem folha de chumbo	74
Figura 20	Montagem leitura 24h	75
Figura 21	Montagem final	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Taxa da dose de radiação cósmica em diferentes localizações da atmosfera	14
Tabela 2	Doses calculadas de radiação cósmica em voos no Brasil	15
Tabela 3	Níveis, limites e referências de dose de radiação	17
Tabela 4	Partículas elementares descobertas nos raios cósmicos	20
Tabela 5	Unidades e Subunidades Temáticas alvos desta pesquisa	26
Tabela 6	Representação esquemática do projeto	34

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Histograma de medidas da radiação ambiente	38
Gráfico 2	Histograma de medidas da radiação da areia monazítica	40
Gráfico 3	Relação entre a leitura da radiação e a distância à fonte	42
Gráfico 4	Histograma de medidas da radiação da areia monazítica com absorvedores	44
Gráfico 5	Relação entre a leitura de radiação e o número de folhas de alumínio	47
Gráfico 6	Radiação em função do andar	49
Gráfico 7	Subida da serra de Teresópolis	51
Gráfico 8	Mapa radioativo da Urca e Trajetória percorrida, Rio de Janeiro/RJ	53
Gráfico 9	Descida da serra de Teresópolis	71
Gráfico 10	Medidor em repouso: período de 24h	72
Gráfico 11	Descida da serra de Teresópolis (2ª medição)	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear

FAA – Federal Aviation Administration

GPS – Global Positioning System

IAEA – International Atomic Energy Agency

ICRP – International Commission on Radiological Protection

INCA – Instituto Nacional de Câncer

LDB – Lei de Diretrizes e Bases

NASA – National Aeronautics and Space Administration

OMS – Organização Mundial da Saúde

PCN – Parâmetros Curriculares Nacionais

PCN+ – Orientações Educacionais Complementares aos PCN

UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation

LISTA DE SÍMBOLOS

Ci – Curie

cpm – contagens por minuto

eV – elétron-Volt

mSv – miliSievert

μ Sv – microSievert

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

Radiação é um tema que sugere diferentes abordagens. Embora banhados por todos os tipos de radiação eletromagnética, enxergamos apenas a parte visível do espectro. Popularmente associada a catástrofes, está presente em nosso cotidiano de várias formas diferentes, sendo classificadas de acordo com a sua frequência em não ionizante ou ionizante.

Nosso trabalho está restrito ao estudo da **radiação eletromagnética ionizante**. Presente em diversos setores da sociedade, em intensidades adequadas é usada no tratamento e cura de doenças, mas dependendo da dosagem recebida pode causar danos ao nosso organismo ou até mesmo matar. Por ser inodora e insípida, não é detectada por nossos sentidos.

Mas será que os estudantes têm informação suficiente para um julgamento devido? Tendo em vista a superficialidade com a qual o assunto é tratado nos meios de comunicação, as dúvidas apresentadas por eles e o objetivo da educação como ferramenta de emancipação e autonomia, acreditamos que este trabalho possui grande relevância e potencial de contribuição para a relação ensino-aprendizagem, assim como para o desenvolvimento científico nacional, colaborando para o esclarecimento do tema. Para isso, desenvolvemos um conjunto simples de experimentos através do uso de um medidor Geiger montado na plataforma Arduino, contribuindo desta forma com novas metodologias didáticas.

Inicialmente apresentaremos as principais fontes de radiação eletromagnética ionizante às quais estamos expostos, suas origens, seus usos, benefícios e potenciais riscos à saúde humana. Em seguida, destacaremos os últimos

acontecimentos de grande impacto midiático no Brasil relacionados ao assunto, assim como as formas cotidianas das radiações ionizantes que, por muitas vezes, passam despercebidas – possivelmente por desconhecimento sobre o assunto – no dia a dia da população.

Por se tratar de um trabalho voltado para uma possível contribuição ao processo de ensino-aprendizagem, será realizada uma breve apresentação das PCN+, justificando esta abordagem a partir de suas bases para o ensino da Física Contemporânea sobre radiação. A partir daí, apresentaremos uma proposta metodológica viável e adequada, usando como ferramenta de apoio ao ensino o contador Geiger.

Como apresentação da ferramenta, explicaremos em linhas gerais como é o funcionamento de um medidor Geiger e como construí-lo na plataforma Arduino de forma a inseri-lo em sala de aula. Nosso intuito é identificar como o medidor pode ajudar a despertar o interesse dos alunos em Física das radiações, contribuindo desta forma com a alfabetização científica, onde o indivíduo consegue transpor o conhecimento aprendido para a vida social.

Por último, como forma de apresentar a proposta metodológica deste trabalho dando ênfase ao caráter experimental da Física, descreveremos um conjunto de 7 (sete) experimentos que podem ser realizados com os alunos e que servem como exemplos de aplicação do medidor em aulas de radiação ministradas por professores de Física.

CAPÍTULO 2. FONTES DE RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA IONIZANTE

Em seus estudos sobre substâncias fosforescentes que absorviam luz para depois a reemitirem, Becquerel¹ verificou que a posição de uma pedra de urânio ficou claramente marcada numa placa fotográfica por mais que tenha permanecido dentro de uma gaveta, no escuro, por muitos dias sem receber qualquer tipo de luz natural. A esse fenômeno foi dado o nome de **radiação nuclear** (algo que saía da pedra). Mais tarde, verificou-se que outros elementos com massas próximas à do urânio também apresentavam a mesma propriedade, como é o caso do rádio e do polônio. Todos os elementos com tais propriedades receberam o nome de elementos radioativos.

Estamos continuamente expostos a radiações de origem natural existentes no ambiente, tais como radiação cósmica, radiação emitida pela crosta terrestre, radiação emitida por materiais de construção, etc. Os testes da bomba atômica na década de 1940 e o acidente de Chernobyl contribuíram para o aumento da exposição à radiação de fontes artificiais. Estas radiações que estamos continuamente sujeitos no ambiente, sejam naturais ou artificiais, são chamadas de **radiação de fundo**.

A **radiação natural** tem origem fundamentalmente na **radiação terrestre** (formada por radionuclídeos primordiais e cosmogênicos), na **radiação cósmica** (constituída por um fluxo primário de partículas de alta energia que incide continuamente sobre a Terra proveniente do espaço interestelar e também por radiações secundárias originadas a partir das interações das partículas primárias

¹ Antoine Henri Becquerel (1852–1908).

com a atmosfera) e na **alimentação** (os nuclídeos naturais radioativos que se encontram na crosta terrestre são absorvidos por plantas e animais e dissolvidos na água entrando em nossa cadeia alimentar).

Sobre radiação cósmica, Okuno afirma que:

“...tem origem extraterrestre e há fortes indícios de que ela provém de supernovas, atravessa o espaço sideral, e de 85% a 90% do que atinge a atmosfera terrestre são prótons, de 9% a 12% são partículas alfa, e 1%, núcleos de elementos pesados, todos extremamente energéticos. Essas partículas interagem com átomos da atmosfera e criam várias outras partículas, que constituem a radiação cósmica secundária, incluindo mésons pi, elétrons, nêutrons e fótons. Ao nível do mar, cerca de 75% da radiação cósmica é constituída de múons que resultam do decaimento de mésons pi, e o restante são essencialmente fótons e elétrons. A intensidade da radiação cósmica secundária varia com a altitude, e a máxima, chamada máximo de Pfotzer, ocorre entre 15km e 26km. Varia também com a latitude, sendo menor na região do equador e maior nos polos, devido ao campo geomagnético.” (Okuno, 2013).

Radiação é o transporte de energia de um ponto a outro do espaço conduzida através de: **radiação eletromagnética**, as quais não possuem massa e sua velocidade é a mesma (aproximadamente $3,0 \times 10^8$ m/s no vácuo) independente do valor de sua energia, ou **partículas**, possuidoras de massa, carga elétrica e velocidade (dependente de sua energia). A **radiação ionizante** é a radiação com energia suficiente para ionizar átomos e moléculas. Durante uma interação com um átomo, elétrons fortemente vinculados à sua órbita são removidos, fazendo com que o átomo se torne carregado ou ionizado. A energia mínima típica da radiação

ionizante é de cerca de 10 eV, valor próximo ao potencial de ionização de algumas moléculas. Este tipo de radiação pode danificar células e afetar o material genético (DNA), causando doenças graves, podendo levar o indivíduo a morte². Não existe uma dose segura de exposição de radiação sob o ponto de vista genético, sendo que qualquer exposição pode envolver certo risco de indução de efeitos hereditários e somáticos (UNSCEAR, 2008).

Na radiação eletromagnética, quanto menor for sua frequência (infravermelho e rádio) menor será sua energia e quanto maior sua frequência (Raios X e gama), maior será sua energia. Nem toda a radiação eletromagnética é ionizante: apenas a parte de alta frequência do espectro eletromagnético (Figura 1), a partir do ultravioleta, incluindo os Raios-X e gama.

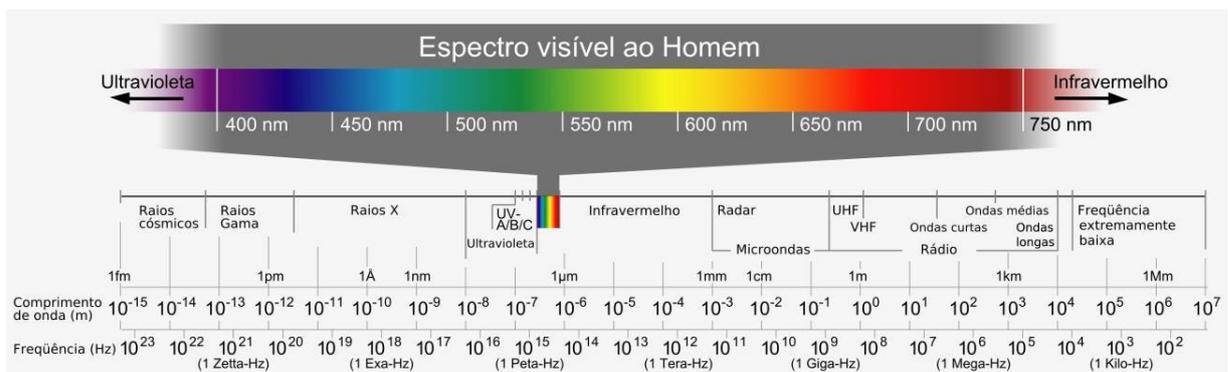


Figura 1 – Espectro Eletromagnético.

Partículas como os elétrons e os prótons que possuem altas energias também são ionizantes. São exemplos de radiação ionizante as partículas alfa, partículas beta (elétrons e pósitrons), os raios gama, Raios-X e nêutrons. Segue abaixo uma descrição sucinta das radiações de origem nuclear (energia do núcleo é parcialmente liberada) alfa, beta e gama:

² Na década de 1950 a Dra. Alice Mary Stewart realizou descobertas sobre o dano fetal causado por administração de Raios-X em gestantes.

- A **radiação alfa** (α) consiste de partículas positivamente carregadas (núcleo de um átomo de He, com dois prótons e dois nêutrons, $q=+2$ unidades atômicas) emitidas a partir do núcleo de um átomo no processo de desintegração. Estas partículas possuem uma carga positiva igual ao dobro da carga do próton que as impede geralmente, dependendo de sua energia, de penetrar, mais do que uma polegada de ar ou de uma folha de papel. Devido a isso, as partículas alfa não são um perigo para a saúde, exceto quando são emitidas a partir de dentro do corpo como um resultado da ingestão, por exemplo, quando a sua alta energia representa um risco extremo para o tecido vivo sensível³.
- A **radiação beta** (β) consiste de partícula beta carregada positiva (pósitron, $q=+1$ unidade atômica) ou negativamente (elétron, $q=-1$ unidade atômica) emitida a partir de um núcleo no processo de decaimento. Estas partículas são relativamente leves e, para valores de energia geralmente encontrados, podem penetrar mais do que uma partícula alfa, ainda que apenas por alguns milímetros numa folha de alumínio na melhor das hipóteses. Quando ingerida, a radiação beta pode ser perigosa para o tecido vivo sensível. É uma forma relativamente menos danosa (em relação à radiação alfa que possui uma carga elétrica maior) de radiação ionizante e geralmente depende da espessura da parede do tubo Geiger-Müller ou a existência de uma janela na extremidade do tubo para ser detectada.

³ Medula óssea, órgãos reprodutores, tecido linfático, membranas mucosas intestinais, gônadas, cristalino dos olhos e células responsáveis pelo desenvolvimento das crianças.

- A **radiação gama** (γ) representa um extremo do espectro eletromagnético, na faixa do curto comprimento de onda e da alta energia. Quando essa radiação é absorvida pela matéria, podem ocorrer, principalmente, três tipos de interações: o efeito fotoelétrico (absorção de um Raio-X ou γ em um elétron orbital com a transferência de toda sua energia, arrancando-o do átomo), o efeito Compton (absorção de um fóton de ultravioleta, Raio-X ou γ em um elétron com a subsequente emissão de um segundo fóton de menor energia e possivelmente mudando sua direção) e a produção de pares (incidência de um raio γ com energia superior a 1,02MeV em um núcleo atômico produzindo um elétron e um pósitron). Tem alto poder de penetração e é detectável em contadores Geiger com dimensões compatíveis com a energia, sendo fortemente absorvida por materiais de alto peso atômico (como o chumbo, Pb). Raios gama de alta energia são produzidos naturalmente pelo Sol e principalmente por outras fontes extra-solares (fortes indícios de explosões de estrelas supernovas) no espaço sideral e sua transmissão para a Terra recebe o nome de "radiação cósmica".

A Figura 2 compara o poder de penetração – para valores típicos de energia – das radiações α , β e γ .

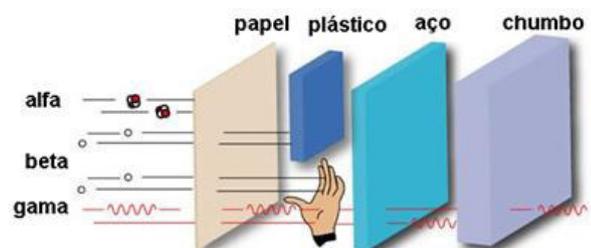


Figura 2 – Poder de penetração das partículas α , β e γ .

Na presença de um campo elétrico ou magnético, os desvios destas radiações são determinados pela carga e massa de cada partícula. O maior desvio é observado pela mais leve (β desvia mais que α) e a neutra não desvia (γ). Este comportamento foi observado pela primeira vez por Madame Curie e registrado em sua tese de doutorado em 1904.

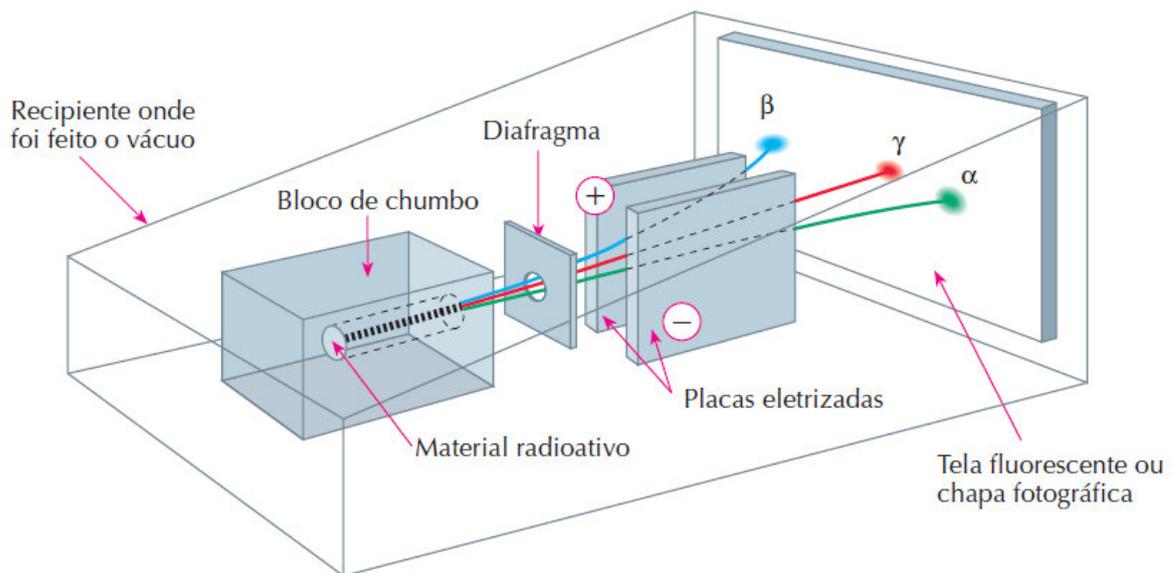


Figura 3 – Partículas desviadas na presença de um campo elétrico.

A Figura 3 ilustra um experimento onde uma fonte hipotética emite radiação natural alfa, beta e gama que são desviadas e subdivididas em três tipos bem distintos. Inicialmente o material radioativo encontra-se dentro de um bloco feito de chumbo – que detém emissões radioativas – com um furo por onde o feixe radioativo sai. Ao passar pelas placas fortemente eletrizadas, se subdivide em três partes, como pode ser constatado por meio de uma tela fluorescente ou chapa fotográfica. A experiência é feita no vácuo com a finalidade de evitar absorções indesejáveis (Feltre, 2004).

Através do desenvolvimento de técnicas e equipamentos radiológicos, o ser humano está exposto à radiação artificial com intensidade controlada. Um bom exemplo disso encontra-se nos aparelhos de raios X (Figura 4) para fins diagnósticos (Figura 5) ou no tratamento de certos tipos de câncer através da Radioterapia⁴. A poeira radioativa proveniente de testes⁵ ou acidentes nucleares consiste em outra fonte de radiação artificial, uma vez que se deposita no solo e acaba entrando na cadeia alimentar, porém de forma descontrolada.



Figura 4 – Aparelho de Raio-X.

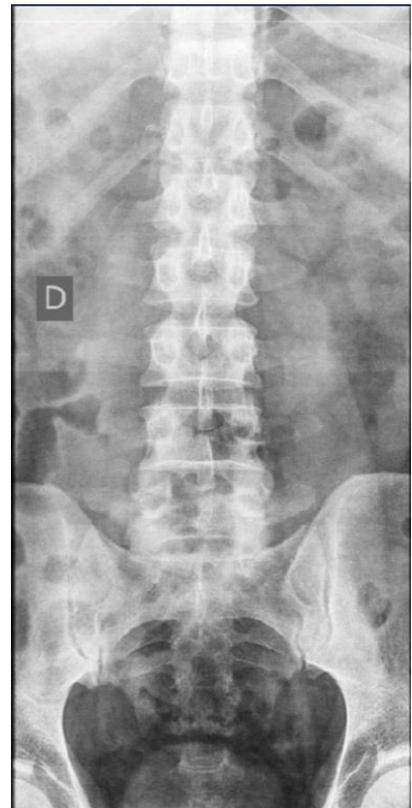


Figura 5 – Raio-X de coluna.

⁴ Método capaz de destruir células tumorais empregando feixe de radiações ionizantes (INCA).

⁵ Controlados a partir de 1991 com o fim da Guerra Fria

CAPÍTULO 3. A RADIAÇÃO NO COTIDIANO

Embora desconhecida de muitos, a radiação tem papel fundamental em algumas áreas. É através dela que alimentos são esterilizados na agricultura e modernos equipamentos de medicina nuclear são usados para diagnosticar e salvar vidas. Ao passo que encontramos muitos benefícios de seu uso, é infelizmente através de seus riscos que ela se faz divulgada pela mídia.

O **acidente em Goiânia** com o Césio-137 em setembro de 1987 foi o maior acidente radioativo do Brasil e o maior do mundo ocorrido fora das usinas nucleares. Um aparelho de radioterapia em desuso deixado em um prédio abandonado foi encontrado por catadores de papel e vendido para um ferro velho local, que entenderam tratar-se de sucata. O cilindro contendo o material radioativo foi violado, fragmentado e repassado para terceiros, gerando um rastro de contaminação, afetando seriamente a saúde de dezenas de pessoas.



Figura 6 – Técnicos da CNEN e militares da escola do exército trabalham na área contaminada.

No ano anterior (1986), os operadores da usina nuclear de **Chernobyl**, na Ucrânia, realizaram um experimento com o reator 4 (quatro). A intenção inicial era observar o comportamento do reator nuclear quando utilizado com baixos níveis de energia. Contudo, para que o teste fosse possível, os responsáveis pela unidade teriam que quebrar o cumprimento de uma série de regras de segurança indispensáveis. Foi nesse momento que perderam o controle da reação em cadeia e uma enorme tragédia nuclear se desenhou no Leste Europeu: radionuclídeos com mais de 43 milhões de Curies⁶ foram liberados na atmosfera, contaminando quase toda a Europa.



Figura 7 – Usina Nuclear de Chernobyl após o acidente com o reator 4.

No final de abril de 2012 no Rio de Janeiro um **carro foi roubado** contendo material radioativo, o Selênio-75, utilizado em radiografias para soldas industriais.

Em nota:

⁶ Referência a Marie Curie (1867–1934) por seu trabalho em radiação (Prêmio Nobel de 1903 e 1911). $1\text{Ci}=3,7\times 10^{10}$ decaimentos por segundo, ou seja, são emitidos $4,3\times 10^7 \times 3,7\times 10^{10}$ fótons gama por segundo de atividade

“A secretaria de Estado de Defesa Civil, o Corpo de Bombeiros do Rio de Janeiro e a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) alertam para os riscos do material radioativo que estava dentro de um veículo roubado na noite do último sábado (28), em Duque de Caxias, na Baixada Fluminense” (Notícias UOL, 2012).

Ao ter seu conteúdo divulgado pela mídia, o carro foi imediatamente abandonado, o que pode ser interpretado como uma demonstração de medo do desconhecido. Posteriormente, a mesma fonte publicou que *“a cápsula onde o Selênio-75 é transportado, é duplamente blindada e não oferece risco caso não seja violada”*, tranquilizando a população e orientando no sentido de evitar a contaminação pelo material radioativo.



Figura 8 – Foto do carro que transportava o material radioativo.

No que diz respeito aos **alimentos**⁷ que comemos, pouco é divulgado acerca da irradiação a que foram submetidos antes de chegarem à nossa mesa e a sua radiação natural. A irradiação em frutas, legumes, cereais e frutos do mar, entre outros, vem sendo frequentemente usada com a finalidade de diminuir o número de micro-organismos causadores de seu apodrecimento, aumentando desta forma o

⁷ Contém naturalmente Potássio-40 radioativo.

tempo de estocagem e conservação (alimentos não preservados fazem mal à saúde). Tais alimentos são irradiados de forma controlada com raios gama provenientes de elementos radioativos (^{60}Co e ^{137}Cs). De acordo com a IAEA (1992), a quantidade de radiação ionizante é minuciosamente controlada por um tempo prefixado e com objetivos bem determinados, de forma a não aumentar o nível de radioatividade normal (natural) dos alimentos. Alimentos muito gordurosos como é o caso do leite e seus derivados não podem ser irradiados, pois sofrem reações de oxidação e ficam rançosos. A Figura 9 representa alguns exemplos de alimentos que podem ser irradiados.



Figura 9 – Alimentos com selo verde de radiação.

Cabe aqui uma explicação sobre a diferença entre **contaminação radioativa** e **irradiação**. Há dois tipos de contaminação radioativa: interna e externa. A contaminação interna é quando a substância radioativa é ingerida, inalada ou encontra-se em uma parte de nosso corpo. Durante seu tempo de permanência em nosso organismo (meia vida biológica) essas substâncias irradiam órgãos sensíveis e podem causar lesões ou mutações genéticas. Caso não ocorra naturalmente a descontaminação, é preciso realizar um processo para a retirada do contaminante da região onde se encontra. A contaminação externa é quando o material incorpora-

se ou adere ao corpo através do contato com o material radiativo na forma de pó, líquido ou gás, sem inalação ou ingestão, porém tão prejudicial quanto à interna, necessitando também descontaminar. Irradiação é quando o corpo sofre uma exposição à radiação, podendo ocorrer à distância (sem necessidade de contato). Irradiar não é contaminar, mas a contaminação irradia. As vítimas de Goiânia foram contaminadas pelo Césio, já as de Chernobyl foram fortemente irradiadas e contaminadas pelo Urânio.

Nosso Sol que nos aquece e ilumina, também envia radiação ultravioleta e infravermelha, esta última, não ionizante. Há também as radiações cósmicas originadas no espaço sideral. Ao fazer uma viagem de avião, o corpo humano fica exposto a um grau de radiação cerca de cem vezes superior ao existente no solo. Isso ocorre porque a exposição aumenta com a altitude⁸ (diminuição da atenuação), mas também está relacionada ao número de horas de voo, a latitude⁹ (Tabela 1), a atividade solar¹⁰ e ao tipo de avião. Podemos observar na tabela abaixo que quanto maior a altitude e a latitude maior a dosagem recebida.

Tabela 1 – Taxa da dose de radiação cósmica em diferentes localizações da atmosfera.

Coordenadas Geográficas	Altitude		Taxa de Dose Efetiva (µSv/hora)
	metros	pés	
0°, 20°E	0	0	0,028
	6.098	20.000	0,54
	9.146	30.000	1,6
	12.195	40.000	3,0
40°N, 20°E	0	0	0,037
	6.098	20.000	0,76
	9.146	30.000	2,3
	12.195	40.000	4,7
80°N, 20°E	0	0	0,041
	6.098	20.000	1,1
	9.146	30.000	4,1
	12.195	40.000	9,1

Fonte: FAA

⁸ Moradores do Tibet recebem maior dosagem de radiação.

⁹ A radiação é mais intensa nas regiões polares do norte a partir de 50°N e menos intensa nas áreas próximas à Linha do Equador.

¹⁰ Explosões solares periódicas ocorrem a cada 11 anos.

Uma alternativa para a redução dessa dose seria voar mais baixo, porém o tempo de voo aumentaria devido à resistência do ar, chamada de força de arrasto. Voando mais alto o ar se tornaria menos denso, diminuindo a resistência ao movimento do avião e conseqüentemente diminuindo o tempo de voo, mas em compensação aumentaríamos a dosagem recebida. A Tabela 2 apresenta algumas doses calculadas de radiação cósmica em voos no Brasil de acordo com a FAA.

Tabela 2 – Doses calculadas de radiação cósmica em voos no Brasil.

Local	Altitude		Data	Dose (μ Sv/hora)
	metros	pés		
Rio de Janeiro (SBSC) 22°55'58" S/43°43'10" W Altitude: 3 m (10 pés)	10.671	35.000	Set 2002	2,58
			Jan 1995	2,70
	7.622	25.000	Set 2002	1,09
			Jan 1995	1,14
	4.573	15.000	Set 2002	0,29
			Jan 1995	0,30
	1.524	5.000	Set 2002	0,06
			Jan 1995	0,06
	3	10	Set 2002	0,03
			Jan 1995	0,03
Macapá (SBMQ) 00°03'03" N/51°04'13" W Altitude: 17 m (56 pés)	10.671	35.000	Set 2002	2,29
			Jan 1995	2,37
	7.622	25.000	Set 2002	0,98
			Jan 1995	1,02
	4.573	15.000	Set 2002	0,26
			Jan 1995	0,27
	1.524	5.000	Set 2002	0,05
			Jan 1995	0,06
	17	56	Set 2002	0,03
			Jan 1995	0,03
Pelotas (SBPK) 31°43'08" S/52°19'41" W Altitude: 18 m (59 pés)	10.671	35.000	Set 2002	2,87
			Jan 1995	3,01
	7.622	25.000	Set 2002	1,19
			Jan 1995	1,25
	4.573	15.000	Set 2002	0,31
			Jan 1995	0,33
	1.524	5.000	Set 2002	0,06
			Jan 1995	0,07
	18	59	Set 2002	0,03
			Jan 1995	0,04

Fonte: FAA

A maior preocupação recai sobre os pilotos e tripulantes uma vez que atingem muito mais horas de voo do que os passageiros. O limite estabelecido pelo parlamento do Reino Unido, baseado nas recomendações do International

Commission on Radiological Protection (ICRP), é de 400 horas em voo em latitude equatorial, ao passo que a legislação brasileira limita em 850 horas. Segundo a OMS, a exposição média à radiação cósmica é aproximadamente 0,005mSv/h. Para calcular a quantidade aproximada de exposição numa viagem, basta multiplicar esse valor pela duração da viagem. Como uma pessoa normal pode receber uma dose anual de cerca de 1mSv¹¹ sem danos à sua saúde (Norma CNEN-NN-3.01), precisaríamos voar cerca de 200 horas por ano para atingir este limite. De acordo com o CNEN,

“uma pessoa é normalmente exposta a cerca de 0,2mSv durante a viagem de ida e volta entre Tóquio e Nova York, a 0,6mSv em um exame de Raios-X abdominal, e a 6,9mSv em um exame de tomografia computadorizada. Embora os riscos de câncer aumentem proporcionalmente com a dose, qualquer valor de dose recebida por uma pessoa, abaixo de 100mSv, não mostra nenhum aumento significativo dos riscos da mesma desenvolver câncer” (CNEN, 2011).

Os danos biológicos causados pela radiação dependem do tipo utilizado, de sua energia e do órgão ou tecido sobre o qual incide, podendo ocorrer efeitos de curto ou longo prazo, somáticos e genéticos. A Tabela 3 mostra níveis, limites e referências de dose de radiação para uma comparação simplificada.

¹¹ Unidade usada para medir o impacto da radiação sob o corpo humano

Tabela 3 – Níveis, limites e referências de dose de radiação.

PARÂMETRO	VALOR (mSv)	OBSERVAÇÃO
Limite anual para público em situação operacional normal.	1	Dose acima da radiação natural. Não inclui aplicações médicas. Ref.: Norma CNEN-NN-3.01.
Aplicações médicas (excluindo radioterapia).	0,03 a 2,0	Média anual. Ref.:UNSCEAR 2008.
Radiação natural.	2,4	Média anual. Ref.:UNSCEAR 2008. Algumas regiões apresentam níveis até 5 vezes maiores, por exemplo, a cidade de Guarapari, ES.
Limite anual para indivíduo ocupacionalmente exposto (trabalhador).	20	Média em 5 anos. Não pode exceder 50mSv em um único ano. Ref.: Norma CNEN-NN-3.01.
Nível de ação para evacuação de população em situações de emergência.	50	Dose a ser evitada. Monitoração no local: taxa: 1mSv/h. Ref.: Norma CNEN-NN-3.01 PR-006.
Limite de dose em situações de emergência para executar ações para prevenir o desenvolvimento de situações catastróficas.	100	Com exceção das ações para salvar vidas. Ref.: Norma CNEN-NN-3.01.
Referência para aparecimento de efeitos observáveis.	1000	Os efeitos observados podem ser astenia, náuseas, vômitos.
Dose de corpo inteiro mais alta recebida por uma das vítimas do acidente radiológico em Goiânia,1987.	8000	A vítima faleceu tempos depois.

Fonte: CNEN

Podemos observar que quanto maior a altitude, maior a dose recebida em mSv/h. Estamos protegidos desta radiação tanto pela **magnetosfera** (Figura 10), que devido às partículas carregadas desvia parte da radiação para os polos do planeta, formando as auroras boreal (Polo Norte) e austral (Polo Sul), quanto pela **atmosfera**, na medida em que os raios cósmicos ao se chocarem com ela perdem energia se desfazendo (Figura 11) e conseqüentemente perdendo poder de penetração. No caso do Brasil, ainda somos favorecidos pelo fato do país ter baixa latitude.

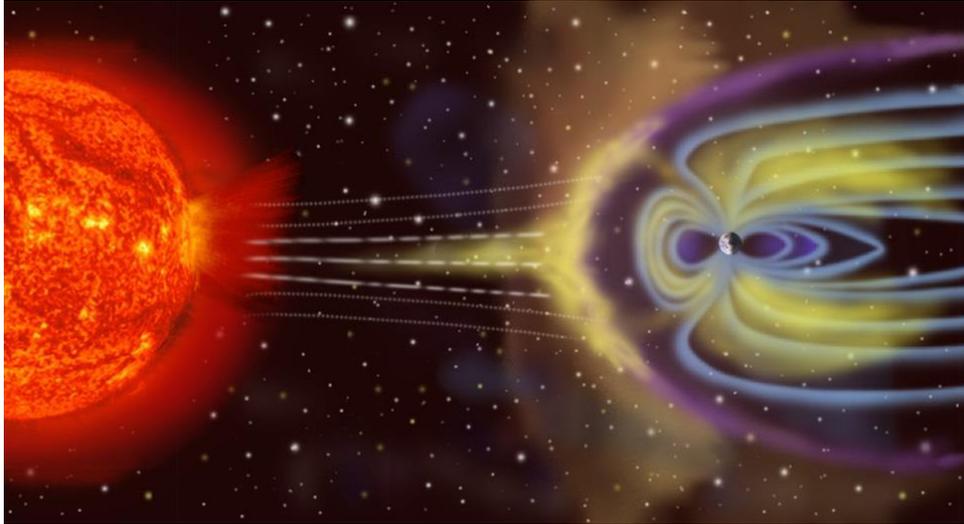


Figura 10 – Ação da Magnetosfera.

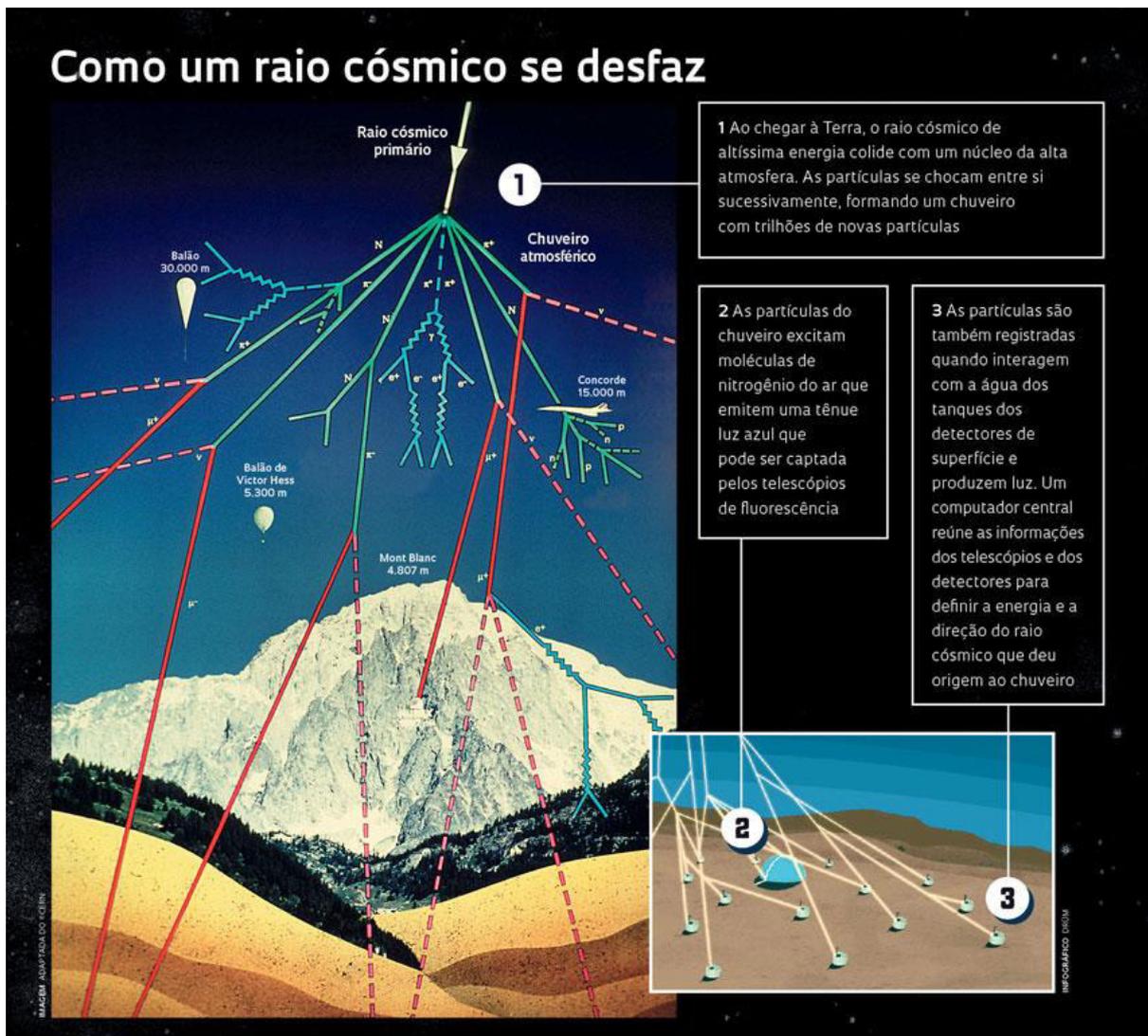


Figura 11 – Como um raio cósmico se desfaz.

Nosso planeta é circundado por uma grande nuvem de partículas carregadas na forma toroidal aprisionadas pelo campo magnético da Terra, chamada de cinturão de Van Allen¹² (Figura 12) em homenagem a seu descobridor.

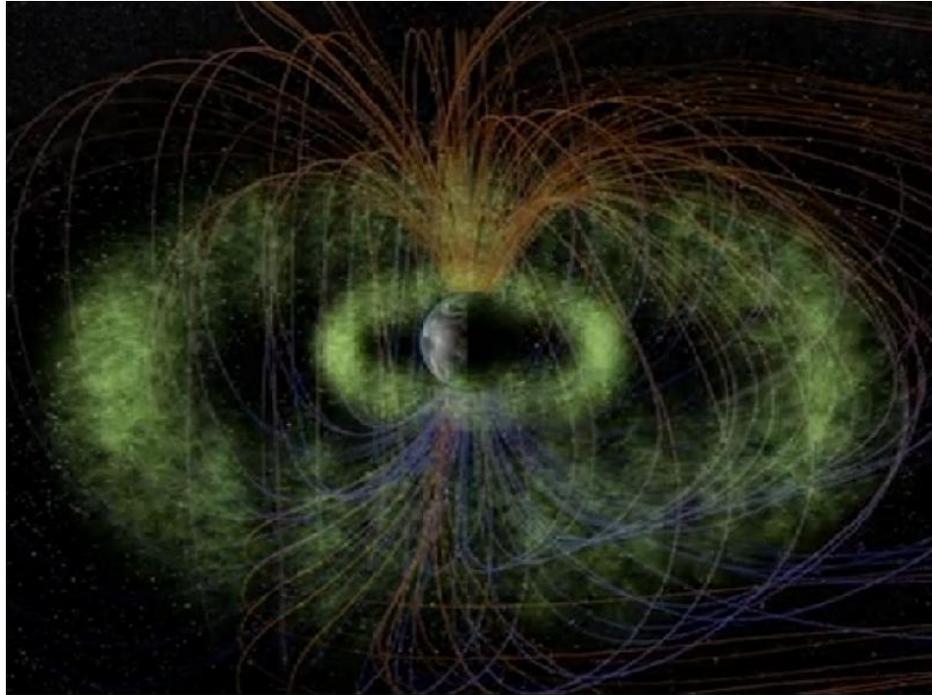


Figura 12 – Cinturão de Van Allen e a Magnetosfera.

Muito se fala sobre a ida do homem à Lua, que a radiação existente o mataria. O que há de se saber é que a natureza da radiação do cinturão não é da mesma natureza dos Raios-X ou ultravioletas do Sol (ionizantes). De acordo com pesquisas¹³ da NASA, desde que atravessem rapidamente pela parte mais fina do cinturão, a dose de radiação recebida pelos astronautas dentro de uma espaçonave seria muito pequena, a ponto de não representar maiores perigos.

Os estudos dos raios cósmicos revelaram várias partículas elementares na radiação cósmica, conforme ilustrado na Tabela 4.

¹² James Alfred Van Allen (1914–2006).

¹³ Biomedical Results Of Apollo – Radiation And Instrumentation.

Tabela 4 – Partículas elementares descobertas nos raios cósmicos.

NOME	SÍMBOLO	QUEM DESCOBRIU	DATA
PÓSITRON	e^+	C. Anderson	1932
MÚON	μ^-	S. Neddermeyer & C. Anderson	1937
ANTIMÚON	μ^+	S. Neddermeyer & C. Anderson	1937
PÍON mais	π^+	C. Powell, G. Occhialini & C. M. Lattes	1947
PÍON menos	π^-	C. Powell, G. Occhialini & C. M. Lattes	1947
KÁON zero	K^0	G. Rochester & C. Butler	1947
KÁON mais	K^+	G. Rochester & C. Butler	1947
KÁON menos	K^-	G. Rochester & C. Butler	1947
LAMBDA	Λ	C. Butler & equipe em Manchester	1951
XI menos	Ξ^-	R. Armenteros & equipe em Manchester	1952
SIGMA mais	Σ^+	G. Tomasini & equipe em Milão Gênova	1953

FONTE: (CLOSE,1987)

De acordo com Pereira (1997), a descoberta dessas partículas foi fundamental para o desenvolvimento da física nuclear, da física de partículas, da física de altas energias e da astrofísica.

CAPÍTULO 4. O QUE DIZ A DOCUMENTAÇÃO OFICIAL

Entendendo que o papel do aprendiz é central na construção da chamada “Sociedade do Conhecimento”, calcada na cooperação e no pluralismo de ideias (Lastres e Ferraz, 1999), a relação professor-aluno se destaca como elemento fundamental. Uma vez que o trabalho realizado pelo professor pode proporcionar ao aluno e a ele próprio uma melhor compreensão do meio no qual estes e suas comunidades encontram-se inseridos, é de grande importância que sua prática seja compreendida e estruturada visando uma relação coerente entre professor, aluno, comunidade e saber(es).

A partir da análise do desenvolvimento acelerado daquilo que Santos (2012) chama de meio técnico–científico–informacional, que, assim como o conhecimento físico caracteriza-se como um processo histórico, podemos destacar o papel da escola na compreensão deste meio e na possibilidade de contribuir para o avanço das ciências e das técnicas através da elaboração de conteúdos que despertem o interesse e a curiosidade dos alunos.

O aprendiz em Física se destaca, nesse contexto, como uma possível contribuição na construção deste meio ainda em elaboração, cujas análises são realizadas por autores das mais diversas áreas (Santos, 2012; Capra, 2002; Bauman, 1999; Harvey, 2012). Este pode ser caracterizado por um futuro incerto, onde a sociedade pós-moderna (ou moderna para alguns autores) estruturada a partir do desenvolvimento técnico–científico–informacional acelerado, se depara com desafios relacionados a questões como sustentabilidade ambiental e desequilíbrios socioeconômicos. Tal contribuição proporcionada pela Física vai além do seu caráter

técnico. Esta disciplina quando relacionadas a outras pode contribuir para a formação de uma base técnica, social e pedagógica que vá além do despertar de interesse dos alunos, criando uma nova forma de pensar a técnica e sua função social.

Os artigos da LDB (Lei de Diretrizes e Base), especialmente os artigos 21, 22 e 35, apesar das críticas que podem ser feitas a esta, nos mostram uma preocupação com o egresso com relação ao exercício de seus direitos e deveres, que podemos entender como elementos essenciais para o exercício da cidadania. Como já afirmava Paulo Freire (1996), ensinar exige rigorosidade metódica. E é nesse sentido que a presente proposta leva em conta as considerações indicadas pelos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) e pelas Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+), voltadas para o ensino de Física no ensino médio.

O presente trabalho propõe contribuições para o desenvolvimento metodológico na abordagem do tema “radiação”. De acordo com as PCN+:

“O cotidiano contemporâneo depende, cada vez mais intensamente, de tecnologias baseadas na utilização de radiações e nos avanços na área da microtecnologia. Introduzir esses assuntos no ensino médio significa promover aos jovens competências para, por exemplo, ter condições de avaliar riscos e benefícios que decorrem da utilização de diferentes radiações, compreender os recursos de diagnóstico médico (radiografias, tomografias, etc.), acompanhar a discussão sobre os problemas relacionados à utilização da energia nuclear ou compreender a importância dos novos materiais e processos utilizados para o desenvolvimento da informática.”

Nesse sentido, uma vez que a maior parte dos fenômenos envolvidos depende da interação da radiação com a matéria, é interessante que haja uma abordagem com duplo enfoque: por um lado, discutindo os modelos de constituição da matéria, incluindo o núcleo atômico e seus constituintes; e por outro, caracterizando as radiações que compõem o espectro eletromagnético, através de suas diferentes formas de interagir com a matéria. Essa compreensão das interações e da matéria, agora em nível microscópico, permite um novo olhar sobre algumas propriedades trabalhadas no ensino médio, tais como condutividade e transparência, mas permite também promover, como síntese, uma concepção mais abrangente do universo físico. São esses modelos explicativos de matéria, de radiação e de suas interações que também possibilitam o desenvolvimento de novos materiais como cerâmicas, cristais e polímeros ou novos sistemas tecnológicos como microcomputadores, combustíveis nucleares, rastreamento por satélite, lasers e cabos de fibra óptica.

A compreensão desses aspectos pode propiciar, ainda, um novo olhar sobre o impacto da tecnologia nas formas de vida contemporâneas, além de introduzir novos elementos para uma discussão consciente da relação entre ética e ciência.” (Brasil, 2013b p.77).

Tal abordagem encontra respaldo nos PCN, em sua própria justificativa, ao tratar das novas necessidades do ensino de física:

“Não se trata, portanto, de elaborar novas listas de tópicos de conteúdo, mas, sobretudo, de dar ao ensino de Física novas dimensões. Isso significa promover um conhecimento contextualizado e integrado à vida

de cada jovem. Apresentar [...] uma Física que explique os gastos da “conta de luz” ou o consumo diário de combustível e também as questões referentes ao uso das diferentes fontes de energia em escala social, incluída a energia nuclear, com seus riscos e benefícios. [...] Que trate do refrigerador ou dos motores a combustão, das células fotoelétricas, das radiações presentes no dia-a-dia, mas também dos princípios gerais que permitem generalizar todas essas compreensões. Uma Física cujo significado o aluno possa perceber no momento em que aprende, e não em um momento posterior ao aprendizado.” (Brasil, 2013a p. 23).

Os mesmos PCN retomam tal embasamento ao tratar da discussão de fontes e formas de transformação/produção de energia, da possibilidade de um efetivo aprendizado de Cosmologia e, ainda, quando fala da possibilidade de discussão sobre a participação de físicos na fabricação de bombas atômicas, considerando a preocupação social e com a cidadania. Assim, o tema “radiação” perpassa os três eixos de Competências e habilidades a serem desenvolvidas em Física, que são:

- Representação e comunicação
- Investigação e compreensão
- Contextualização sociocultural¹⁴.

As PCN+ ligadas às Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, foram criadas com o objetivo de apoiar as equipes escolares na execução de seus trabalhos, servindo, segundo seus idealizadores, de “apoio à reflexão sobre a prática diária, ao planejamento de aulas e, sobretudo, ao

¹⁴ Esta competência é destacada erroneamente no documento oficial publicado pelo MEC como “Investigação e compreensão” (BRASIL, 2013b p.67).

desenvolvimento do currículo da escola, contribuindo ainda para a atualização profissional” (BRASIL, 2013b). Ainda de acordo com o documento, foi preciso uma reformulação do ensino médio frente às novas demandas da sociedade. Assim, foram pensadas três grandes áreas do conhecimento às quais as disciplinas tradicionais passaram a integrar. São elas: Ciências da Natureza e Matemática, Ciências Humanas, Linguagens e Códigos. As mesmas, segundo os autores das PCN+, organizam e interligam as disciplinas, sem diluí-las ou eliminá-las.

Sendo a Física uma das disciplinas que compõem o grupo das “Ciências da Natureza e Matemática”, juntamente com a Biologia, Química e Matemática, o documento defende que esta disciplina deve priorizar que os jovens adquiram competências para lidar com situações do dia-a-dia ou que venham a vivenciar no futuro. Para isso, define competências que devem ser adquiridas pelos alunos durante o ensino médio, retomando os eixos destacados pelos PCN.

Diferentemente dos PCN, as PCN+ indicam conteúdos julgados como adequados para que as competências e habilidades destacadas sejam desenvolvidas pelos alunos. Assim, seus autores privilegiam seis temas estruturadores:

1. Movimentos: variações e conservações.
2. Calor, ambiente e usos de energia.
3. Som, imagem e informação.
4. Equipamentos elétricos e telecomunicações.
5. Matéria e radiação.
6. Universo, Terra e vida.

Considerando o tema estruturador cinco, definido como “Matéria e radiação”, o presente trabalho busca contribuir para o desenvolvimento de novas metodologias didáticas, especialmente sobre os conteúdos relacionados às suas unidades e subunidades temáticas, destacadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Unidades e Subunidades Temáticas alvos desta pesquisa.

TEMA ESTRUTURADOR	UNIDADE TEMÁTICA	SUBUNIDADE TEMÁTICA
MATÉRIA E RADIAÇÃO	2. Radiações e suas interações	• identificar diferentes tipos de radiações presentes na vida cotidiana, reconhecendo sua sistematização no espectro eletromagnético (das ondas de rádio aos raios γ) e sua utilização através das tecnologias a elas associadas (radar, rádio, forno de micro-onda, tomografia etc.);
		• compreender os processos de interação das radiações com meios materiais para explicar os fenômenos envolvidos em, por exemplo, fotocélulas, emissão e transmissão de luz, telas de monitores, radiografias;
	3. Energia nuclear e Radioatividade	• compreender as transformações nucleares que dão origem à radioatividade para reconhecer sua presença na natureza e em sistemas tecnológicos;
		• conhecer a natureza das interações e a dimensão da energia envolvida nas transformações nucleares para explicar seu uso em, por exemplo, usinas nucleares, indústria, agricultura ou medicina;
		• avaliar os efeitos biológicos e ambientais, assim como medidas de proteção, da radioatividade e radiações ionizantes.

Fonte: Elaborada pelo autor com base em Brasil (2013b).

CAPÍTULO 5. O CONTADOR GEIGER-MÜLLER

O contador Geiger-Müller, ou apenas contador Geiger, recebeu esse nome em 1908 em homenagem ao seu inventor, o físico alemão Johannes Hans Geiger (1882–1945), ajudante de Rutherford¹⁵, e aperfeiçoado em 1928 por seu compatriota Walther Müller]. Seu uso permitiu medir intensidades de radioatividade (elementos radioativos e raio X), tornando-se indispensável principalmente quando ocorrem acidentes radioativos, uma vez que identifica o nível de radiação de uma área em risco e desta forma pode evitar danos aos seres vivos e ao meio ambiente. Seu funcionamento consiste basicamente no seguinte: emissões radioativas atravessam a janela do tubo e passam pelo interior do tubo ionizando o gás – geralmente o argônio – contido a baixa pressão e um vapor orgânico ou um gás halogênio criando uma descarga elétrica que se manifesta na forma de um pulso elétrico entre o eletrodo central (anodo) e o cilindro metálico (catodo) – onde a tensão é da ordem de 1.000V¹⁶ – e é amplificado para um dispositivo acústico e/ou um contador, indicando que certa quantidade de energia foi absorvida pelo gás. A Figura 13 ilustra o esquema simplificado de um contador Geiger.

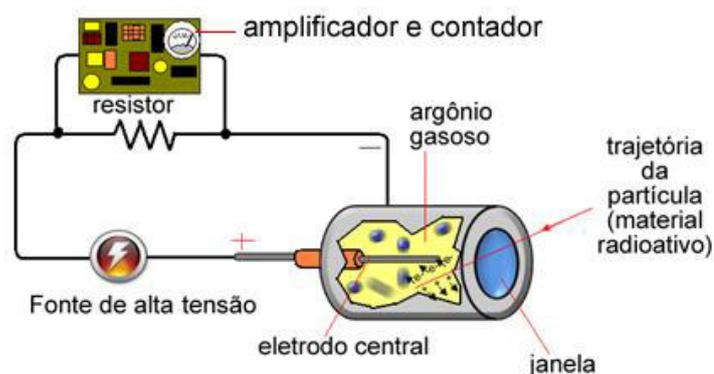


Figura 13 – Esquema simplificado de um contador Geiger.

¹⁵ Ernest Rutherford (1871–1937), pai da Física Nuclear.

¹⁶ Volts.

Tendo em vista o elevado custo (em torno de R\$3.000,00) de um medidor Geiger comercial – o que torna praticamente inviável sua utilização em grandes quantidades em salas de aula nas escolas públicas brasileiras –, escolhemos a plataforma OpenSource Arduino para o desenvolvimento de um projeto bem mais barato (em torno de R\$300,00) que pudesse medir satisfatoriamente a radiação em algumas situações.

Nossa escolha baseou-se no fato do **Arduino** ser uma plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre, projetada com um microcontrolador Atmel AVR, algumas linhas de E/S digital e analógica, uma interface serial ou USB, programada com uma linguagem de programação com origem em Wiring (essencialmente C/C++). O Arduino é concebido com o objetivo de criar ferramentas acessíveis, com custo baixo, flexíveis e fáceis de usar, podendo ser utilizado para o desenvolvimento de projetos interativos independentes ou conectado a um computador cuja interface pode ser escrita em várias linguagens.

Tomamos como inspiração o projeto da Libelium¹⁷. Segundo suas bases:

“O desastre nuclear de Fukushima após o terremoto e tsunami que atingiram o Japão motivou a criação do Conselho Sensor de Radiação. A ideia é ajudar as autoridades e forças de segurança a medir os níveis de radiação das zonas afetadas sem comprometer a vida dos trabalhadores. Por esse motivo, foi criada uma bateria autônoma que alimenta o Contador Geiger, que pode ler os níveis de radiação automaticamente e enviar a informação em tempo real, utilizando tecnologias sem fio como ZigBee e GPRS. O projeto da placa do sensor

¹⁷ Empresa fabricante de plataforma de sensores de código aberto.

é hardware aberto e o código fonte é liberado sob GPL” (Manifesto Libelium).

O projeto inicial da Libelium (Figura 14) consiste em um contador Geiger montado numa placa Arduino. O conjunto é alimentado por baterias de alta carga que garantem uma vida útil de anos e os dados são enviados automaticamente para o gateway da rede através do protocolo ZigBee¹⁸. Cada conjunto funciona como um nó dentro da malha. Desta forma, as medições são feitas em tempo real e contribuem para a saúde das pessoas que porventura necessitassem estar dentro do perímetro de segurança para ativar os contadores.

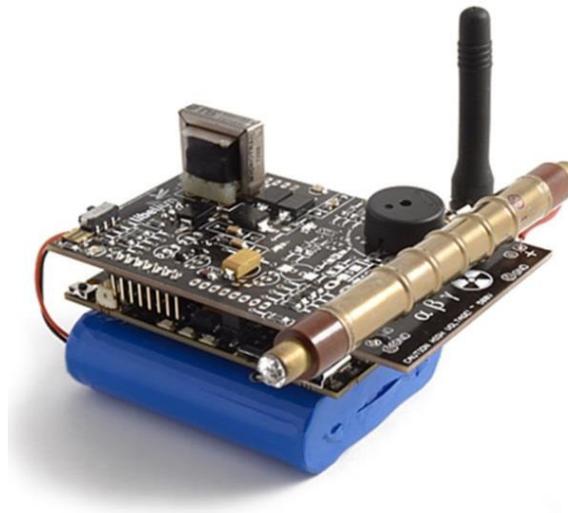


Figura 14 – Projeto Libelium.

O tubo Geiger utilizado é sensível à radiação beta e gama, detectando-as de forma multidirecional. Isto significa que a medição independe da orientação do sensor Geiger em relação à fonte de radioatividade, dependendo apenas da distância. Por esta razão, a fixação dos nós nos lugares mapeados previamente (Figura 15) é a chave para detectar um possível vazamento da usina nuclear.

¹⁸ Conjunto de especificações para a comunicação sem fio entre dispositivos eletrônicos, com ênfase na baixa potência de operação, na baixa taxa de transmissão de dados e no baixo custo de implantação.

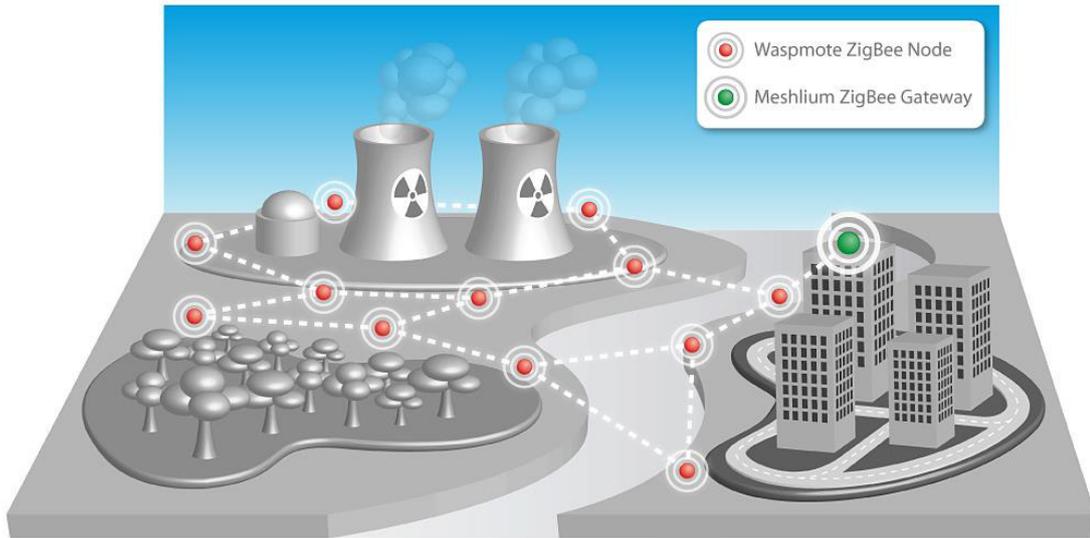


Figura 15 – Prevenção e controle de rede de sensores de radiação.

A unidade de medida utilizada pelos tubos Geiger é basicamente o número de pulsos gerados. Isto significa que, em 1s, teremos "n" contagens (contagens por segundo – cps) e, em 1min, contagens por minuto (cpm). Este valor é comum para todos os tubos Geiger. No entanto, não é um valor de energia, mas apenas o número de pulsos. A fim de obter a energia irradiada e a quantidade que é absorvida por um organismo, precisamos obter quantos Sieverts por hora estes pulsos estão produzindo. A fórmula que passa de cpm para $\mu\text{Sv/h}$ depende principalmente do tubo Geiger: o tamanho, a forma, o material, a sensibilidade, o tempo, o tipo de partícula medido, etc. Normalmente, um fator de conversão pode ser extraído a partir dos gráficos fornecidos pelo fabricante no processo de calibração:

$$\text{cpm} \times \text{fator de conversão} = \mu\text{Sv/h}$$

Por exemplo, o fator de conversão para o tubo LDN-712 é 0,00233 e para o GAE-20 é 0,00277. Isto significa, por exemplo, que a detecção 120cpm terá o seguinte valor dependendo do tubo usado:

- LDN-712: $120 \times 0,00233 = 0.27\mu\text{Sv} / \text{h}$
- GAE-20: $120 \times 0,00277 = 0.33\mu\text{Sv} / \text{h}$

Após pesquisar na internet, encontramos uma comunidade de entusiastas em projetos DIY¹⁹ Geiger Counter²⁰ e entramos em contato com seu administrador via e-mail na Lituânia, o Sr. Arturas Satkovskis. Após uma breve descrição do projeto e algumas trocas de e-mail, optamos em importar um kit pré-programado e integrado que atendesse nossas necessidades.

Além da placa Arduino (obrigatória), incluímos em nosso projeto um módulo microSD card, uma bateria de 12V, um kit contendo um tubo Geiger para medir radiação, um piezo emissor de som, um LCD para visualização das medidas e um módulo GPS (Figura 16). Optamos em adicionar a unidade de memory card para que os dados coletados pelo tubo pudessem ser gravados e analisados posteriormente.



Figura 16 – Componentes do projeto: Arduino UNO, Kit Geiger, MicroSD, GPS e Bateria.

¹⁹ Do It Yourself (tradução: faça você mesmo).

²⁰ <https://sites.google.com/site/diigeigercounter/home>

CAPÍTULO 6. FÍSICA DAS RADIAÇÕES NA SALA DE AULA

Há alguns anos recebemos questionamentos de alunos do ensino médio sobre reportagens veiculadas nas diferentes mídias sobre *radiação*²¹. Constatamos algumas vezes que muitos conceitos estavam equivocados, talvez pela complexidade do tema, e tantas outras, cercados por mitos pertinentes à própria natureza do conceito de radiação, sendo desta forma um assunto que permanece como desconhecido para a maior parte dos estudantes.

Este trabalho tem como cunho central proporcionar aos docentes de Física uma ferramenta que facilite e estimule o ensino do *Tema Estruturador 5: Matéria e radiação* (PCN+) através de medições experimentais simples de serem realizadas. Apesar de constar no último capítulo dos mais variados livros de Física do 3º ano do ensino médio, sua abordagem geralmente fica a cargo de outra disciplina: Química. Em linhas gerais, o estudo de radiações no ensino médio começa com um resumo histórico da descoberta da radioatividade e os efeitos das emissões radioativas, passa pela natureza das radiações α , β e γ e suas leis, a cinética das desintegrações radioativas, as famílias radioativas naturais, as reações artificiais de transmutação, a fissão e a fusão nucleares e termina com as aplicações das reações nucleares e os perigos de acidentes nucleares (também discutido nas aulas de Geografia).

Um dos fatores que mais nos motivou na elaboração deste projeto é o fato dele poder ser feito de materiais acessíveis e relativamente baratos – ao contrário dos medidores Geiger vendidos no mercado – facilitando desta forma o ensino

²¹ O acidente em Goiânia com o Césio-137, o maior acidente dentro de uma usina nuclear ocorrido em Chernobyl no ano de 1986 (Ucrânia), o acidente nuclear de Fukushima (Japão) e em maio de 2012 no Rio de Janeiro, o roubo de um carro contendo material radioativo: o Selênio-75.

experimental. Outra vantagem que detectamos no uso do Arduino é a possibilidade dos projetos poderem ser constantemente atualizados conforme professores e alunos forem se familiarizando com a plataforma e introduzindo novas ideias. Desta forma o projeto “nunca acaba”, podendo ser continuado ou até mesmo reformulado em função dos objetivos que se deseje atingir. As experiências propostas são fáceis de realizar e relativamente robustas, não oferecem muitas dificuldades na abordagem do conteúdo e os resultados tipicamente esperados para esse tipo de prática são encontrados após a realização dos experimentos.

Nossa intenção ao abordar o problema da Física das radiações e sua importância é elaborar um projeto compacto, com início, meio e fim, com a estrutura representada na Tabela 6.

Tabela 6 – Representação esquemática do projeto.

• **Atividades dentro da sala de aula, na mesa do professor (50min cada).**

Prática	Descrição
1	I. Apresentar o projeto. II. Realizar e interpretar medidas com o contador Geiger. III. Armazenar os valores medidos e transporta-los para o computador, ressaltando o caráter disperso das medidas observadas. IV. Mostrar a importância de se representar dados dispersos estatisticamente na forma de histogramas. V. Calcular o valor médio e o desvio padrão. VI. Associar o resultado com a <i>radiação de fundo</i> (ambiente).
2	I. Apresentar a areia monazítica como uma fonte natural de baixo teor de radiação. II. Mostrar a alteração nos valores medidos na presença da areia monazítica comparando com o resultado obtido para a radiação ambiente. III. Calcular o valor médio e o desvio padrão. IV. Associar o resultado com a radiação emitida pela fonte.
3	I. Calcular o valor médio e o desvio padrão dos dados obtidos pelo medidor variando sua distância até a fonte. II. Mostrar que ocorre um decaimento nas medidas com o afastamento da fonte.
4	I. Calcular o valor médio e o desvio padrão dos dados obtidos pelo medidor na presença de diferentes absorvedores. II. Comparar os valores obtidos sem a presença dos absorvedores. III. Analisar as partículas que são filtradas por diferentes absorvedores.
5	I. Calcular o valor médio e o desvio padrão dos dados obtidos pelo medidor na presença de um absorvedor de espessura variada. II. Constatar a Lei de Beer-Lambert.

• **Atividades extraclasse (contra turno).**

Prática	Descrição
6	I. Introduzir o conceito de radiação cósmica. II. Constatar a influência absorvedora do ar atmosférico sobre os níveis de radiação (altitude). III. Estimular a percepção do assunto no cotidiano dos alunos. IV. Calcular o valor médio e o desvio padrão dos dados obtidos pelo experimentador subindo os andares de um prédio e subindo a serra de Teresópolis e fazer uma analogia com o efeito da altitude.
7	I. Mostrar a utilidade de associar a radiação medida com a posição global através de um GPS. II. Percorrer determinada área e construir um mapa radioativo. III. Identificar possíveis fatores que influenciem a variação das medidas no mapa radioativo.

Dividimos o projeto em dois conjuntos. O primeiro, que chamamos de projeto básico, foi realizado dentro de sala de aula e vai da 1ª até a 5ª prática e tem como proposta apresentar e discutir o medidor Geiger em linhas gerais, identificando e classificando cada parte. Constitui esse conjunto de práticas a medição da **radiação de fundo** e da radiação emitida por uma **fonte radioativa** (areia monazítica) sem e com a influência de absorvedores, analisando os tipos (cobre e chumbo) e especificações. O segundo, que chamaremos de projeto avançado, foi realizado em atividades extraclasse e compreende a 6ª e a 7ª práticas e tem como proposta estimular o aluno a identificar e relacionar o assunto com o seu cotidiano. Constituem esse conjunto de práticas a medição a influência da altitude na **radiação cósmica secundária** e o mapeamento da radiação de fundo existente em determinada localidade com a utilização do GPS²².

²² Sistema de Geo-Posicionamento por Satélite que fornece a um aparelho receptor móvel a posição do mesmo, assim como informação horária, sob todas condições atmosféricas, a qualquer momento e em qualquer lugar na Terra.

6.1. Projetos básicos.

1ª Prática

Objetivos:

Comentar a estrutura da montagem experimental e fixar a ideia de que existe uma *radiação de fundo* presente em todos os locais do planeta, medindo-a através da análise gráfica do histograma de medidas.

Consideramos importante dar aos estudantes uma visão do que é a medida e como devemos tratar dados experimentais. Para isso, indicamos o livro do José Henrique Vuolo, Fundamentos da Teoria de Erros (2005), Editora Edgard Blücher Ltda, como bibliografia básica que ajudará o professor a introduzir alguns conceitos elementares sobre medida e para aqueles que queiram se reciclar e conhecer um pouco mais a fundo a questão.

Material utilizado:

Medidor Geiger.

Descrição e comentários:

Inicialmente, o medidor Geiger deve ser apresentado aos alunos explicando sua finalidade, seu princípio de funcionamento e como é feita sua montagem (esquema técnico). Assim que o medidor é ligado, são ouvidos cliques e observados dados sendo impressos no visor de LCD. Explicamos que esta experiência nos proporciona coletar contagens de radiação, onde cada pulso elétrico que foi detectado pelo detector corresponde a uma partícula detectada e o

valor oferecido no visor é a média estatística destas leituras. Com isso temos a oportunidade de discutir a fonte destes cliques e porque esses cliques posteriormente viram uma contagem de radiação. Pelo fato da estrutura do nosso aparato experimental medir eventos de colisão e ionização da matéria, as medidas encontradas não seguem um padrão de repetição. Por isso, decidimos montar um histograma como forma de representar essa dispersão de dados e extraímos seu valor médio e desvio padrão (é preciso articular com os alunos um conjunto de ideias e conceitos que fazem parte dessa experiência simples).

Tendo em vista que esse tipo de medida tem por característica a dispersão dos dados, captamos neste experimento 92 medidas durante 1min e com o auxílio do programa Origin²³ construímos o histograma abaixo (Gráfico 1). Os dados foram agrupados em classes (intervalos) automaticamente pelo software para a adequada análise de dispersão. Ressaltamos a importância do professor de Física na tarefa de capacitar os alunos em analisar dados através de um histograma de medidas e justificar o seu uso.

²³ Copyright OriginLab Corporation.

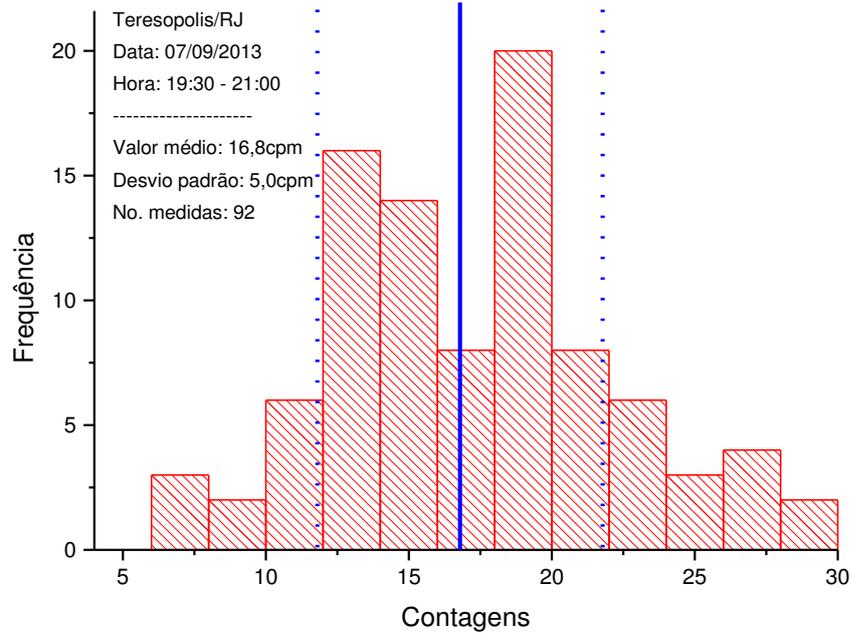


Gráfico 1 – Histograma de medidas da radiação ambiente.

Sendo o processo de medida um processo estatístico, nos interessa então encontrar para a radiação local um “valor médio” (linha cheia do gráfico) e seu desvio padrão (linhas pontilhadas indicando os limites laterais). Como resultado, o software nos fornece ($16,8 \pm 5,0$) cpm, que denominamos radiação ambiente ou radiação de fundo (*background*).

2ª Prática

Objetivos:

Determinar e medir a influência de uma fonte radioativa.

Material utilizado:

Medidor Geiger e vidro com areia monazítica.

Descrição e comentários:

Em cima da mesa do professor e com o medidor ligado aproximamos uma fonte radioativa mineral de baixo teor desejando aumentar artificialmente a leitura. Utilizamos um tubo cilíndrico de vidro (vidro de azeitonas vazio) completamente cheio de areia monazítica (mineral que possui em sua composição o elemento radioativo Tório) que fora previamente extraída da praia de Guarapari / ES. A fonte é considerada extensa quando comparamos suas dimensões com os valores envolvidos nas práticas. As medidas foram feitas com o medidor encostado no vidro e armazenadas em um intervalo de tempo de 1min e novamente importadas para o Origin para a montagem do histograma (Gráfico 2).

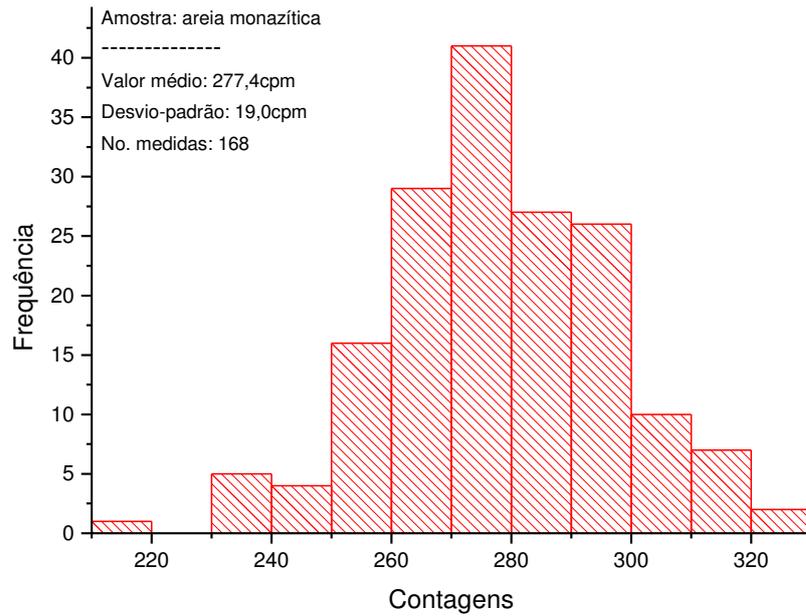


Gráfico 2 – Histograma de medidas da radiação da areia monazítica.

O valor médio encontrado para a leitura da radiação na presença da areia monazítica foi de 277,4cpm, o que significa um aumento de 260,6cpm em relação a radiação de fundo. Com isso, a radiação nas proximidades do medidor ficou 15,5 vezes maior. Experimentos deste tipo nos ajudam a medir a influência das fontes radioativas nas medidas de radiação e sua investigação em situações cotidianas.

3ª Prática

Objetivos:

Mostrar a dependência com a distância à fonte nas leituras de radiação ao afastarmos gradualmente o medidor da fonte radioativa.

Material utilizado:

Medidor Geiger, vidro com areia monazítica e régua.

Descrição e comentários:

Ainda na presença da fonte radioativa, vamos agora variar a distância entre o medidor e a fonte e verificar qual a relação existente entre o valor médio de radiação e a distância da fonte até o medidor. Para isso, afastamos radialmente o medidor 2 cm e armazenamos valores de contagens durante 1min. Em seguida, afastando o medidor mais 2 cm repetimos o processo de contagem, e assim sucessivamente, até o mesmo atingir uma distância de 20cm da fonte. Os pontos destacados no gráfico 3 representam os valores médios calculados com o respectivo desvio padrão em função de sua posição. Os histogramas das medidas encontram-se no apêndice B. A linha cheia serve apenas para guiar os olhos.

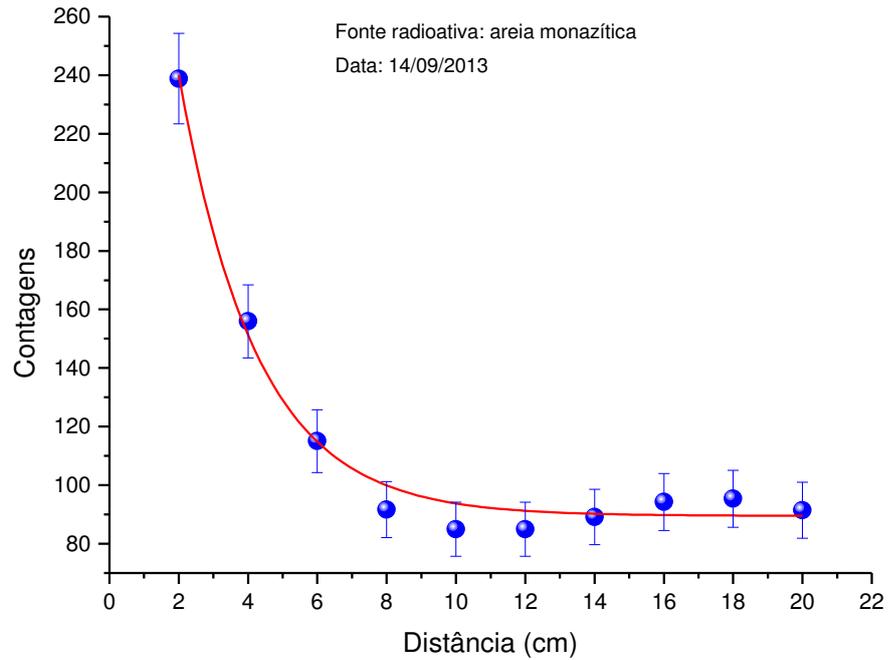


Gráfico 3 – Relação entre a leitura da radiação e a distância à fonte.

Verificamos um decaimento nas medidas até uma distância de aproximadamente 10cm, e após este valor, os valores oscilam em torno de 90cpm. Sabemos que a dependência da intensidade de radiação detectada com a distância à fonte depende de vários fatores, entre eles o fato de nossa fonte não ser pontual, a diminuição do ângulo sólido de detecção e o retroespalhamento por objetos da vizinhança. A discussão desses efeitos está além do escopo desta dissertação.

4ª Prática

Objetivos:

Observar o efeito de blindagem da radiação através do uso de variados absorvedores, especificando o poder de penetração de cada partícula envolvida.

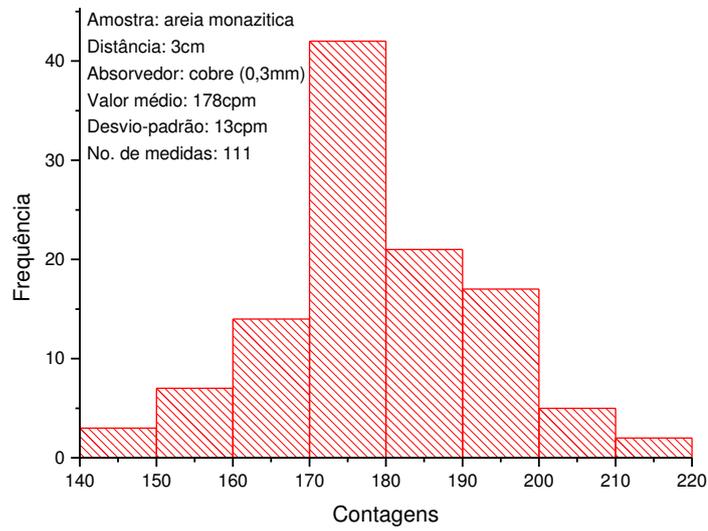
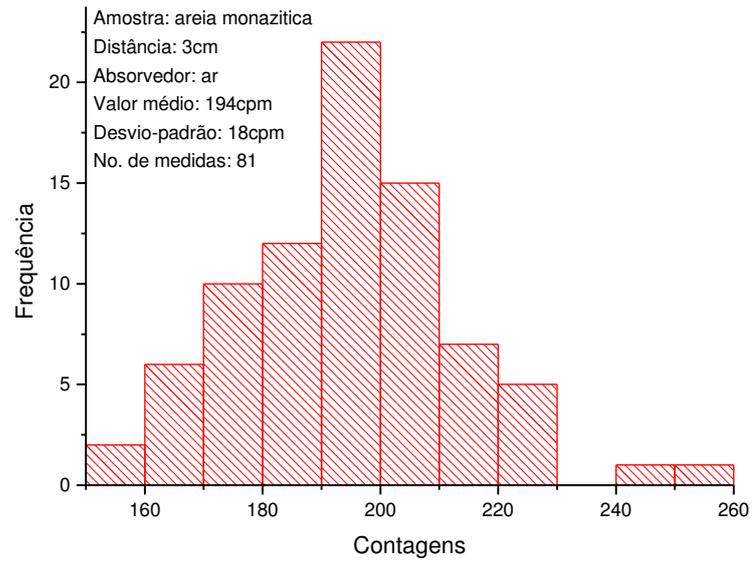
Material utilizado:

Medidor Geiger, vidro com areia monazítica e absorvedores (folha de 0,3mm de cobre e folha de 2mm de chumbo).

Descrição e comentários:

Colocamos o medidor a uma distância de 3cm da fonte radioativa e armazenamos dados durante um intervalo de tempo de 1min. Em seguida, repetimos o experimento adicionando um absorvedor, alternando entre uma folha de 0,3mm de cobre e uma folha de 2mm de chumbo.

Com isso, pudemos verificar a atenuação na presença de absorvedores através da quantidade de partículas que foram retiradas do feixe original, observando assim o efeito de interação das partículas com a matéria.



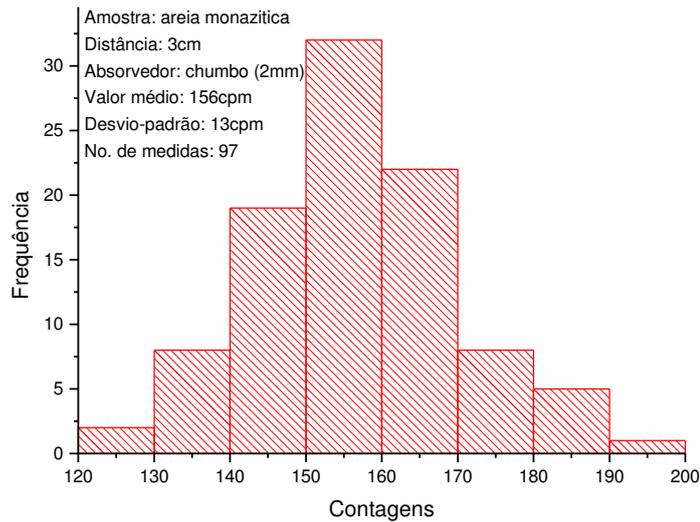


Gráfico 4 – Histograma de medidas da radiação da areia monazítica com absorvedores.

De acordo com o gráfico 5, podemos observar que o valor médio das contagens diminuiu de (194 ± 18) cpm para (178 ± 13) cpm na presença da folha de cobre e de (194 ± 18) cpm para (156 ± 13) cpm na presença da folha de chumbo, mostrando que uma folha de 2mm de chumbo é melhor absorvedora do que uma folha de 0,5mm de cobre. Contudo, não podemos afirmar com este experimento qual material é melhor absorvedor uma vez que suas espessuras são diferentes.

Essa redução nas medidas deve-se ao fato das partículas α (pouca penetrabilidade) e β serem absorvidas tanto pelo cobre como pelo chumbo – o que não ocorreu quando havia apenas ar entre a fonte e o medidor – resultando numa leitura basicamente de radiação γ . É oportuno lembrar que nas salas onde são realizados exames de Raio-X os operadores ficam atrás de biombos revestidos de chumbo a fim de evitarem riscos à sua saúde.

5ª Prática

Objetivos:

Relacionar a absorção com a espessura do absorvedor (alumínio) e verificar a aplicabilidade da Lei de Beer–Lambert²⁴.

Material utilizado:

Medidor Geiger, areia monazítica e folhas de alumínio.

Descrição e comentários:

Para uma posição fixa do medidor, aumentamos o número de folhas de alumínio e verificamos qual o efeito de atenuação. As barras destacadas no gráfico 5 representam os valores médios calculados com seus respectivos desvio padrão em função do número de folhas utilizadas. Os histogramas das medidas encontram-se no apêndice B. A linha cheia foi obtida usando-se a função pré-programada do Origin (*exponencial decay*),

$$y(\text{contagem}) = y_0 + A \cdot e^{-b \cdot x(\text{distância})}$$

que ajusta o decaimento exponencial através do método dos mínimos quadrados.

²⁴ Lei empírica que relaciona a absorção de radiação com o material atravessado por ela.

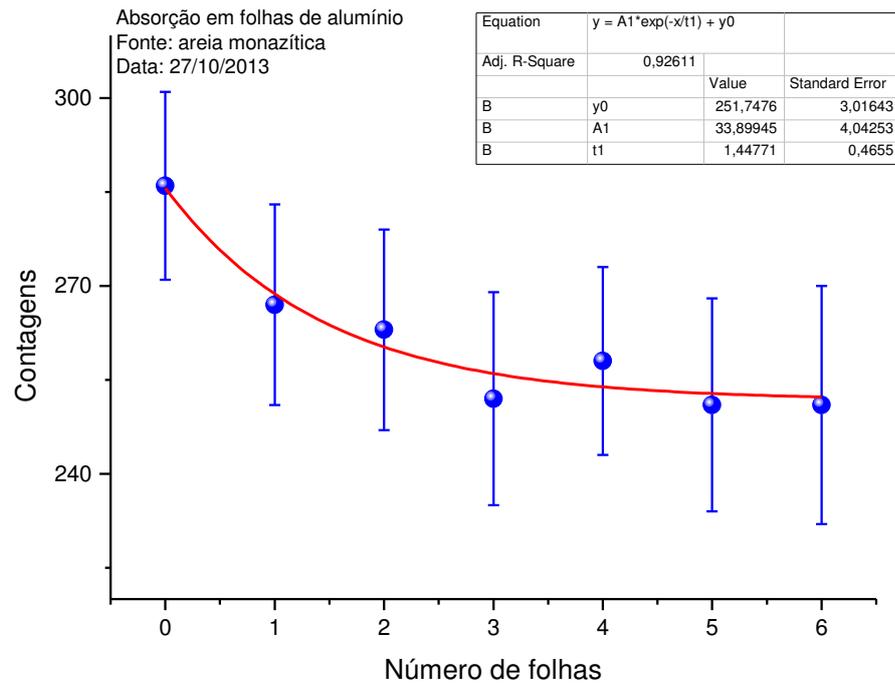


Gráfico 5 – Relação entre a leitura de radiação e o número de folhas de alumínio.

Com o aumento da espessura (número de folhas) do alumínio, verificamos que a leitura do medidor tem um decaimento aproximadamente exponencial.

6.2. Projetos avançados

6ª Prática

Objetivos:

Relacionar a radiação com a altitude e encontrar soluções satisfatórias para medir a radiação cósmica secundária (abaixo do “chuveiro cósmico”).

Material utilizado:

Medidor Geiger e GPS.

Descrição e comentários:

Fora do espaço físico da sala de aula, esta prática tem como proposta identificar a influência da altitude na radiação cósmica secundária que incide em determinada região através de 2 (dois) experimentos. Para diminuir a influência terrestre algumas soluções são conhecidas, tais como: uma espessa camada com mais de 1m de gelo²⁵ (Jones, 1993) e o uso de um balão atmosférico – ou durante um voo de avião – para medir a radiação em altitudes elevadas, distantes do solo. Como não encontramos neve na cidade do Rio de Janeiro e o uso do balão (ou voando) encareceria muito o projeto, optamos em analisar a variação das contagens. Desenvolvemos os experimentos com os respectivos objetivos:

- 1º. buscar uma analogia entre a absorção atmosférica e a quantidade de andares de um prédio;
- 2º. determinar a influência da altitude subindo a serra de Teresópolis.

²⁵ NCRP Report N. 45, Natural Background Radiation in the United States (National Council on Radiation Protection and Measurements, Washington, DC, 1975), p.63.

1º Experimento: Subindo um prédio.

Neste experimento, temos a tarefa de relacionar a absorção atmosférica da radiação cósmica secundária com o efeito de blindagem oferecido pelos andares (lajes) de um prédio. O local escolhido foi o bloco A do prédio do CT²⁶. Deixamos o medidor no 2º, 4º e 6º andares coletando dados durante um intervalo de tempo de 30min em cada andar. O valor médio e o respectivo desvio padrão para cada andar encontra-se representado no gráfico abaixo (Gráfico 7) e os histogramas das medidas no apêndice B.

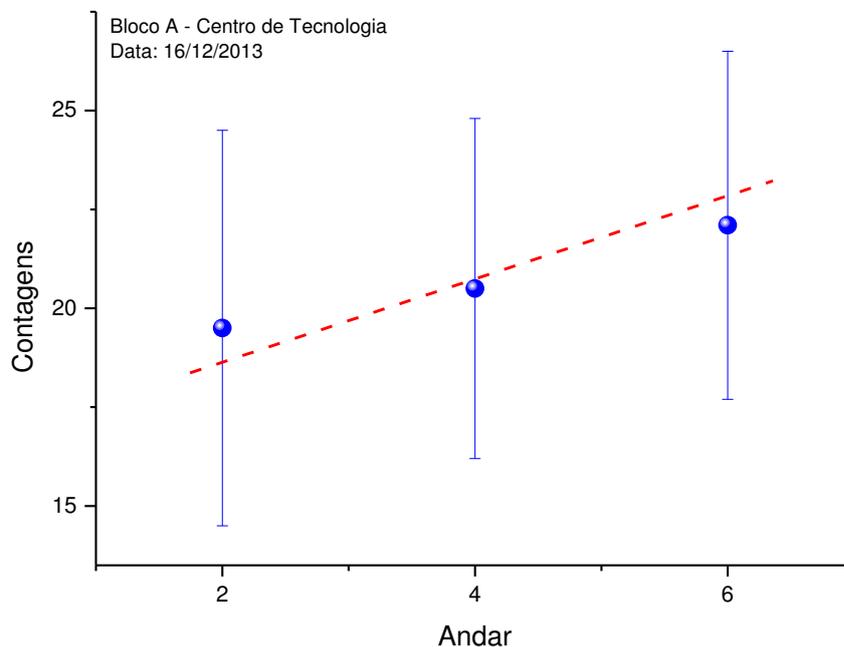


Gráfico 6 – Radiação em função do andar.

Como era de se esperar (Jones,1993), o efeito de blindagem diminui conforme subimos os andares do prédio uma vez que a quantidade de lajes de concreto acima de nós diminui, atenuando sutilmente a absorção da radiação

²⁶ Centro de Tecnologia, Cidade Universitária, Ilha do Fundão / RJ.

cósmica secundária e aumentando a radiação de fundo medida: $(19,6 \pm 5,0)$ cpm no 2º andar, $(20,5 \pm 4,3)$ cpm no 4º andar e $(22,1 \pm 4,4)$ cpm no 6º andar. Em linhas gerais, podemos relacionar a blindagem oferecida por grandes aumentos de altitude (diminuição da coluna de ar) com a diminuição da quantidade de concreto conforme subimos os andares de um prédio. Sabemos que emissões de radiação vindas das paredes (areia com tório) influenciam as medidas, mas consideramos a proposta viável na medida em que essa influência é praticamente constante. Observamos uma tendência condizente com o que é fisicamente esperado, nos encorajando a colocar como uma proposta para os estudantes. Acreditamos que medições em prédios mais altos com uma amostragem maior (maior tempo de coleta por andar) diminuiriam o desvio padrão e evidenciariam o efeito procurado. No nosso caso, verificamos uma diferença do valor médio das contagens de aproximadamente 13% entre o andar mais baixo (2º andar) e o andar mais alto (6º andar).

2º Experimento: Subindo a serra de Teresópolis.

Interessados em avaliar o quanto a variação de altitude pode influenciar nas medidas da radiação cósmica, armazenamos com um intervalo de tempo de 1min contagens na subida da serra de que liga a cidade do Rio de Janeiro (nível do mar) até a cidade de Teresópolis (1.000m de altitude) e representamos no gráfico 7.

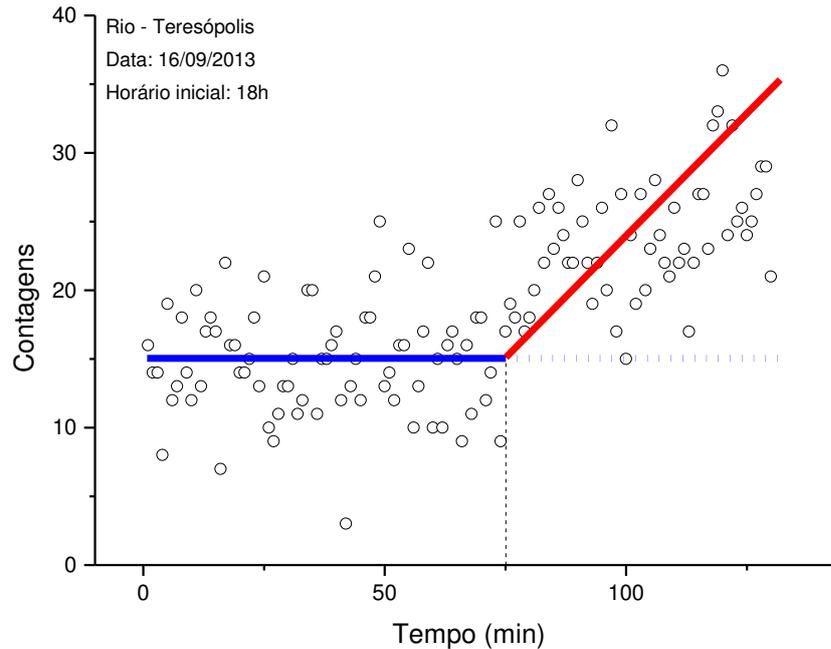


Gráfico 7 – Subida da serra de Teresópolis.

As retas (azul e vermelha) foram traçadas para nos auxiliar a perceber de que forma os dados se comportam. Até aproximadamente 75min de viagem os valores distribuem-se em torno da reta azul (15cpm). Ao iniciarmos a subida da serra de Teresópolis, observamos que os dados passam a se distribuir em torno da reta inclinada vermelha. Associamos este comportamento ao fato do aumento da altitude reduzir a absorção atmosférica, aumentando assim as contagens do medidor.

No apêndice C descrevemos alguns picos de radiação matinais anômalos encontrados em nossas medições.

7ª Prática

Objetivos:

Obter uma relação entre a radiação medida e a posição geográfica da leitura, elaborando desta forma um mapa radioativo de determinada localidade através do uso do GPS.

Material utilizado:

Medidor Geiger e GPS.

Descrição e comentários:

Nesta prática utilizaremos as informações do GPS para criar um “mapa radioativo” do bairro da Urca, Rio de Janeiro / RJ, escolhido não só pela presença do Pão de Açúcar, mas também pela conhecida presença de contaminantes radioativos (urânio) em sua composição mineral (rocha gnáissica), nos proporcionando diferentes valores de contagens.



Figura 17 – Mapa da Urca, Rio de Janeiro / RJ.

As medições foram armazenadas com um intervalo de tempo de 1min. De posse desses dados, construímos o mapa do gráfico 8.

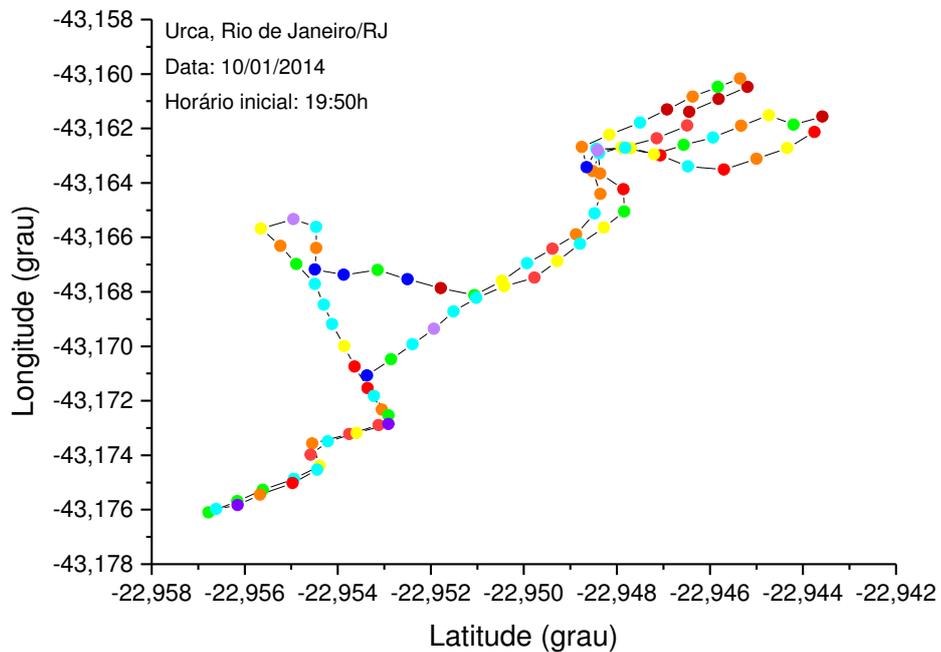
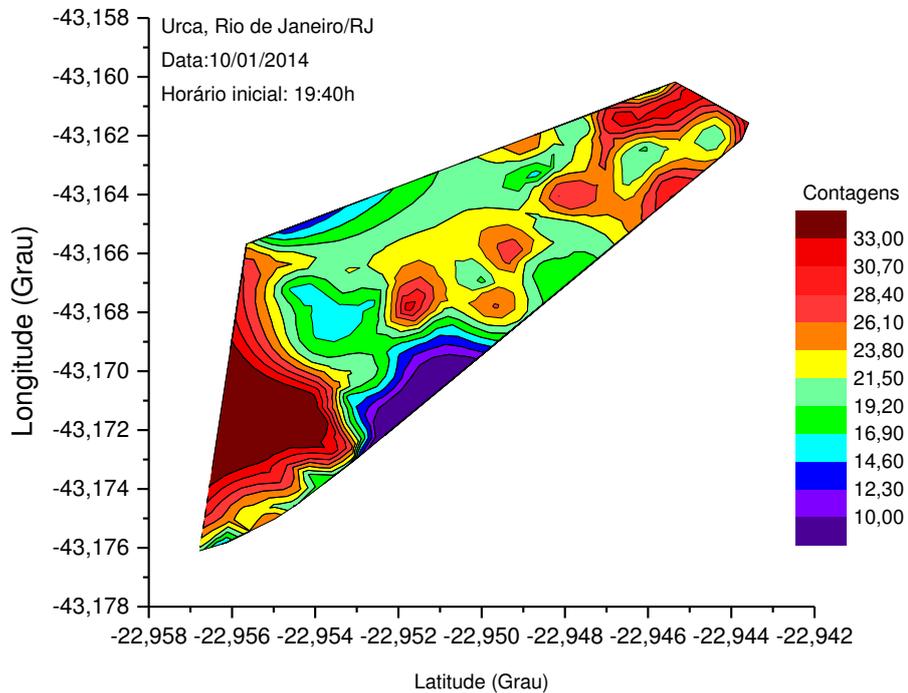


Gráfico 8 – Mapa radioativo da Urca e Trajetória percorrida, Rio de Janeiro / RJ.

Podemos observar 3 (três) picos de radiação destacados em vermelho no Mapa radioativo do gráfico 8 e assinalados no mapa da Figura 17 como região 1, 2 e 3. Comparando o Mapa radioativo da Urca com a Trajetória percorrida (Gráfico 8), verificamos que enquanto os valores foram extrapolados pelo software nas proximidades da região 1 por não terem sido percorridos, nas regiões 2 e 3 os picos coincidem com áreas percorridas. Estas regiões são próximas aos morros do Pão de Açúcar, indicando que o aumento na leitura pode ser associado, entre outros fatores, a sua formação rochosa.

Este experimento mostra que qualquer área pode ser facilmente mapeada e continuamente monitorada. Em regiões onde existe a presença de Usinas Nucleares (Angra dos Reis / RJ, por exemplo), projetos desse tipo poderiam ser implementados nas escolas públicas locais com a finalidade de formar e informar a população sobre o uso da energia nuclear.

No apêndice B, complementando a prática anterior (prática 6), construímos o mapa radioativo da subida da serra de Teresópolis.

CAPÍTULO 7. CONCLUSÕES

Inicialmente, identificamos que, apesar de estarmos constantemente em contato com diversos tipos de radiações, danosas ou não à saúde humana e a partir de diversas fontes, as abordagens midiáticas tendem a reduzi-las aos seus aspectos prejudiciais, em detrimento a informação necessária para uma melhor compreensão sobre o assunto. A partir dos levantamentos e das experiências realizadas, foi possível chegarmos a múltiplas conclusões.

A realização de uma análise sobre o potencial do ensino de Física na contribuição para a formação de uma base técnica, social e pedagógica que busque uma nova forma de pensar a técnica e sua função social, nos permite destacar o caráter indispensável da abordagem de determinados conteúdos pelo professor de Física, uma vez que esta disciplina traz uma visão particular, mesmo sobre conteúdos abordados por outras disciplinas. Assim, foi possível identificar na documentação oficial referente ao ensino de física, respaldo e apoio para a abordagem sobre a física das radiações, especialmente para o ensino médio.

A apresentação detalhada das funções do contador Geiger e de sua interação com a placa Arduino mostram que este conjunto pode se tornar uma ferramenta viável de ser adquirida e montada. É possível constatar também, que sua praticidade torna possível seu uso pelos professores. Porém, vale destacar que um projeto desta relevância demanda tempo disponibilizado pela escola, para que o professor prepare e desenvolva o projeto junto aos alunos, e motivação do grupo com o qual se está trabalhando. Envolvem, também, algumas dificuldades, como investimento financeiro, necessidade de autorização para trabalhos fora da escola, esforço de

esclarecimento junto às famílias e a escola no sentido de assegurar que, apesar de estar realizando experimentos com radiação, de forma alguma existem riscos à saúde dos participantes, entre outras.

Se, por um lado enxergamos algumas dificuldades, por outro o fato de tal projeto levar para sala de aula uma ferramenta diferente, através de metodologias inovadoras que ultrapassam os muros da escola, aproximando o ensino de física à vida real – sem que os alunos sejam obrigados a decorar fórmulas que, em geral, desestimulam os mesmos ao aprendizado –, faz com que esta seja uma forma de apoio adequada ao exercício de uma educação libertadora (na concepção de Paulo Freire) por parte dos professores de Física.

Uma vez que estes projetos exigem dos alunos competências diferentes, os mesmos induzem a possibilidade de uma abordagem interdisciplinar deste conteúdo. A abordagem por parte de professores de disciplinas como Geografia, História, Química e Matemática é essencial para uma visão holística sobre o assunto, evitando um trabalho reducionista a ponto de descontextualizarmos nossos esforços, ou amplo demais, a ponto de não entendermos as especificidades da questão trabalhada.

Ressaltamos que, em muitos casos, a precariedade do ensino das ciências experimentais pode dificultar o sucesso do trabalho, uma vez que este envolve conteúdos, como análise de dados estatísticos, que, se não forem trabalhados a priori e de forma satisfatória, inviabilizarão uma abordagem racional, inteligível e assimilável aos alunos.

Para termos uma visão um pouco mais realista de uma grandeza estatística, precisamos de uma alta amostragem dessa grandeza. Quanto maior a quantidade

de pontos medidos, menor será o desvio padrão e mais próximos estaremos de descrever a distribuição estatística principal. Sabemos da importância da análise da dispersão de dados em nossas práticas de ensino da Física das radiações, porém, o principal foco desta proposta não foi discutir esse problema. Assim, destacamos a importância da realização de novos estudos que desenvolvam outras metodologias que complementem esta que apresentamos.

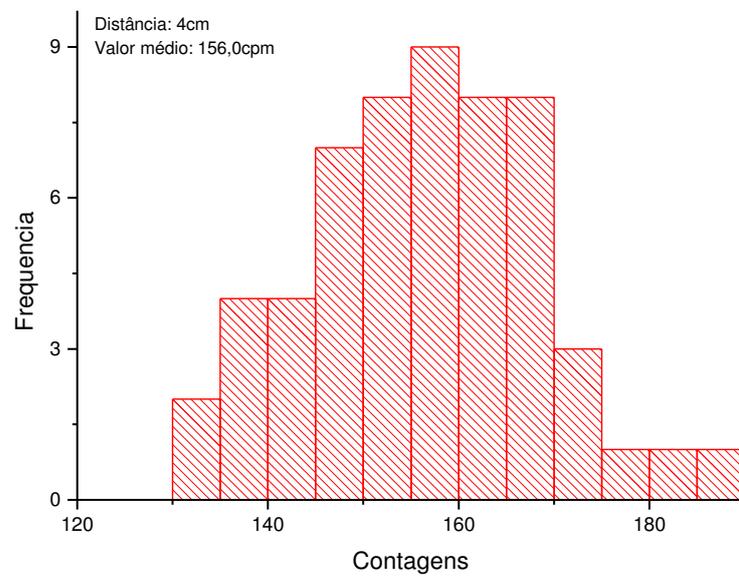
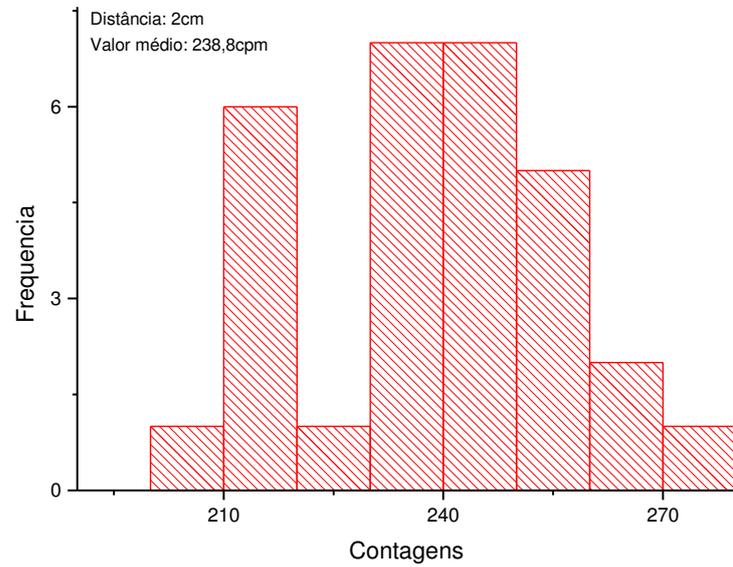
APÊNDICE A – ONDE ENCONTRAR

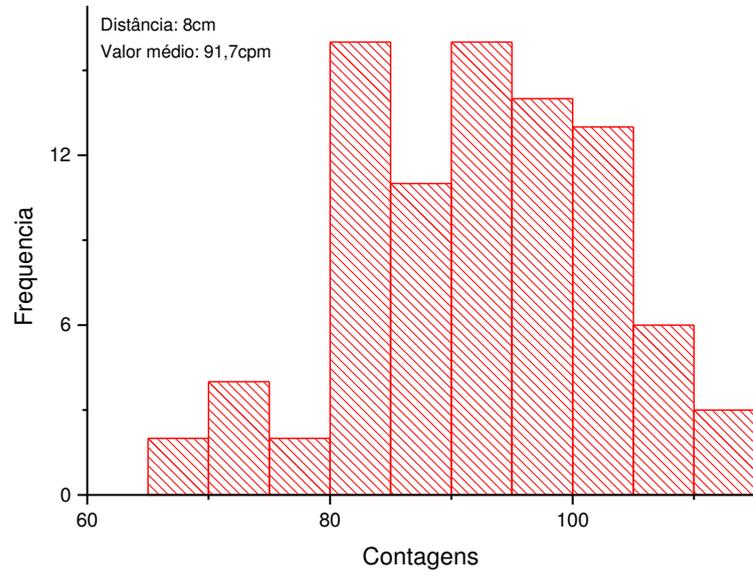
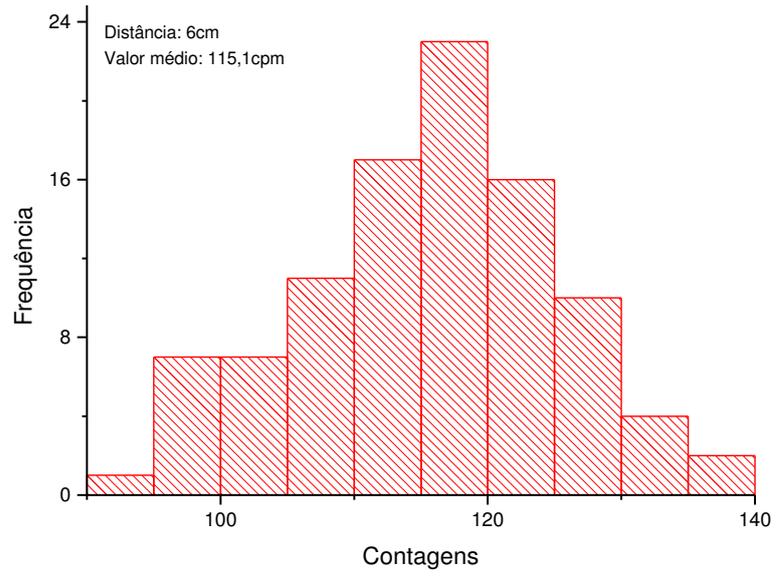
Todos os componentes necessários para a construção deste e de outros projetos encontram-se no sitio <http://arduino.cc/en/Main/Buy>.

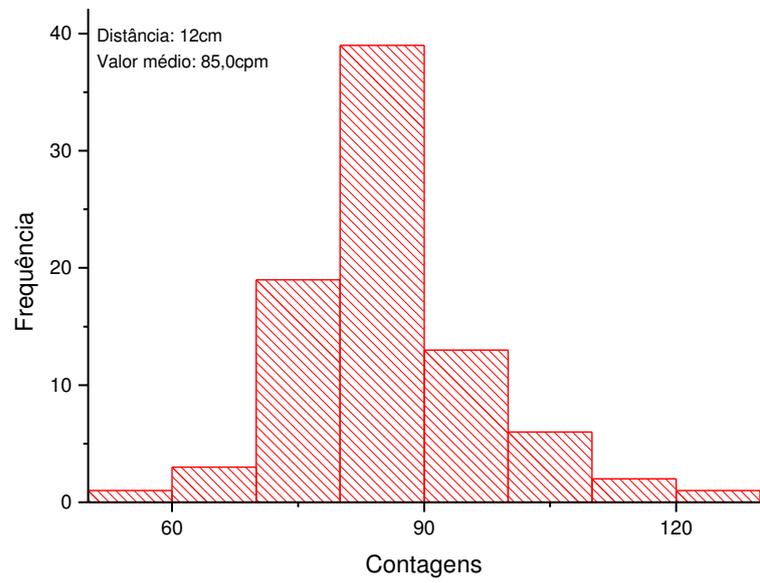
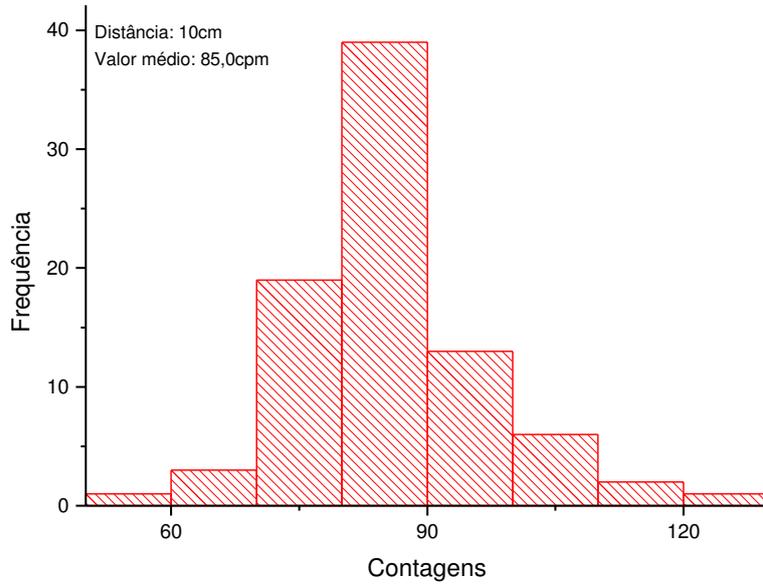
Recomendamos aos iniciantes a leitura do livro “Arduino Básico” de Michael McRoberts da editora Novatec.

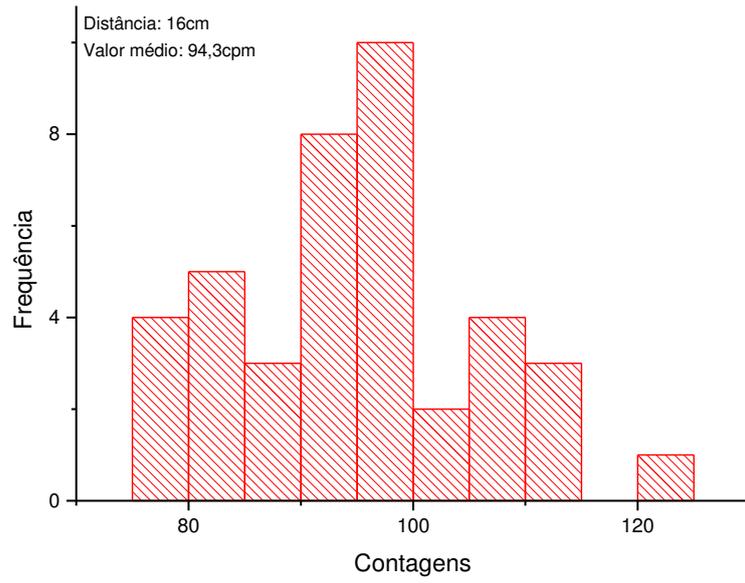
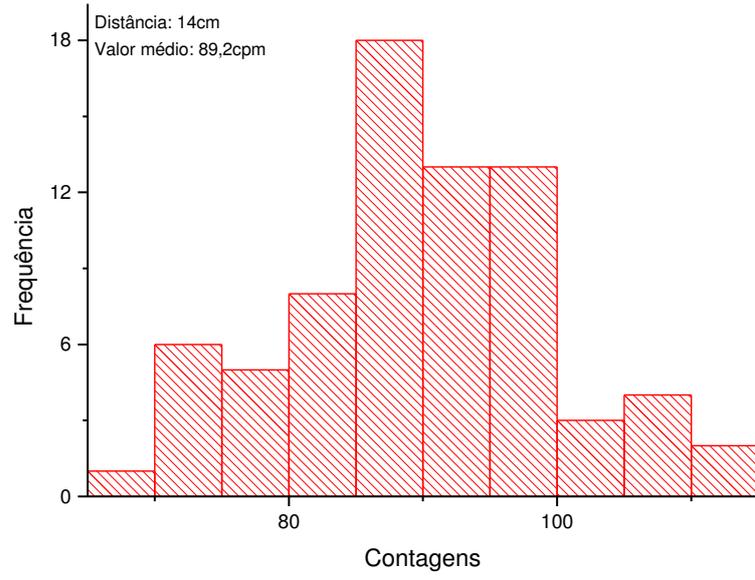
APÊNDICE B – HISTOGRAMAS E FIGURAS EXTRAS

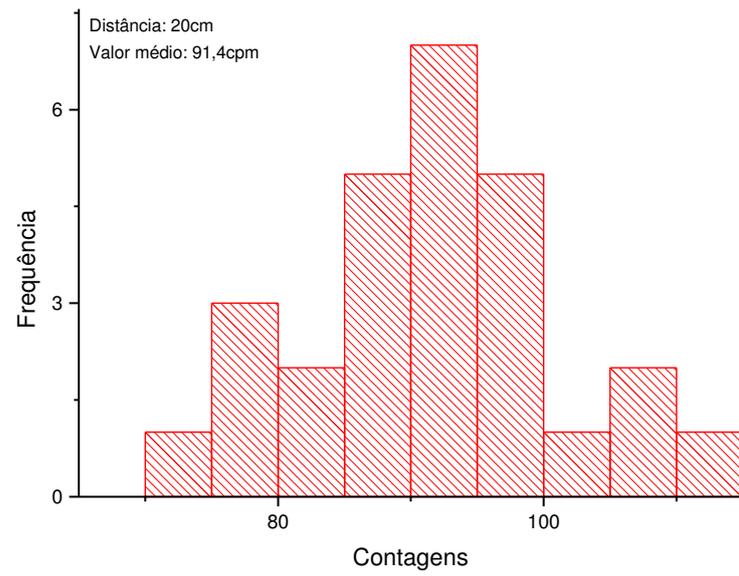
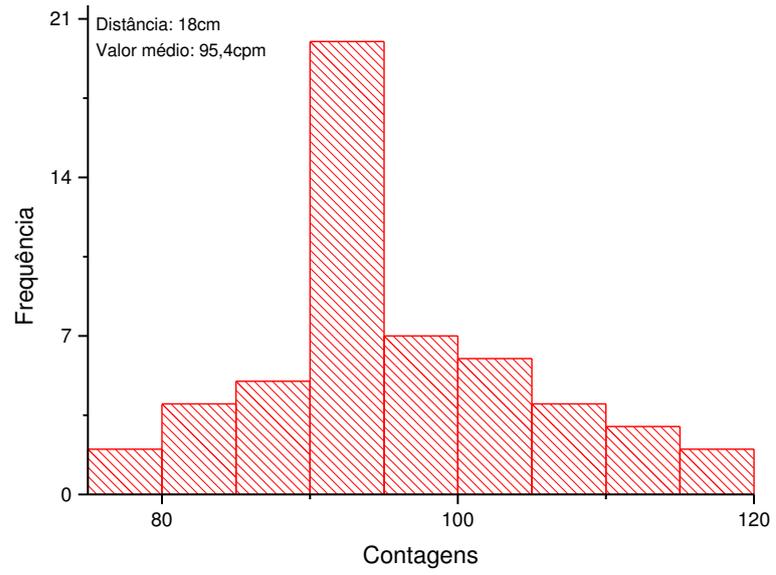
Prática 3: Histogramas para cada posição da fonte.

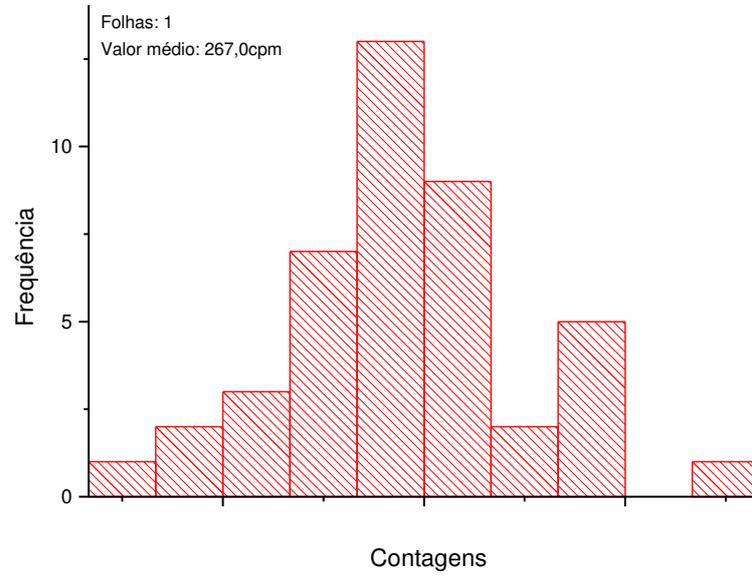
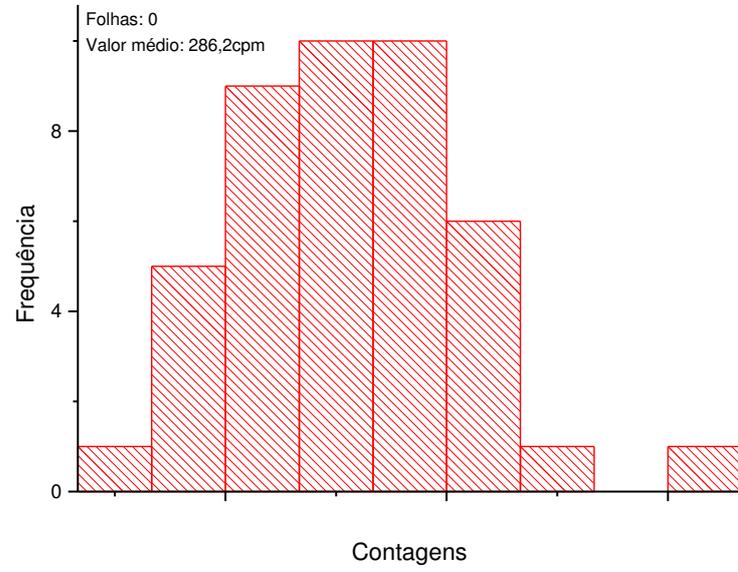


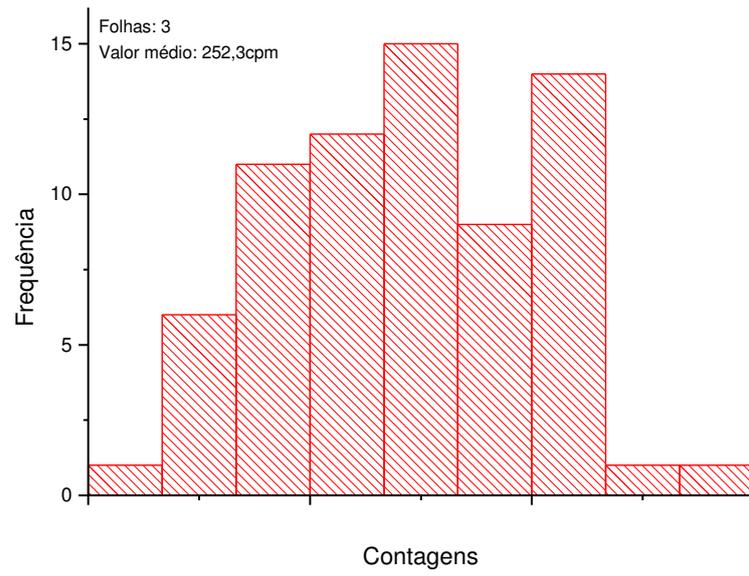
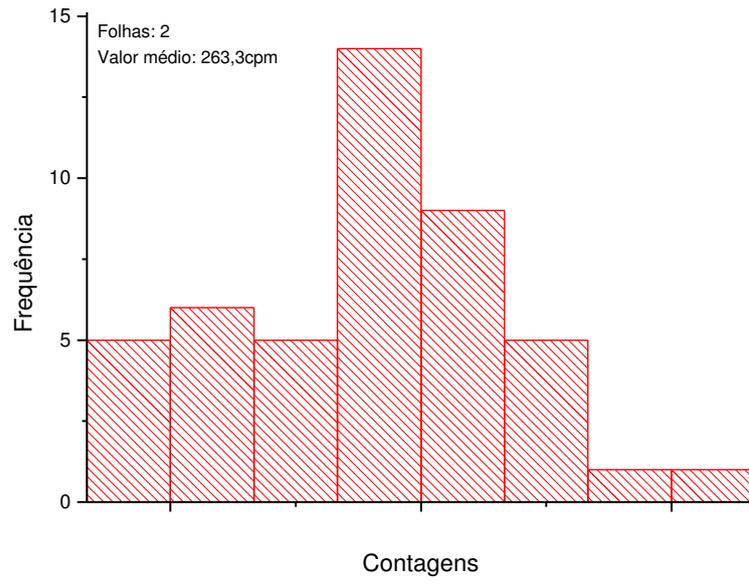


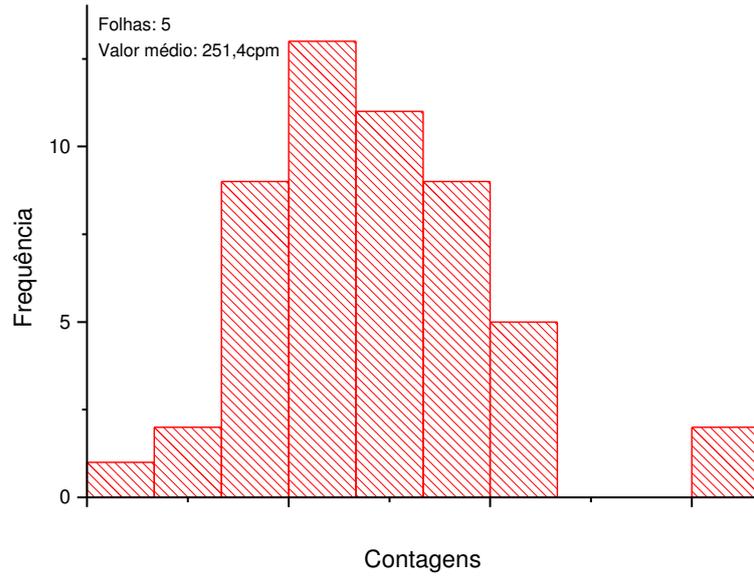
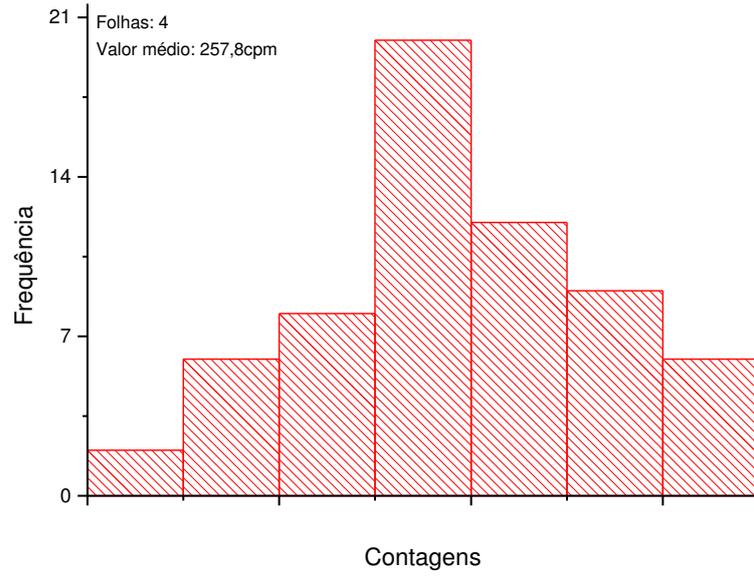


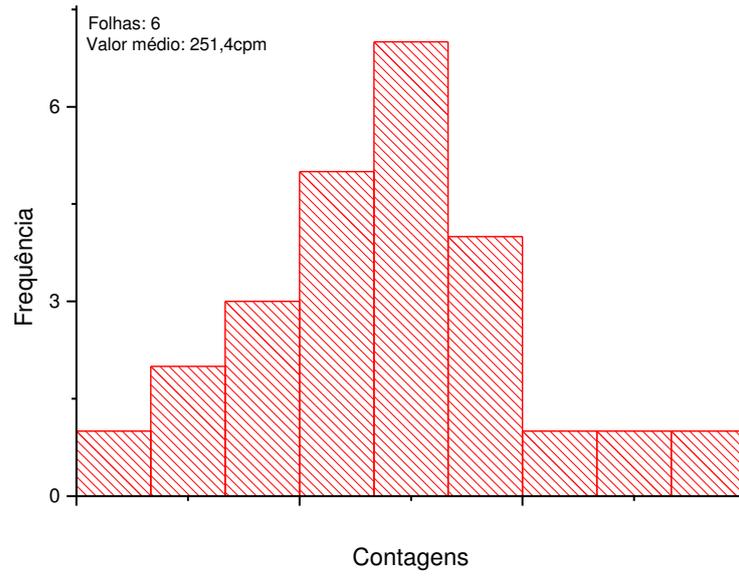


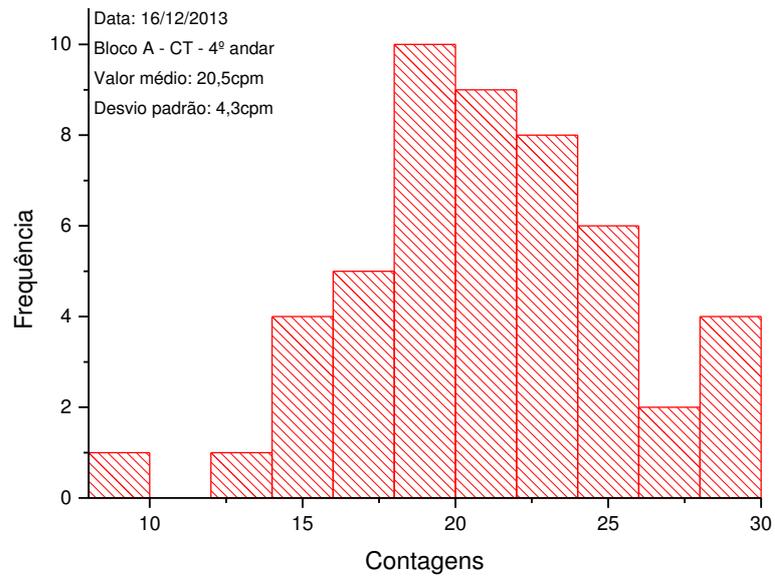
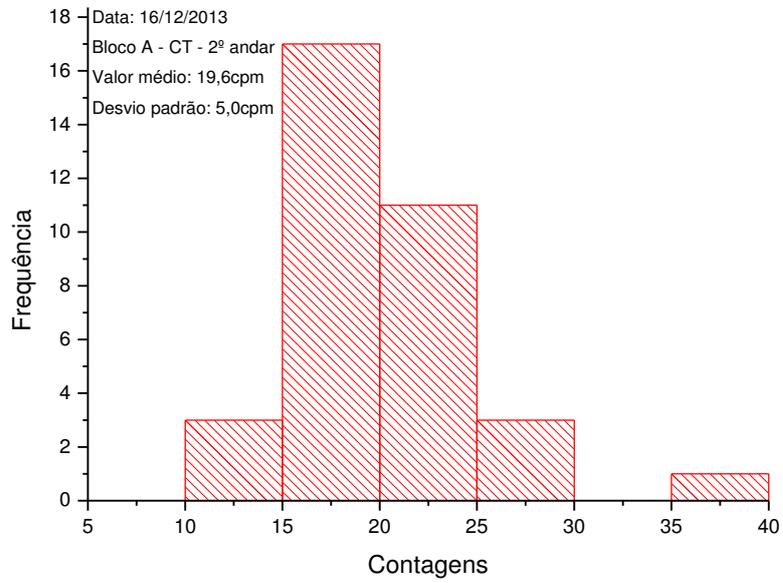


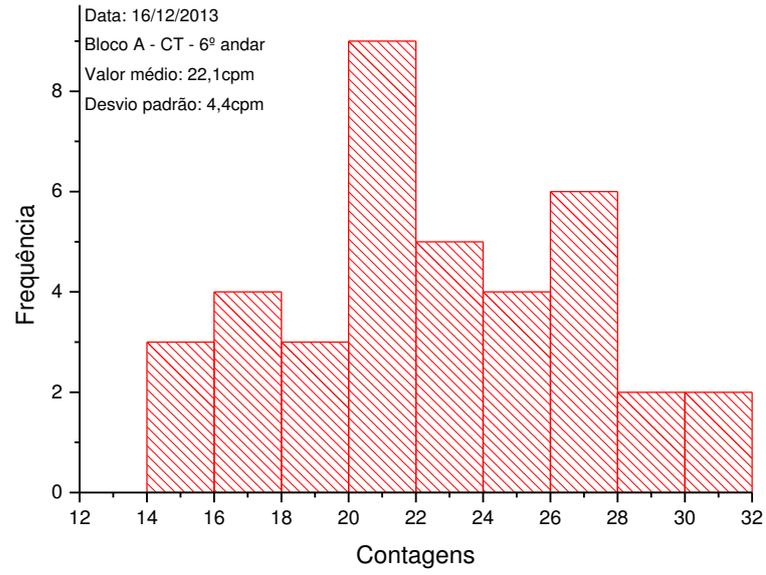
Prática 5: Histogramas para cada folha de alumínio.







Prática 6: Histogramas para cada andar do prédio.

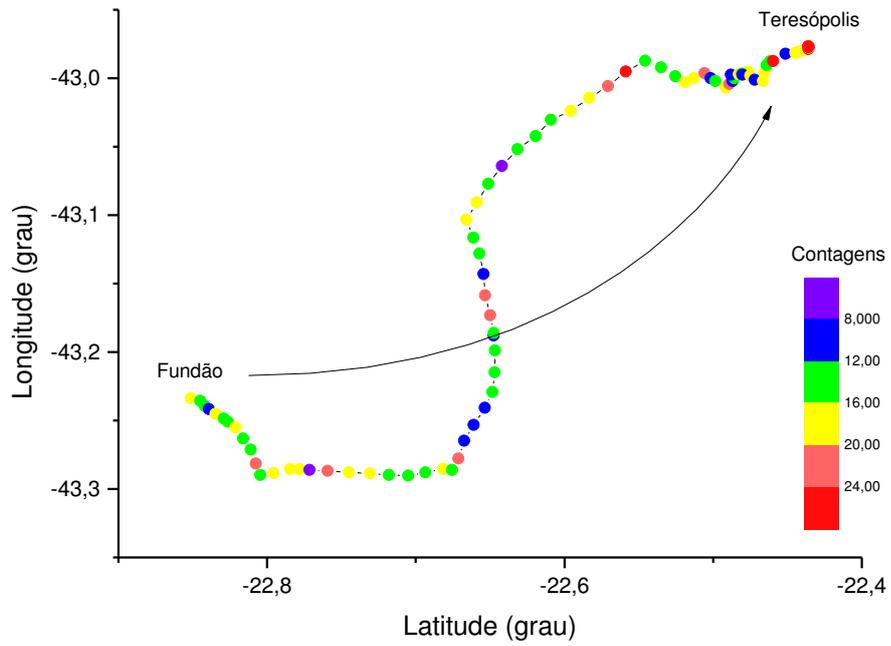
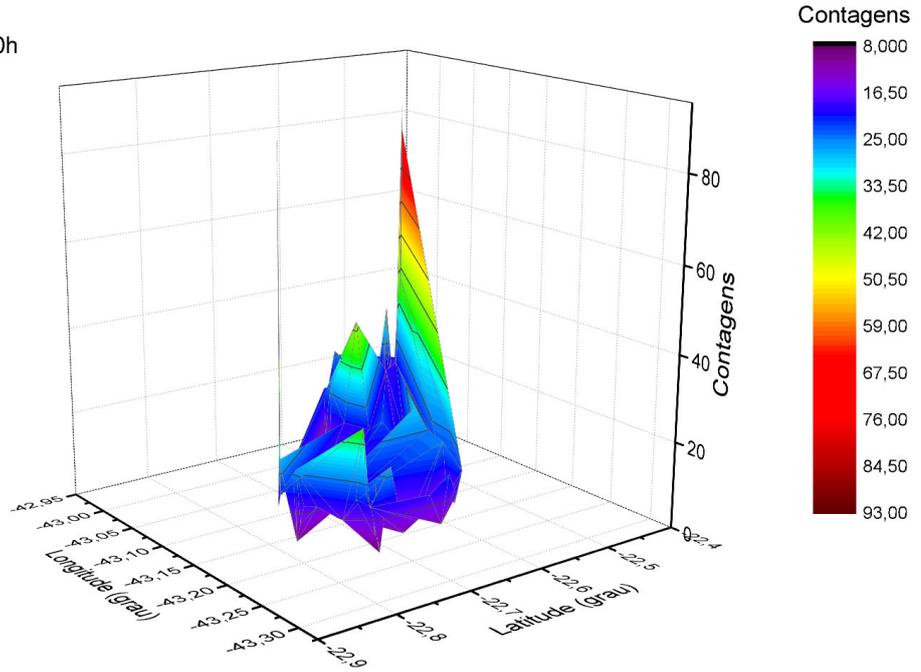


Prática 6: Mapa radioativo do trajeto Ilha do Fundão – Teresópolis.

Trajeto Ilha do Fundão - Teresópolis

Data: 16/09/2013

Horário inicial: 18:00h



APÊNDICE C – CURIOSIDADE: RADIAÇÃO MATINAL

Ao descermos de grandes altitudes a coluna de ar acima de nós aumenta (maior absorção), diminuindo desta forma os valores medidos por nosso contador. Porém, ao descermos a serra de Teresópolis (1000m de altitude) com destino à Cidade Universitária (Ilha do Fundão), por volta das sete horas da manhã, encontramos em determinado trecho de nosso trajeto um efeito anômalo: em vez de diminuir, as contagens lidas por nosso medidor aumentaram (área hachurada no gráfico abaixo).

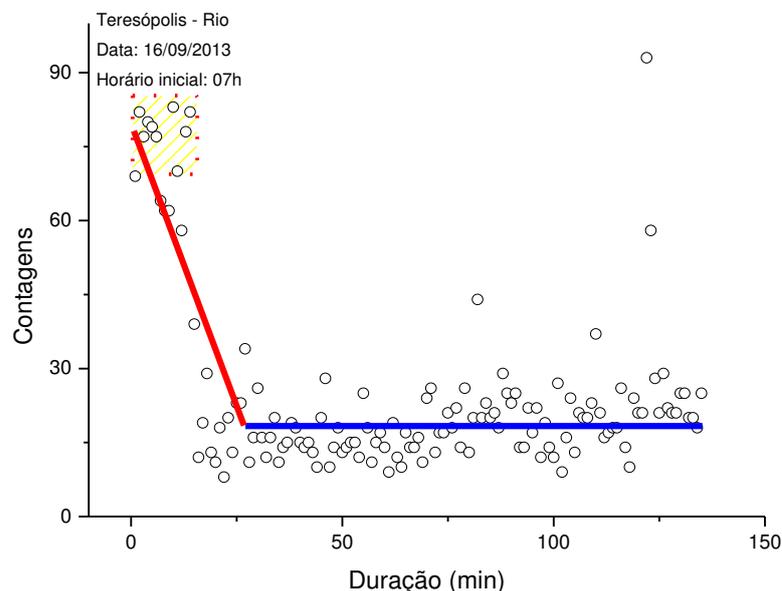


Gráfico 9 – Descida da serra de Teresópolis.

Sabedores de que muitos aspectos poderiam ter influenciado nossas medidas e que são muito comuns variações em torno do valor médio, resolvemos deixar nosso medidor armazenando contagens de um dia para o outro a fim de podermos

avaliar possíveis influências do horário ao longo de um período de 24h. Os valores medidos encontram-se representados no gráfico abaixo.

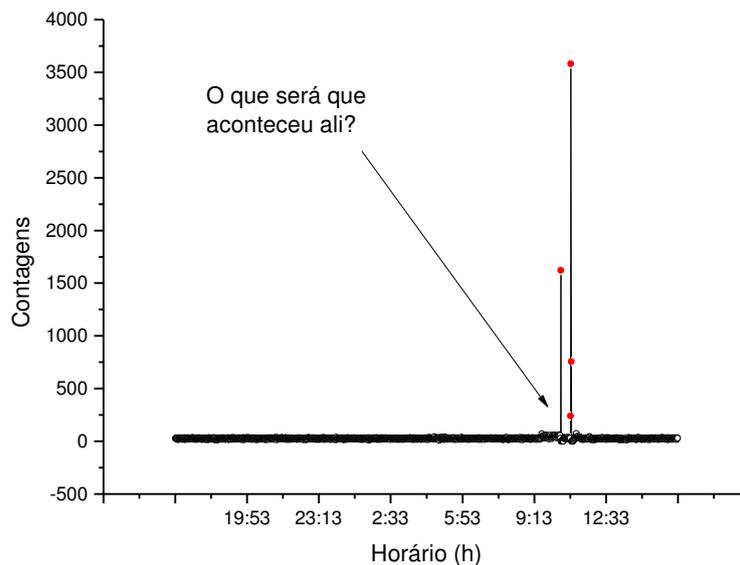
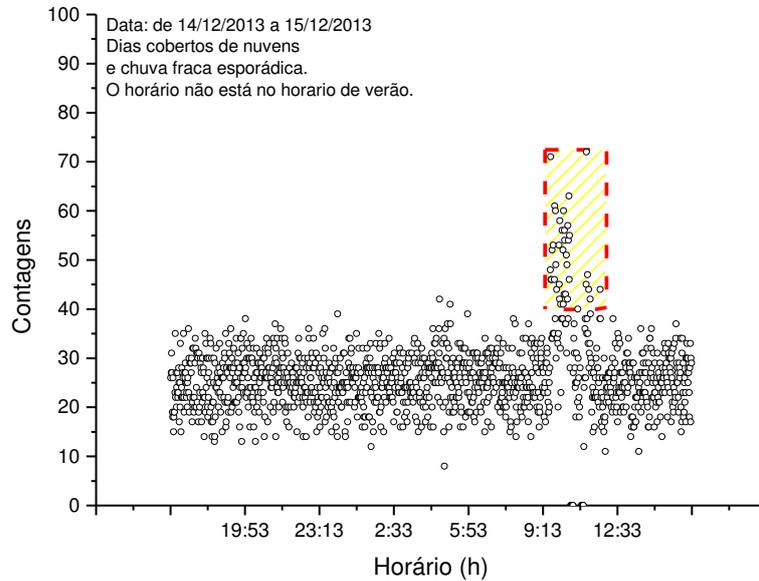


Gráfico 10 – Medidor em repouso: período de 24h.

Como podemos observar, durante um pequeno intervalo de tempo pela manhã houve um pico significativo de contagens, indicando um aumento da radiação de fundo.

Como a primeira medição (Gráfico 9) foi realizada com o medidor dentro de um veículo em movimento e a segunda (Gráfico 10) com o medidor parado na cidade de Teresópolis e a mesma anomalia foi detectada, descartamos a possibilidade da leitura ter sido influenciada por alguma formação rochosa específica.

Refizemos as medidas durante a descida da serra de Teresópolis em outro dia (Gráfico 11) e verificamos a repetição do fenômeno (destacada pela área hachurada).

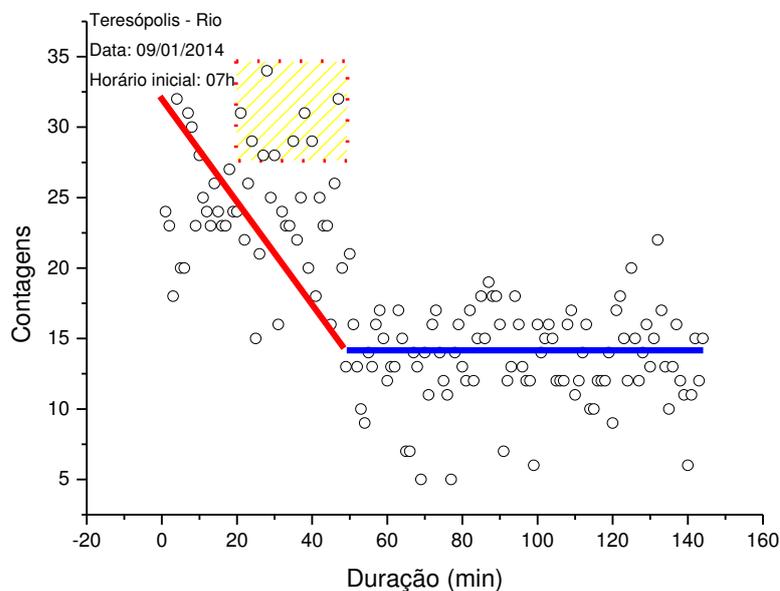


Gráfico 11 – Descida da serra de Teresópolis (2ª medição).

Consultamos o site do *Observatório de Raios Cósmicos em tempo real* da cidade do México²⁷ na expectativa de obter alguma explicação plausível (alta incidência de raios solares, por exemplo) para a leitura diferenciada nas manhãs em que realizamos nossos experimentos, mas nenhuma informação relevante foi obtida.

²⁷ <http://www.cosmicrays.unam.mx>

APÊNDICE D – FOTOS DO PROJETO



Figura 18 – Montagem areia monazítica.

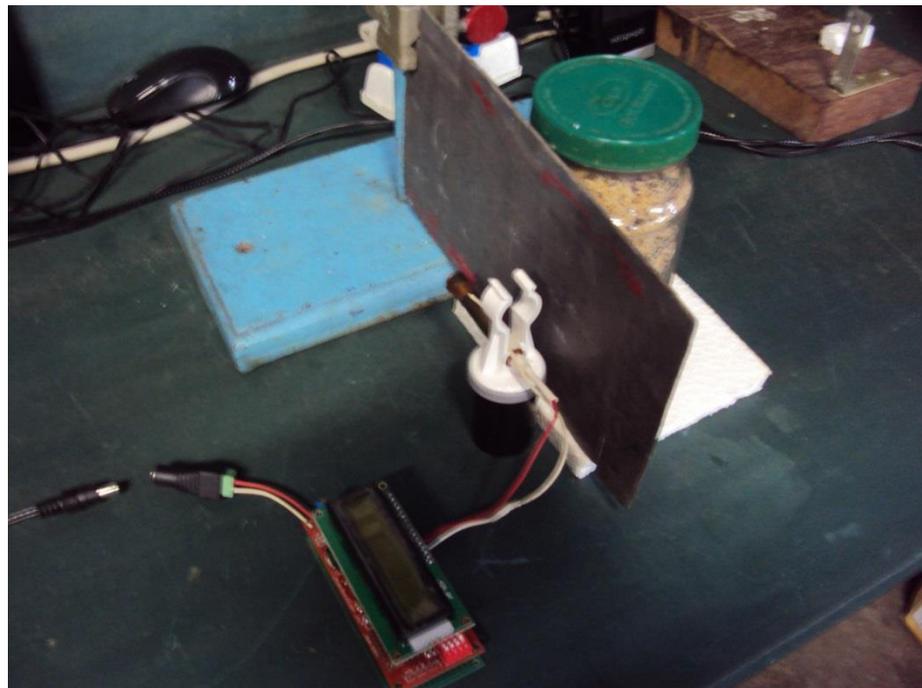


Figura 19 – Montagem folha de chumbo.



Figura 20 – Montagem leitura 24h.



Figura 21 – Montagem projeto final.

APÊNDICE E – ORIENTAÇÕES PARA O PROFESSOR

Inicialmente, ressaltamos a importância da leitura integral deste trabalho. Suas partes foram concebidas para servirem de apoio ao professor que deseja ministrar um curso de Física da radiação. No capítulo 2 abordamos alguns exemplos de fontes de radiação eletromagnética ionizante que servirão tanto como contextualização do tema, como revisão de alguns conteúdos outrora esquecidos. No capítulo 3 apresentamos algumas formas de aplicação da radiação no cotidiano. O fato deste assunto fazer parte do tema estruturador 5 contido nas PCN+ e dificilmente ser trabalhado por professores de Física no ensino médio, foi um grande motivador para este trabalho e descrevemos sua relevância no capítulo 4. No capítulo 5 apresentamos, em linhas gerais, o funcionamento de um medidor Geiger e um breve resumo do projeto da Libelium que nos serviu de inspiração para dar o pontapé inicial, incluindo a compra do equipamento com a programação adequada. Descrevemos no capítulo 6 como foi desenvolvida cada prática, desde o cronograma e seus objetivos até uma apresentação pormenorizada. Neste capítulo o professor poderá verificar a aplicabilidade e a instrumentação do assunto.

Os materiais necessários para a execução das práticas citadas neste trabalho bem como a forma de adquiri-los encontram-se listados abaixo:

- **Detector Geiger** (encontrado em <http://arduino.cc/en/Main/Buy> ou com o Sr. Arturas em <https://sites.google.com/site/diyeigercounter/home>).
- **Fonte radioativa de baixo teor** (usamos areia monazítica extraída da praia de Guarapari / ES, mas pode ser substituída por pedaços de vidro de vaselina com 0,2% de urânio encontrados em <http://arduino.cc/en/Main/Buy>).
- **Folha de papel alumínio** (encontrada em supermercado).
- **Folhas de cobre e chumbo** (encontradas em loja de material de ferragem).
- **Régua**.

Além disso, para realizar a medida na subida da serra (6ª prática) é preciso estar automobilizado, podendo ser carro ou ônibus, e para a análise dos dados e construção dos gráficos e histogramas, ter um computador com o software **Origin** instalado (pode ser obtido em <http://www.originlab.com>).

Por uma questão pedagógica, didática, recomendamos ao professor a seguinte sequência de atividades (com base na tabela 6 da dissertação):

1. Começar discutindo com seus alunos os riscos e os benefícios da radiação, promovendo um debate sobre o tema.
2. Apresentar o medidor, informando os conceitos gerais de seus componentes.
3. Realizar a primeira medição: a radiação de fundo.
4. Mostrar a dispersão de medidas e como construir um histograma, justificando assim a natureza probabilística do medidor.
5. Realizar um experimento que mostre a radioatividade natural.
6. Relacionar o decaimento das leituras do medidor com o afastamento da fonte.
7. Discutir a natureza e o poder de penetração das partículas, apresentando o alumínio, o cobre e o chumbo como absorvedores.
8. Relacionar a espessura de um absorvedor com o seu poder de absorção (Beer-Lambert) através do aumento no número de folhas de alumínio.
9. Apresentar experimentos simples sobre o tema “radiação cósmica”: (a) fazer uma analogia entre a absorção atmosférica e as lajes de um prédio (quanto maior o número de andares e o tempo de leitura melhor) e (b) avaliar o efeito da altitude ao subir de carro – ou ônibus – uma serra.
10. Mapear a radiação de fundo em uma determinada região. Escolhemos em nossa pesquisa o bairro da Urca por sabermos da influência do Pão de Açúcar, mas regiões próximas a grandes formações rochosas ou supostas fontes radioativas também servem (níveis de radiação de fundo variados).

Com isso, esperamos que este trabalho motive e inspire professores de Física a buscarem caminhos alternativos que facilitem e apoiem o estudo da Física das radiações. Acreditamos estar contribuindo para uma melhoria na formação acadêmica dos alunos na medida em que oferecemos a “fundamentação científica” necessária nas reflexões dos vários aspectos que envolvem o tema.

FONTE DAS FIGURAS

- 1 http://www.pion.sbfisica.org.br/pdc/var/eznewsletter_site/storage/images/multimedia/imagens/eletromagnetismo/espectro_eletromagnetico/24488-4-por-BR/espectro_eletromagnetico.jpg
- 2 [http://www.brasilecola.com/upload/conteudo/images/particulas-alfa\(1\).jpg](http://www.brasilecola.com/upload/conteudo/images/particulas-alfa(1).jpg)
- 3 FELTRE, Ricardo. Química, vol. 2, p. 369. Editora Moderna, São Paulo, 2004.
- 4 <http://www.proimagemraiox.com.br/images/Produtos/raiox.png>
- 5 Radiografia própria, Centro Radiológico da Unimed.
- 6 http://2.bp.blogspot.com/-l3tzQr1NT4k/T6afKvXgBnl/AAAAAAAAAHXM/WGzFAhypT_A/s1600/1.jpg
- 7 http://content-portal.istoe.com.br/istoeimagens/imagens/mi_12353581363706654.jpg
- 8 http://odia.ig.com.br/polopoly_fs/1.436034!/image/image.jpg_gen/derivatives/landscape_575/image.jpg
- 9 <http://www.brasilecola.com/upload/conteudo/images/alimentos-comumente-irradiados-simbolo-verde-que-usado-em-rotulos-para-indicar-que-foram-submetidos-radiacao-1320329924.jpg>
- 10 http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2012/10/018-023_Raios-cosmicos_200-31.jpg
- 11 http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f3/Magnetosphere_rendition.jpg
- 12 http://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/news/gallery/vab-graphic.html
- 13 <http://www.alunosonline.com.br/upload/conteudo/images/esquema-do-contador-geiger.jpg>
- 14 http://www.libelium.com/libelium-images/generico/radiation_board_490px.png
- 15 http://www.google.com/url?sa=D&q=http://www.libelium.com/wireless_sensor_networks_to_control_radiation_levels_geiger_counters&usq=AFQjCNHxz8EglsdoFjGVQTof1PoW1F8yw
- 16 <http://www.cooking-hacks.com/>
- 17 <http://maps.google.com.br>

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Érika Vieira de. **A radioatividade e suas aplicações**. USP, 2004.

BAUMAN, Zygmunt. **Globalização. As Consequências Humanas**. Ed. Zahar. Rio de Janeiro. 1999.

BLANCO, Francesco, LA ROCCA, Paola e RIGGI, Francesco. **Cosmic rays with portable Geiger counters: from sea level to airplane cruise altitudes**. European journal of physics, 30 (2009) 685-695.

BRASIL, Ministério de Educação e Cultura. LDB - Lei nº 9394/96, de 20 de dezembro de 1996. **Estabelece as diretrizes e bases da Educação Nacional**. Brasília: MEC, 1996.

BRASIL, Ministério da Educação e Cultura – Secretaria de Educação Básica. **Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio**, 2000. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>. Acesso em: 28/06/2013. (a)

BRASIL, Ministério da Educação e Cultura – Secretaria de Educação Básica. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio**, 2002. PCN+. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>. Acesso em: 28/06/2013. (b)

CAPRA, Fritjof. **Conexões Ocultas: Ciência para uma vida sustentável**. Ed. Cultrix. São Paulo, 2002.

CLOSE, F., MARTEN, M. e SUTTON, C. 1987, **The Particle Explosion** (Oxford Univ. Press, New York).

COUCH, Jack G. e VAUGHN, Kelly L. **Radioactive consumer products in the classroom**. The physics teacher, v33, janeiro, 1995.

Comissão Nacional de Energia Nuclear, **Apostilas educativas: A história da energia nuclear, Aplicações da energia nuclear, Energia nuclear, Radioatividade e Radiações ionizantes.**

FONSECA, Antonio Sergio Almeida. **Exposição crônica a radiação ionizante: realidade ou fantasia. A construção de um protocolo para avaliação.**

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da Autonomia. Saberes necessários à prática educativa.** Editora Paz e Terra. São Paulo. 25ª Ed. 1996.

HARVEY, David. **Condição Pós-Moderna. Uma pesquisa sobre as origens da mudança cultural.** Ed. Loyola. São Paulo. 22ª Ed., 2012.

International Atomic Energy Agency, **The radiological accident in Goiânia,** Vienna, 1988.

JONES, Brian. **Cosmic ray studies on skis and on campus.** The physics teacher, v31, novembro, 1993.

LAGUNA, Caio. **Estudo de raios cósmicos utilizando uma câmara de nuvens de baixo custo.** Revista brasileira de ensino de física, v33, n3, 3302, 2011.

LASTRES, Helena Maria Martins e ALBAGLI, Sarita; **Chaves para o Terceiro Milênio na Era do Conhecimento.** In Informação e globalização na era do conhecimento / Helena M. M. Lastres, Sarita Albagli (organizadoras). – Rio de Janeiro: Campus, 1999.

MEDEIROS, Rogério Fachel de. Dissertação de mestrado profissional: **Elaboração de um material de apoio didático e paradidático para o ensino de física das radiações no ensino médio e técnico.** UFRGS, 2011.

MOREIRA, João Vítor de Almeida. **Radiobiologia – efeito das radiações ionizantes na célula – e formas de protecção das radiações ionizantes.** Universidade da Beira Interior, 2011.

OKUNO, Emico. **Radiação: efeitos, riscos e benefícios.** São Paulo, Harbra, 1988.

OKUNO, Emico. **Efeitos biológicos das radiações ionizantes.** Estudos Avançados, 2013.

OLIVEIRA, Carmen Helena Carvalho. Dissertação de mestrado profissional: **A radioactividade e o ambiente no ensino secundário**. Universidade de Lisboa, 2006.

PEREIRA, Ozimar da Silva. **Raios cósmicos: introduzindo física moderna no 2º grau**. São Paulo: Instituto de Física e Faculdade de Educação – USP, 1997. Diss. maestr. Ensino de Ciências.

RÊGO, Florbela Martins. Dissertação de mestrado profissional: **As radiações no ensino**. Universidade de Lisboa, 2004.

SANTOS, Milton. **A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção**. Ed. da Universidade de São Paulo. São Paulo. 4ª Ed., 2012

SILVA, Diogo Neves Gomes da e PEREIRA, Marcus Vinicius. **Radiações ionizantes em livros didáticos do nono ano do ensino fundamental**. IFRJ/campus Maracanã e UFRJ/NUTES, 2011.

SOUZA, Anderson Ribeiro, PAIXÃO, Alexsander Corrêa, UZÊDA, Diego Dias, DIAS, Marco A., DUARTE, Sergio e AMORIM, Helio Salim. **A placa Arduino: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo PC**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v33, n1, 1702 (2011).

TEMPORAL, Waldo Fonseca, OLIVEIRA, Geraldo da Fonseca, CAMPOS, Roberta Leal Costa de e GALIZIA, Maurício Stanzione. **Radiação cósmica e vôo**. RMAB, 55 (1/2) Jan/Dez 2005.