



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE- UNICENTRO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS  
NATURAIS E MATEMÁTICA-PPGEN  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE CIÊNCIAS E  
MATEMÁTICA**



**CONSTRUÇÃO DE UM DETECTOR DE IONIZAÇÃO  
GASOSA COM MATERIAL DE BAIXO CUSTO  
PARA PRÁTICAS EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE  
FÍSICA NUCLEAR**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**CLEBER ADELAR BOFF**

**GUARAPUAVA, PR**

**2016**

**CLEBER ADELAR BOFF**

**CONSTRUÇÃO DE UM DETECTOR DE IONIZAÇÃO GASOSA COM  
MATERIAL DE BAIXO CUSTO PARA PRÁTICAS EXPERIMENTAIS NO  
ENSINO DE FÍSICA NUCLEAR**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática, área de concentração em Ensino e Aprendizagem de Ciências Naturais e Matemática, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Rodrigo Oliveira Bastos

Orientador

GUARAPUAVA, PR

2016

**CLEBER ADELAR BOFF**

**CONSTRUÇÃO DE UM DETECTOR DE IONIZAÇÃO GASOSA COM  
MATERIAL DE BAIXO CUSTO PARA PRÁTICAS EXPERIMENTAIS NO  
ENSINO DE FÍSICA NUCLEAR**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática, área de concentração em Ensino e Aprendizagem de Ciências Naturais e Matemática, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 26 de fevereiro de 2016.

Prof. Dr. Sergio de Mello Arruda – UEL

Prof. Dr. Fábio Luiz Melquiades – UEL

Prof. Dr. Rodrigo Oliveira Bastos – UNICENTRO

Orientador

GUARAPUAVA, PR

2016

Catálogo na Publicação  
Biblioteca Central da Unicentro, Campus Cedeteg

B673c Boff, Cleber Adelar  
Construção de um detector de ionização gasosa com material de baixo custo para práticas experimentais no ensino de física nuclear / Cleber Adelar Boff. -- Guarapuava, 2016.  
xii, 61 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática, área de concentração em Ensino e Aprendizagem de Ciências Naturais e Matemática, 2016

Orientador: Rodrigo Oliveira Bastos  
Banca examinadora: Rodrigo Oliveira Bastos, Sergio de Mello Arruda, Fábio Luiz Melquiades

Bibliografia

1. Ciências Naturais. 2. Matemática. 3. Instrumentação nuclear. 4. Câmara de ionização. 5. Fontes radioativas. 6. Ensino de física nuclear. I. Título. II. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática.

CDD 500.7

Dedico este trabalho a:  
Minha esposa, Marcela, as minhas filhas,  
Alice e Mariana, os três amores da minha vida;  
Pela compreensão que tiveram.  
Em especial, a minha falecida mãe,  
Teresinha Iraci, que sempre me pediu para estudar;  
A meu pai, Darci pelo incentivo.  
E pela colaboração em especial do orientador  
Professor Rodrigo Oliveira Bastos.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus, pois sem Ele nada seria possível.

A meu pai e meus irmãos, que mesmo de longe sempre me apoiaram e me incentivaram.

A minha esposa e filhas pela compreensão que tiveram durante minhas viagens para Guarapuava, onde ficava fora de casa por três a quatro dias.

A meu orientador Prof. Dr. Rodrigo Oliveira Bastos, por me dar um voto de confiança e permitir desenvolver este trabalho. Por todos os conhecimentos compartilhados, pelas dúvidas sanadas, pelas cobranças, pelas conversas e acima de tudo pela amizade. Obrigado.

A meus compadres de Guarapuava, Paulo e Seleni, pelas vezes que me hospedaram em sua casa.

A minha sogra por toda ajuda prestada ao cuidar das minhas filhas durante minhas ausências.

## RESUMO

Uma das dificuldades para o Ensino de Física Moderna é a pouca difusão da experimentação, seja no Ensino Médio ou no Superior. Isso é particularmente verdade no caso da Física Nuclear. As atividades sugeridas na literatura geralmente simbolizam o fenômeno real através de simulações. Isso acontece, pois as práticas experimentais envolvem sempre algum tipo de detector de radiação de custo elevado e pelo menos uma fonte de radiação ionizante que requer cuidados especiais de manuseio e armazenagem, sendo sujeita a regulamentação altamente burocrática no Brasil. O presente trabalho supera estas dificuldades ao ensinar a construção de uma câmara de ionização de baixo custo com a qual são propostas três práticas de Física Nuclear experimental: a medida de filhos do Radônio-222, coletados do ar de ambientes fechados; a medida do alcance de partículas alfa emitidas por filhos do Tório-232, presentes em camisinhas de lampião, e por uma fonte de Amerício-241, retirada de um detector de fumaça; e a medida da meia vida do Radônio-220, coletado da emanção também de camisinhas de lampião. Os procedimentos experimentais são descritos assim como os resultados esperados. Estas práticas podem alcançar amplamente os laboratórios didáticos do Ensino Médio e Superior do Brasil. Para verificar a viabilidade da construção da câmara de ionização por parte dos professores de física em exercício, e a aplicabilidade dos experimentos didáticos, os mesmos foram apresentados a professores da rede pública de ensino e uma proposta didática foi implementada junto a alunos do segundo ano do ensino médio de uma escola particular de Guarapuava/PR. As atividades realizadas, pelos professores e pelos alunos, comprovaram que a câmara de ionização possui sensibilidade e estabilidade suficientes, e as práticas mostraram resultados satisfatórios, confirmando a exequibilidade das mesmas, além de seu potencial para servir de suporte para o desenvolvimento de práticas de ensino associadas à Física Nuclear.

**Palavras-chave:** *instrumentação nuclear, câmara de ionização, fontes radioativas, ensino de física nuclear.*

## ABSTRACT

One of the difficulties in modern physics teaching is the little widespread of experimental activities. This is particularly true for teaching nuclear physics in Brazilian high school or college. The activities suggested in the literature generally symbolize the real phenomenon, using simulations. This happens because the experimental practices mostly include some kind of expensive radiation detector and an ionizing radiation source that requires special care for handling and storage, being subject to a highly bureaucratic regulation in Brazil. This work overcomes these difficulties and propose three nuclear physics experiments using a low-cost ion chamber, which construction is explained: the measurement of Radon-222 progeny collected from the indoor air; the measurement of the range of alpha particles emitted by the Thorium-232 daughters, present in lantern mantles, and by an Americium-241 source, taken off from a smoke detector; and the measurement of Radon-220 half-life collected from the emanation of the lantern mantles. The article presents the experimental procedure and the expected results, indicating that the experiments may provide support for nuclear physics classes. These practices may outreach wide access to either college or high-school didactic laboratories. In order to verify the viability of the ion chamber construction by working teachers, and the applicability of the didactic experiments, they were presented to teachers of public schools, and a didactic proposal was implemented to second year high-school students of a private school located in Guarapuava, Paraná State, Brazil. Both, teachers and student, were capable to work on the experiments. The ion chamber proved to be sufficient sensible and stable, and the experiments executed by the teachers and students show adequate results. This confirms their practicability and their potential for the development of new teaching activities for nuclear physics.

Keywords: nuclear instrumentation, ion chamber, radiation sources, nuclear physics teaching

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de produção de pares .....	12
Figura 2 – Interação de Compton.....	13
Figura 3 – Diagrama esquemático de câmara de ionização .....	15
Figura 4 – Ilustração gráfica do primeiro produto do decaimento do Amerício-241 para o Neptúnio-237 .....	21
Figura 5 – Diagrama esquemático da câmara de ionização e circuito amplificador .....	24
Figura 6 – Materiais utilizados na construção da câmara .....	25
Figura 7 – a e b – Montando a câmara de ionização.....	25
Figura 8 – a, b, c e d – Montando a câmara de ionização .....	26
Figura 9 – Montando a câmara de ionização .....	27
Figura 10 – Montando a câmara de ionização .....	27
Figura 11 – Montando a câmara de ionização .....	28
Figura 12 – Câmara pronta, com lata isolando o circuito amplificador.....	28
Figura 13 – Câmara pronta sendo testada .....	29
Figura 14 – a e b – Cooler adaptado .....	31
Figura 15 – a, b, c e d – Prática experimental sendo preparada.....	33
Figura 16 – a, b, c, d e e – Prática experimental sendo realizada .....	34

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva de decaimento de um elemento radioativo.....	7
Gráfico 2 – Alcance da partícula alfa no ar .....	9
Gráfico 3 – Alcance da partícula beta no ar.....	10
Gráfico 4 – Curva de Bragg.....	11
Gráfico 5 – Gráfico da medida da voltagem no detector em função da distância entre o detector e a camisinha.....	41
Gráfico 6 - Gráfico da medida da voltagem no detector em função da distância entre o detector e a fonte de amerício .....	42
Gráfico 7 – Gráfico do calculo da meia vida do Rn-220 .....	43
Gráfico 8 – Gráfico do calculo da meia vida do Rn-220 .....	44
Gráfico 9 – Gráfico do alcance das partículas emitidas pela camisinha de lampião .....	45
Gráfico 10 – Gráfico do alcance das partículas emitidas pela fonte de amerício .....	45
Gráfico 11 – Gráfico do calculo da meia vida do Rn-220 .....	46
Gráfico 12 – Gráfico do alcance das partículas emitidas pela camisinha de lampião .....	46
Gráfico 13 – Gráfico do alcance das partículas emitidas pela fonte de amerício .....	47
Gráfico 14 – Gráfico do calculo da meia vida do Rn-220 .....	47
Gráfico 15 – Gráfico do alcance das partículas emitidas pela camisinha de lampião .....	52
Gráfico 16 – Gráfico do calculo da meia vida do Rn-220 .....	53
Gráfico 17 – Gráfico do calculo da meia vida do Rn-220 .....	53
Gráfico 18 – Gráfico do calculo da meia vida do Rn-220 .....	54
Gráfico 19 – Gráfico do calculo da meia vida do Rn-220 .....	54

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Implementação da proposta realizada no Colégio .....	39
Quadro 2 – Locais de coleta dos filhos de Rn-222 .....	40
Quadro 3 – Locais de coleta dos filhos de Rn-222, no colégio .....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades de decaimento da série do U-238 .....	16
Tabela 2 – Propriedades de decaimento da série do U-235 .....	17
Tabela 3 – Propriedades de decaimento da série do Th-232 .....	18
Tabela 4 – Decaimento e meia vida da família do U-238.....	19
Tabela 5 – Decaimento e meia vida da família do Th-232 .....	20

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	4
<b>2.1 Experimentos de Física no Ensino Médio</b> .....	4
<b>2.2 Fundamentos de Física Nuclear</b> .....	5
<b>2.2.1 Decaimento Radioativo</b> .....	5
<b>2.2.2 Tipos de Radiação</b> .....	7
<b>2.2.3 Interação da Radiação com a matéria</b> .....	9
<b>2.2.4 Detectores</b> .....	14
<b>2.2.5 Câmaras de ionização</b> .....	15
<b>2.2.6 Séries Radioativas</b> .....	16
<b>2.2.7 Radônio-222</b> .....	19
<b>2.2.8 Radônio-220</b> .....	21
<b>2.2.9 Amerício-241</b> .....	21
<b>3. ENCAMINHAMENTOS MEDODOLÓGICOS E ELABORAÇÃO DO PRODUTO</b> .....	23
<b>3.1 Metodologia</b> .....	23
<b>3.2 Montagem da Câmara de Ionização</b> .....	23
<b>3.3 Fontes Radioativas sugeridas</b> .....	29
<b>3.4 Propostas Experimentais</b> .....	30
<b>3.4.1 Mapeamento da concentração dos filhos do Rn-222 no ar ambiente</b>	30
<b>3.4.2 Medida do alcance das partículas alfa emitidas pela camisinha de lâmpião e pelo Amerício-241</b> .....	32
<b>3.4.3 Medida da Meia vida-vida do Rn-220 da série do Th-232</b> .....	33
<b>4. AVALIAÇÃO DO PRODUTO</b> .....	35
<b>4.1 Oficina com professores do EM (PDE)</b> .....	35
<b>4.2 Implementação da proposta pedagógica</b> .....	36
<b>5. RESULTADOS</b> .....	40
<b>5.1 Roteiros experimentais propostos</b> .....	40
<b>5.1.1 Mapeamento da concentração dos filhos do Rn-222 da série do U- 238</b> .....	40

5.1.2 Medida do alcance das partículas alfa emitidas pela camisinha de lâmpião .....	40
5.1.3 Medida do alcance das partículas alfa emitidas pelo Amerício 24142	
5.1.4 Medida da Meia vida-vida do Rn-220 da série do Th-232 .....	43
5.2 Oficina dos Professores do EM (PDE).....	44
5.3 Implementação da proposta pedagógica .....	51
5.4 Dificuldades encontradas pelo professor .....	56
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	58
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	60

## 1. INTRODUÇÃO

A introdução da Física Moderna no Ensino Médio tem sido motivo de estudos de vários pesquisadores, formulando e avaliando propostas que auxiliem na transformação da realidade escolar, visando sanar dificuldades encontradas na compreensão dos fenômenos ligados à Física Moderna.

Muitas vezes a experimentação em Física Moderna fica em segundo plano nas escolas, e entre os principais motivos está a falta de local adequado (laboratórios). A montagem de um pequeno laboratório de Física Moderna pode desempenhar uma função importante, na compreensão de conceitos complexos. De acordo com Arruda e Filho (1991).

“Um bom laboratório de Física Moderna desempenha, no ensino de Física, funções muito importantes, entre as quais poderíamos citar duas:

- ajudar na compreensão dos conceitos das teorias da Física Moderna, principalmente os relacionados com a estrutura atômica e a natureza da radiação;
- introduzir o aluno em técnicas experimentais mais sofisticadas”. (ARRUDA E FILHO, 1991, p.232).

Outro motivo para a instrumentação ficar em segundo plano é a falta de preparo dos professores associada à dificuldade em encontrar experiências de Física Moderna, de baixo custo, acarretando consequências ao processo de ensino e de aprendizagem. Sobre estas questões, Carvalho (2008), argumenta:

“Como, então, oferecer aos alunos condições para que sejam capazes de trabalhar com os conhecimentos e as tecnologias que os rodeiam em suas vidas, dentro e fora da escola? Como formar estudantes capazes de compreender informações, de tecer relações entre temas de seu interesse, de julgar prós e contras frente às situações que vivenciam e que, de uma forma ou de outra, afligem sua vida, a sociedade e o ambiente?” (CARVALHO, 2008, p.1).

A instrumentação de Física Moderna no Ensino Médio, principalmente, no ensino de Física Nuclear é uma das dificuldades encontradas. As atividades que em geral são sugeridas, se é que existe alguma, envolvem principalmente simulações computacionais, simbolizando o fenômeno real abandonando assim a instrumentação. Segundo Silva (2012) a interação no experimento virtual tende a ser solitária com o teclado e o mouse, e mesmo que a atividade seja realizada em equipe, não existem peças a serem manipuladas.

Também de acordo com Silva (2012), apesar de ser considerado um importante complemento, as atividades experimentais de Física Nuclear são de difícil acesso, sendo raramente encontradas. Além disso, as atividades experimentais de Física Nuclear utilizando radiações ionizantes têm vários inconvenientes.

A problemática é que toda prática de física nuclear envolve algum tipo de detector de radiação e uma fonte de radiação ionizante. Em geral as fontes utilizadas no ensino devem ser seladas ou devem possuir meia-vida curta e atividades que não requerem maiores cuidados referentes à proteção radiológica, pois deverão ser manipuladas pelos alunos. No caso dos detectores, devem ser acessíveis aos vários níveis de ensino e sensíveis o suficiente para medir a radiação dessas fontes.

**Nesse sentido, considerando o exposto, pergunta-se: É possível a instrumentação em Física Nuclear, utilizando material de baixo custo?**

Assim, buscando respostas a esta indagação tem-se como objetivo geral deste trabalho: propor práticas experimentais utilizando material de baixo custo, com o intuito de facilitar o ensino de Física Nuclear em todas as esferas de ensino. E especificamente a pesquisa tem como objetivos: construir uma câmara de ionização gasosa, baseada na proposta de WENZEL(2014), ligeiramente modificada; sugerir fontes radioativas de baixa intensidade ou meia vida curta, para instrumentação em ensino de Física Nuclear; elaborar um roteiro de práticas experimentais em Física Nuclear de apoio ao professor, utilizando material de baixo custo.

Para avaliar a viabilidade da proposta foi realizada uma pesquisa qualitativa com alguns professores do Projeto de Desenvolvimento Educacional - PDE, com o objetivo de analisar as possibilidades de implementação pedagógica.

Como visa desenvolver um produto, o presente estudo é de natureza aplicada, que segundo Silveira e Gerhardt (2009, p.35), “objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigida à solução de problemas específicos”. O produto é um conjunto de roteiros experimentais envolvendo a montagem de uma câmara de ionização com materiais de custo baixo e experimentos de Física Nuclear utilizando esta câmara.

Baseado na produção técnica foi elaborada uma proposta pedagógica que foi implementada em duas turmas de 2º ano do Ensino Médio de uma Escola Particular de Guarapuava, no ano de 2014.

A dissertação está estruturada em 6 capítulos distintos. O primeiro trata da introdução, onde é feita a apresentação do tema, as dificuldades gerais sobre a experimentação em Física Nuclear, o objetivo geral e os específicos.

No segundo, a fundamentação teórica é dividida em duas seções: “Experimentos de Física no Ensino Médio” e “Fundamentos de Física Nuclear”. Na primeira seção é apresentada a importância da instrumentação no Ensino de Física e a segunda seção traz alguns fundamentos pertinentes ao ensino de Física Nuclear, com o objetivo de orientar o leitor.

O capítulo três apresenta a metodologia utilizada, as fases da pesquisa, os instrumentos utilizados para a coleta dos dados, e por fim, descreve-se a oficina que foi aplicada durante a formação continuada de Professores do Ensino Médio e a implementação da prática de ensino proposta em turmas do Ensino Médio.

No quarto capítulo apresentam-se os procedimentos para montagem da câmara de ionização e a descrição das práticas. O capítulo cinco apresenta os resultados das propostas experimentais, da oficina dos professores e da implementação.

No capítulo seis apresentam-se as considerações finais e apontamentos de proposições para trabalhos futuros.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Experimentação em Física no Ensino Médio

Na busca de soluções para seus problemas, o homem, procurando atender as suas necessidades, usa o conhecimento já adquirido para produzir outros, baseando-se em experimentações para comprovar fenômenos da natureza. Desse modo, foi melhorando e ampliando os conceitos físicos e assim foi fazendo a sua própria ciência.

Segundo Terrazzan (1992) no Ensino Médio devemos formar um cidadão participativo na sociedade, curioso em busca de conhecimento, incentivado pelos meios de comunicação e capaz de compreender e intervir na realidade em que está imerso.

Neste sentido, a importância das experimentações é observada por diversos autores, que a apoiam no ensino-aprendizagem. Araújo e Abib (2003), dizem:

[...] o uso de atividades experimentais como estratégia de ensino de Física tem sido apontado por professores e alunos como uma das maneiras mais frutíferas de se minimizar as dificuldades de se aprender e de se ensinar Física de modo significativo e consistente. Nesse sentido, no campo das investigações nessa área, pesquisadores têm apontado em literatura nacional recente a importância das atividades experimentais. (ARAÚJO; ABIB, 2003, p.176).

Assim sendo, pretende-se criar as bases necessárias para uma compreensão mais abrangente e dinâmica da Física, contextualizando-a como ciência a partir de situações vividas pelos estudantes. De acordo com FREIRE (1996, p.21), o verdadeiro ensino de Física ocorrerá quando se puser em evidência os processos científicos, defendendo, em suas aulas, a necessidade dos alunos realizarem trabalhos experimentais em pequenos grupos. Essa consideração foi verificada a partir de um estudo exploratório cujo objetivo era identificar trabalhos sobre atividades práticas no Ensino de Física.

Desse modo é interessante apontar uma alternativa que possa proporcionar um ensino de física capaz de fazer a diferença na vida do aluno. Segundo a orientação dos PCN:

Espera-se que o ensino de física, na escola média contribua para formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. Para tanto, é essencial que o conhecimento físico seja explicitado como um processo histórico, objeto de contínua transformação e associado às outras formas de expressão e produção humanas. É necessário também que essa cultura em Física inclua a compreensão do conjunto de equipamentos e procedimentos

tecnológicos, do cotidiano doméstico, social e profissional. (Brasil 1999 p.229).

Acredita-se que o enriquecimento da prática pedagógica com experiências de fácil realização melhore a qualidade da didática e facilite a comunicação de conceitos físicos, até então abstratos ao aluno. E, conforme Silva (2012):

“Atividades experimentais, ainda raras em todos os níveis de ensino no Brasil, têm sido consideradas um importante complemento às aulas expositivas e ao estudo individual. Entretanto, atividades experimentais utilizando radiações ionizantes têm vários inconvenientes”. (SILVA, 2012, p. 1208)

A experimentação ocupa há alguns anos lugar de destaque no ensino escolar, especialmente com o objetivo de despertar interesse nos alunos, que por meio de atividades práticas vem obtendo melhores resultados na aprendizagem e dando significado ao ensino de Física. Como destacam Bonadiman e Nonenmacher (2007):

A atividade experimental possibilita a vivência de uma Física mais prazerosa, mais intrigante, mais desafiadora e imbuída de significados. Esses aspectos contribuem para criar uma imagem mais positiva da Física, despertando no aluno curiosidade e gosto por essa ciência. Nessas condições o aluno se sente motivado para o estudo, qualificando significativamente seu aprendizado. (BONADIMAN; NONENMACHER, 2007, p.211).

Pelo exposto, a proposta do presente trabalho visa contribuir para o desenvolvimento metodológico do tema e que tal contribuição vá além do seu caráter técnico, criando uma nova forma de pensar e ver a Física Nuclear. De acordo com os 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 nos 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”. (Brasil, 2002, p.77).

## **2.2 Fundamentos de Física Nuclear**

### **2.2.1 Decaimento Radioativo**

A síntese que se segue, foi baseada em Sears (1985).

Os processos radioativos seguem uma lei de desintegração exponencial, ou seja, o número de núcleos radioativos decresce continuamente à medida que alguns dos núcleos se

desintegram. Entretanto a taxa com que o número decresce, varia muito de núcleo para núcleo.

Seja  $N$  o número de núcleos radioativos presentes numa amostra, no instante  $t$ , e  $dN$  o número de transformações em um pequeno intervalo de tempo,  $dt$ . E como cada transformação resulta num decréscimo do número  $N$ , temos que a taxa de variação de  $N$  é  $-dN/dt$ . Assim quanto maior o número de núcleos na amostra, maior será o número de núcleos que sofrerão transformações, de modo que a taxa de variação de  $N$  é proporcional a  $N$ , que é igual a uma constante  $\lambda$  multiplicada por  $N$ . Assim,

$$dN/dt = -\lambda N. \quad \text{equação(1)}$$

Se, inicialmente, o número de núcleos radioativos de um tipo é  $N_0$ , o número de núcleos desse mesmo tipo remanescentes após um tempo  $t$  é:

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad \text{equação(2)}$$

em que  $\lambda$  é a constante de desintegração (ou constante de decaimento), característica do tipo de núcleo em questão.

O intervalo de tempo  $T$ , durante o qual metade dos núcleos radioativos de um tipo presentes numa amostra decaem, é chamado *meia vida*. A meia vida  $T_{1/2}$  de uma amostra radioativa é definida como:

$$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda = 0,6931 / \lambda \quad \text{equação(3)}$$

Metade dos núcleos originais de uma amostra radioativa, decaem num intervalo de tempo  $T_{1/2}$ , metade dos remanescentes decaem num segundo intervalo,  $T_{1/2}$  e assim por diante, de acordo com o gráfico 1.

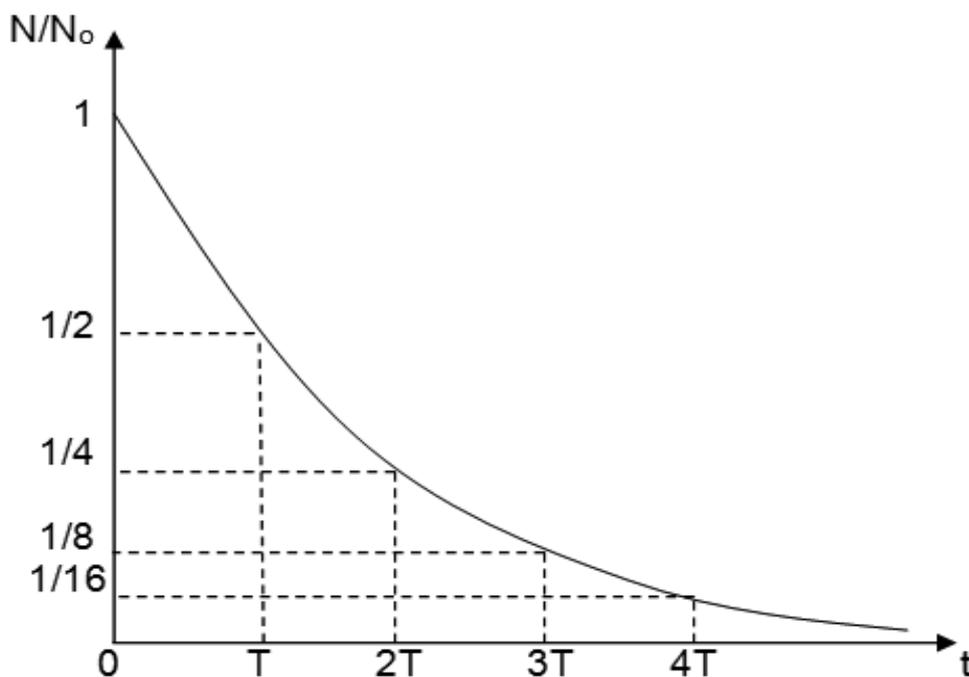


Gráfico 1 – Curva de decaimento de um elemento radioativo Fonte: Autoria própria.

Assim observa-se que o número de desintegrações é proporcional ao número de núcleos radioativos na amostra, e a atividade decresce exponencialmente com o tempo, da mesma maneira que o número  $N$ .

### 2.2.2 Tipos de Radiação

A síntese que se segue foi baseada em Eisberg (1985).

Os núcleos instáveis, frequentemente denominados de radioativos, são levados a esse estado em consequência de uma reação nuclear. Em alguns casos produzidos nos aceleradores de partículas, e em outros casos, estão ligados a fenômenos naturais que ocorreram a bilhões de anos.

Um sistema que contém certo número de núcleons em um estado de maior energia sofre o chamado decaimento radioativo, com objetivo de atingir a estabilidade.

Um deles é o decaimento  $\alpha$  (alfa), que ocorre em núcleos de número atômico maior que 82, onde um núcleo pai instável decai nos núcleos filhos através da emissão de uma partícula  $\alpha$ , que é um núcleo de Hélio-4,  ${}^4_2\text{He}$ .





Em muitos casos, após ocorrer um dos tipos de desintegração descritos anteriormente, o processo radioativo se completa. Em outros, o núcleo filho é formado em um de seus estados excitados, contendo, ainda, um excesso de energia.

Segundo (Cardoso 2003), geralmente, após a emissão de uma partícula  $\alpha$  ou  $\beta$ , o núcleo resultante desse processo, ainda com excesso de energia, procura estabilizar-se, emitindo esse excesso em forma de onda eletromagnética, da mesma natureza da luz, sem carga elétrica, denominada radiação gama. Em um decaimento gama, tanto o número de massa quanto o número atômico permanecem os mesmos.

### **2.2.3 Interação da Radiação com a matéria**

Uma partícula carregada, ao passar através de uma substância (alvo) pode interagir com elétrons carregados negativamente e núcleos de átomos ou moléculas carregados positivamente (CNEN, 2003). Essas partículas, à medida que penetram na matéria, sofrem colisões e interações com perda de energia até que, a uma dada espessura do material, toda energia é dissipada e a partícula, portanto, para de se deslocar.

As partículas alfas que inicialmente possuem a mesma energia, são denominadas monoenergéticas e percorrem distâncias aproximadamente iguais na matéria. O alcance médio (em centímetros) de uma partícula alfa no ar (em condições normais) com energia entre 4 a 10 MeV, pode ser dado pela seguinte equação empírica de Sorrensen e Phelp (2009):

$$\mathbf{R = 0,325E^{3/2}} \qquad \text{equação(7)}$$

Sendo **R** o alcance, em [cm] e **E** a energia da partícula alfa, em MeV.

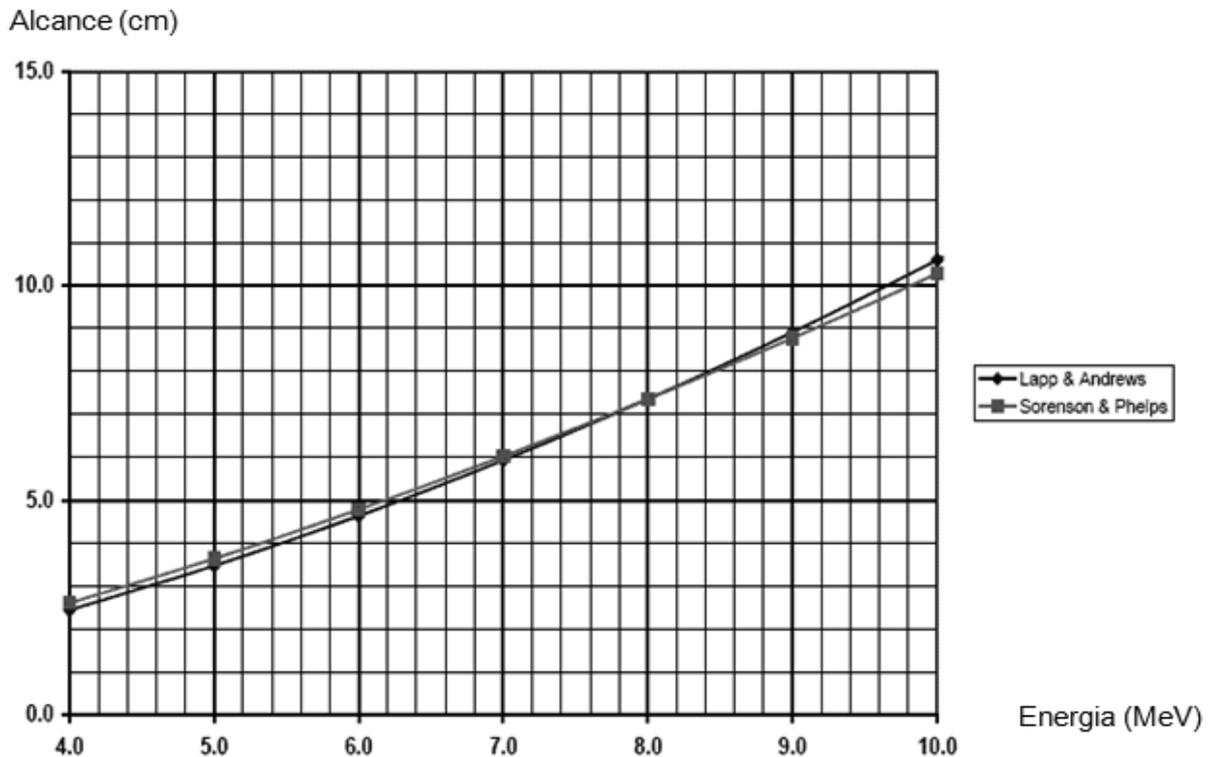


Gráfico 2 - Alcance da partícula alfa no ar. Fonte: Alpha (2009)

O gráfico apresenta o alcance da partícula alfa no ar. As partículas alfas são muito mais massivas do que os elétrons, e assim, quando eles se movem através do ar tendem a ionizar tudo. Devido a isso as partículas alfa podem iniciar a trajetória no meio, com muito mais energia do que uma partícula beta, mas eles vão desacelerar e parar muito mais rápido.

Existem alguns emissores beta com energias elevadas, mas a maior parte da energia beta emitida é menor que 1 MeV (CNEN, 2003), conforme podem ser verificadas nas tabelas 1, 2 e 3, que tratam das séries radioativas naturais. As partículas beta viajam até alguns metros no ar, e após uma longa distância as partículas terão perdido grande quantidade de energia, de modo que a sua penetração diminuirá.

Várias são as fórmulas empíricas para o cálculo do alcance das partículas beta, que são válidas somente em determinados intervalos de energia. Como exemplo, tem-se a fórmula empírica de Flammersfield (1946) descrita por Paul e Steinwedel (1955), que pode ser utilizada, para o intervalo de 0,15 a 0,8 MeV:

$$R = 0,407E^{1,38} \quad \text{equação(8)}$$

O alcance da partícula no ar é expresso em centímetros.

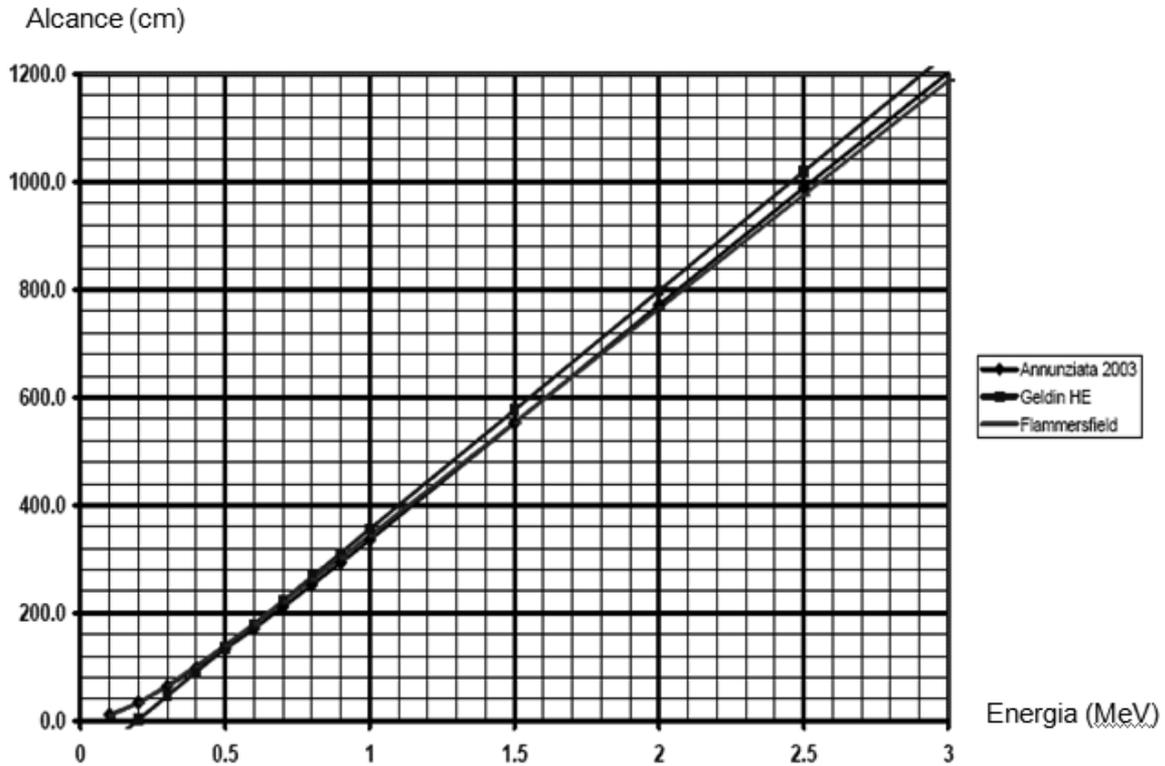


Gráfico 3 - Alcance da partícula beta no ar. Fonte: Alpha (2009)

Assim como as partículas alfa, as partículas beta também são influenciadas pelos elétrons do material pelo qual estão viajando. E seu poder de penetração é superior devido ao fato da partícula possuir massa muito inferior à da partícula alfa. Mesmo que a partícula beta possua carga (carga negativa ou positiva), ela terá maior penetração, pois é mais leve e terá menor perda de energia.

Segundo Leo (1997), uma vez que a perda de energia da partícula alfa por íon formado é quase constante, a ionização é proporcional à taxa da perda de energia por partículas alfa,  $dE/dx$ . O número de íons produzidos por unidade de distância é pequeno no início do percurso, aumenta para um máximo perto do final do percurso, e, em seguida, cai para zero, quando a partícula alfa torna-se muito lenta para qualquer outra ionização.

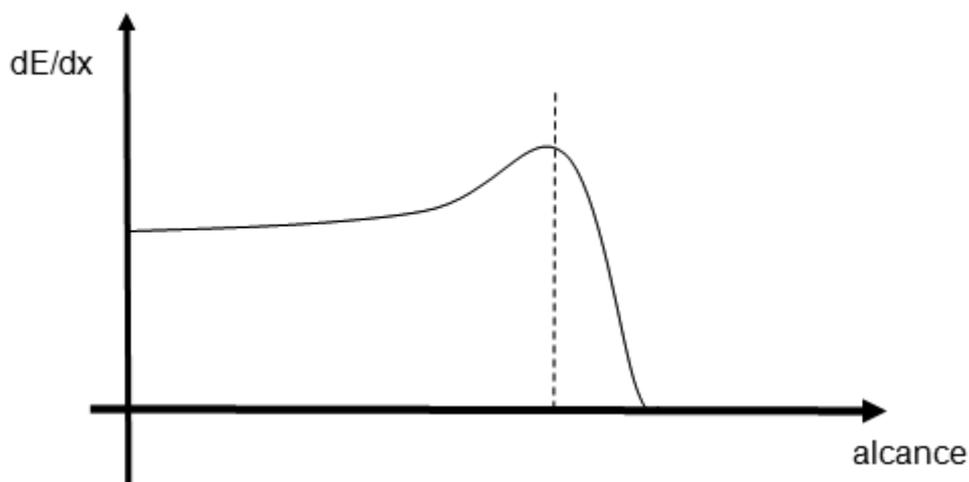


Gráfico 4 - Curva de Bragg. Fonte: Autoria própria.

O efeito é visto no gráfico 4 que mostra a quantidade de ionização criada por uma partícula como uma função da sua posição retardando-se ao longo do caminho. Isso é conhecido como curva de Bragg, que traça a perda de energia de radiações ionizantes durante a sua viagem. Como pode ser observado a maior parte da energia é perdida perto do final da trajetória e o pico mostrado ocorre porque a interação aumenta à medida que a energia da partícula carregada diminui.

Segundo CNEN (2014), “no processo de interação de partículas carregadas com a matéria, a energia é perdida em decorrência de um grande número de colisões, a maioria são com elétrons orbitais, processo esse que não ocorre na interação da radiação gama ou X com a matéria”.

A síntese do texto seguinte foi baseada em Eisberg (1985).

No caso das radiações eletromagnéticas, fótons, as interações com a matéria podem ocorrer de três maneiras: interações diretas fóton-núcleo, como a produção de pares; interações entre os fótons e os elétrons orbitais, o Efeito Compton, e as interações com elétrons fortemente ligados, como o efeito fotoelétrico.

Na produção de pares, o fóton primário desaparece e sua energia vai para a energia da massa de repouso e cinética dos pares pósitron ( $e^+$ ) e elétron ( $e^-$ ) que são criados.

Para isso acontecer, a energia do fóton deve ser maior que a energia de repouso do par, que é 1,02MeV. A energia do fóton, que excede a massa de repouso do par, será transformada em energia cinética do par criado.

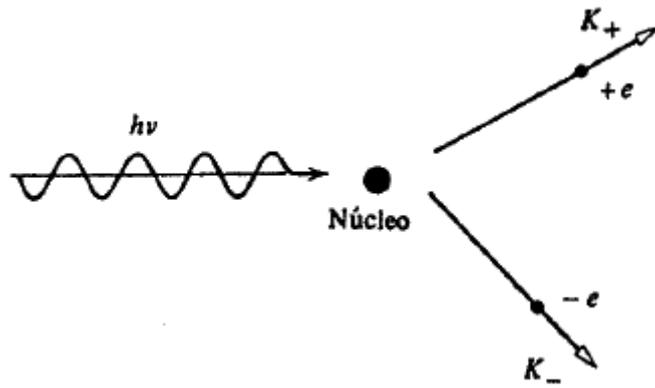


Figura 1 - Processo de produção de pares. Fonte: Eisberg (1985)

Nesta interação toda a energia do fóton é transformada num par elétron-pósitron, que vai perdendo a energia cinética adquirida via excitação e ionização. Para que o fenômeno ocorra, três grandezas devem ser conservadas: energia, carga e momento.

No efeito Compton, o fóton primário pode interagir com qualquer um dos elétrons orbitais. Os elétrons são considerados livres pelo fato da energia do fóton primário ser extremamente elevada quando comparada com a energia do elétron ligado. A energia do fóton primário é compartilhada entre o recuo do elétron e o fóton secundário.

Simplificando o efeito como uma colisão de duas partículas, e aplicando a lei de conservação de momento e de energia de colisão de um fóton com um elétron livre e em repouso, pode-se chegar à equação:

$$h\nu_c = \frac{h\nu_o}{1 + (1 - \cos\theta)h\nu_o / mc^2} \quad \text{equação (9)}$$

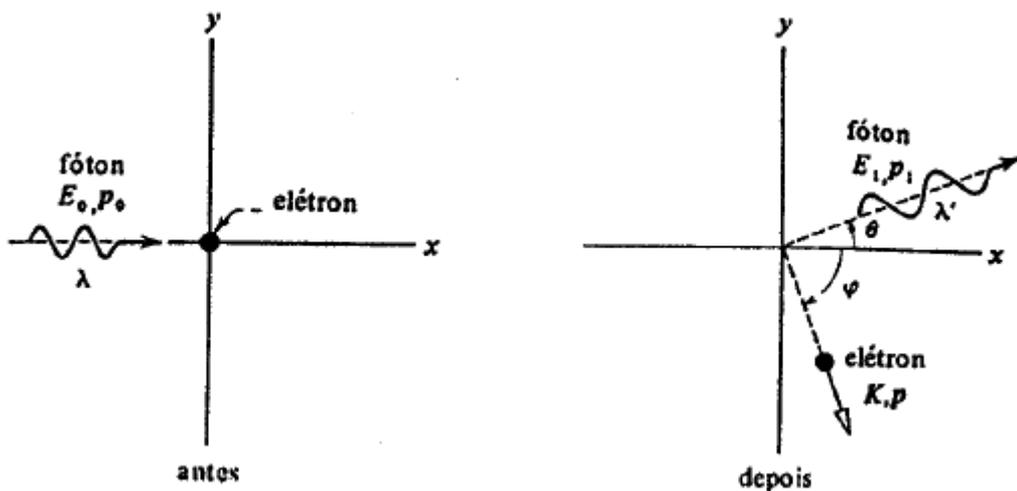


Figura 2 - Interação de Compton. Fonte: Eisberg (1985)

O espalhamento de Compton ocorre em todos os materiais e predominantemente com fótons de média-energia (entre 0.5 e 3.5 MeV). Ele é também observado com fótons de baixa energia; fótons de luz visível ou de frequências mais altas, por exemplo, junto ao efeito fotoelétrico.

No efeito fotoelétrico, um fóton de energia  $h\nu$  interage com o átomo como um todo. Sua energia é transferida a um elétron, normalmente pertencente à camada mais interna do átomo. O elétron é arremessado com uma energia cinética  $E_c$ , dada por:

$$E_c = h\nu - E_l,$$

Equação 10 – Energia cinética do elétron

onde  $E_l$  é a energia de ligação do elétron orbital.

O efeito fotoelétrico é o mecanismo predominante para fótons de baixa energia e também quando o material absorvedor tem alto número atômico.

#### **2.2.4 Detectores.**

Ribas (2011) diz que existe uma grande variedade de detectores para as mais diversas aplicações, mas todos são baseados no mesmo princípio: o depósito de parte ou toda a energia da radiação para o detector, onde é convertida em alguma outra forma mais acessível de percepção. A forma na qual a energia é convertida depende do detector. Cada detector é sensível a um tipo de radiação e energia, e pode ser totalmente inadequado para medir outro tipo.

Os detectores são projetados para serem sensíveis a qualquer tipo de radiação e a um determinado intervalo de energia, portanto é necessário que uma quantidade mínima de radiação produza um sinal que possa ser processado e que a quantidade de ionização produzida pela radiação em um detector seja proporcional à energia depositada no volume sensível.

Os detectores estão divididos em: detectores de ionização gasosa (câmaras de ionização, contadores proporcionais e Geiger Müller), os detectores de cintilação e os detectores de semicondutores. O tipo de radiação detectada, também é uma forma de distinguir os diferentes tipos de aparelho detectores. De acordo com CNEN (2003), outros fatores determinantes na escolha do detector são a facilidade de operação, facilidade e disponibilidade de manutenção e, finalmente, o custo do detector.

Este trabalho se restringirá à apresentação da câmara de ionização, uma das técnicas mais antigas e mais utilizadas na detecção de radiação ionizante. Todas elas funcionam através da ionização de um gás. Em geral, estes detectores possuem uma câmara de forma cilíndrica preenchida com gás ou gases à baixa pressão e um fio bem isolado das paredes deste cilindro entre os quais se aplica uma diferença de potencial (Figura 3).

### 2.2.5 Câmaras de ionização

Segundo CNEN (2003) uma câmara de ionização consiste de uma estrutura convenientemente montada e aberta de forma que a interação com radiação é medida diretamente no ar.

De acordo com KURAMOTO (2004), tais câmaras são utilizadas para detecção de todos os tipos de radiação, nêutrons e fragmentos de fissão. A fonte radioativa pode ser colocada dentro da câmara, fora dela ou até mesmo misturada ao gás. Apesar de serem simples quanto ao funcionamento, produzem, no entanto, pulsos ou sinais de saída muito pequenos, isto porque apenas a carga produzida é coletada, e desse modo, poderão ser confundidos com o ruído eletrônico.

Esse sinal pode ser recolhido usando um campo elétrico, que faz migrar os elétrons em direção ao ânodo, e os íons para o cátodo (figura 3). Entre os dois eletrodos é aplicada uma diferença de potencial e quando uma partícula penetra na câmara provoca a ionização do gás contido no seu interior. Os íons formados se deslocam para o eletrodo com a polaridade contrária, estabelecendo-se assim uma corrente, sendo que a carga medida em alguns casos é proporcional à energia da partícula.

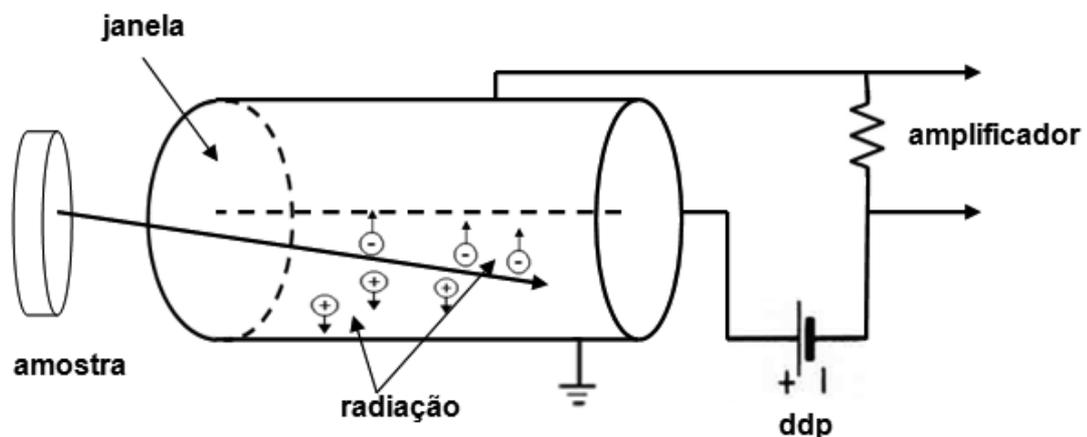


Figura 3 - Diagrama esquemático da câmara de ionização. Fonte: Autoria própria.

### 2.2.6 Séries Radioativas

Segundo CNEN (2003), elementos que mudam de forma espontânea ou "desintegram-se" são descritos como sendo "radioativos" e instáveis. Os únicos elementos naturais que apresentam esta propriedade de realizarem transmutações e emitir partículas alfa ou beta são (com poucas exceções) os de número atômico e massa, muito elevado, como o urânio, tório, rádio e actínio.

Muitas vezes um átomo radioativo de uma espécie particular não decai para um isótopo estável, mas para outro isótopo radioativo. O processo irá continuar, ou seja, sofrerá sucessivas "desintegrações" até atingir a configuração estável, ou de equilíbrio.

Existem quatro séries de desintegração, sendo três famílias radioativas naturais, conhecidas como: Série do Urânio, Série do Actínio e Série do Tório. A Série do Netúnio,  $4n + 1$ , não é encontrada na natureza e foi criada em laboratório, pois a meia-vida do isótopo de vida mais longa na série é curto em comparação com a idade da terra, que é estimada em 4600 milhões de anos. Isso leva a quatro séries de decaimento radioativo com números de massa atômica podendo ser descritos como:  $4n + 0$ ,  $4n + 1$ ,  $4n + 2$  e  $4n + 3$ ; onde  $n$  é um número natural. Das séries em que ocorrem decaimentos radioativos, o único tipo de decaimento que altera o número de massa do núcleo é a emissão alfa, que a reduz em quatro unidades.

Na série  $4n + 2$  urânio-238, por exemplo, as meias vidas variam desde  $10^{-4}$  segundos até  $10^9$  anos. A tabela 1 mostra os núcleos da série  $4n + 2$  e os correspondentes decaimentos.

Tabela 1 - Propriedades de decaimento detalhada da série do  $U^{238}$ .

Nuclídeo	energia $\alpha$ (MeV)	energia $\beta$ (MeV)	intensidade (%)	energia $\gamma$ (MeV)	intensidade (%)
$^{92}U^{238}$	4,15		23		
	4,20		77		
$^{90}Th^{234}$		0,100	7	0,093	4
		0,103	12	0,064	3,5
		0,191	81	0,030	
$^{92}U^{234}$	4,72		28		
	4,77		72		
$^{90}Th^{230}$	4,62		24		
	4,69		76		
$^{88}Ra^{226}$	4,60		5,4	0,186	4
	4,78		94,6		
$^{86}Rn^{222}$	5,49		100		
$^{84}Po^{218}$	6,00		~100		
$^{82}Pb^{214}$		0,59	~2	0,053	~1
		0,67	47	0,242	4
		0,73	44	0,295	19
		1,03	6	0,352	36
$^{83}Bi^{214}$		0,4	9	0,609	47
		1,0	23	0,665	2,3
		1,51	40	0,769	5,3
		1,88	9	0,787	1,2
		3,26	19	0,805	1,5
				0,935	3,3
				1,12	16
				1,155	1,8
				1,26	7,7
				1,40	8,8
				1,51	2,4
				1,66	1,2
				1,73	3,2
				1,76	17
				1,85	2,3
				2,12	1,3
				2,20	6
				2,44	2
$^{84}Po^{214}$	7,69		100		
$^{82}Pb^{210}$		0,015	81	0,047	4,1
		0,016	19		
$^{83}Bi^{210}$		1,16	100		
$^{84}Po^{210}$	5,31		100		
$^{82}Pb^{206}$					Estável

Fonte: ADAMS (1970).

E a Série do Actínio,  $4n + 3$ , têm número de massa que pode ser escrito  $A = 4n + 3$ , com  $n$  inteiro, começando com o núcleo de urânio-235 para o qual  $n = 58$ . Na realidade, inicia-se com o urânio-235 e tem esse nome, porque se pensava que ela começava pelo actínio-227. A tabela 2 mostra os núcleos da série  $4n + 3$  e os correspondentes decaimentos.

Tabela 2 - Propriedades de decaimento detalhada da série do  $U^{235}$ .

Nuclídeo	energia $\alpha$ (MeV)	energia $\beta$ (MeV)	intensidade (%)	energia $\gamma$ (MeV)	intensidade (%)
$^{92}U^{235}$	4,40		84	0,143	11
	4,55		10,5	0,185	54
$^{90}Th^{231}$		0,134	20	0,026	12
		0,218	33	0,059	
		0,299	39	0,082	
$^{91}Pa^{231}$	4,73		11	0,290	6
	4,95		22		
	5,02		47		
	5,06		10		
$^{89}Ac^{227}$		0,046	89		
$^{90}Th^{227}$	5,71		14		
	5,76		21		
	5,98		24		
	6,04		23		
$^{88}Ra^{223}$	5,57		35	0,147	12
	5,73		63	0,270	10
$^{86}Rn^{219}$	6,42		8		
	6,55		11		
	6,82		81		
$^{84}Po^{215}$	7,38		100		
$^{82}Pb^{211}$		1,36	92		
$^{83}Bi^{211}$	6,28		16	0,351	14
	6,62		84		
$^{84}Po^{211}$	7,45		99		
$^{81}Tl^{207}$					
$^{82}Pb^{207}$			Estável		

Fonte: ADAMS (1970).

A série  $4n$  tem número de massa que pode ser escrito  $A = 4n$ , com  $n$  inteiro, começando com o núcleo de tório-232, para o qual  $n = 58$ . A tabela 3 mostra os núcleos da série  $4n$  e os correspondentes decaimentos.

Tabela 3 - Propriedades de decaimento detalhada da série do Th<sup>232</sup>.

Nuclídeo	energia $\alpha$ (MeV)	energia $\beta$ (MeV)	intensidade (%)	energia $\gamma$ (MeV)	intensidade (%)
<sup>90</sup> Th <sup>232</sup>	3,95		24	0,059	
	4,01		76		
<sup>88</sup> Ra <sup>228</sup>		0,024	30	0,010	
		0,04	70		
<sup>89</sup> Ac <sup>228</sup>		0,45	13	0,058	
		0,64	7,6	0,129	4,1
		1,11	53	0,209	1
		1,70	6,7	0,270	3
		1,85	9,6	0,328	4
<sup>90</sup> Th <sup>228</sup>		2,18	10,1	0,338	11
	5,34		28	0,084	1,6
<sup>88</sup> Ra <sup>224</sup>	5,43		71		
	5,45		6	0,241	3,7
<sup>86</sup> Rn <sup>220</sup>	5,68		94		
	6,29		100		
<sup>84</sup> Po <sup>216</sup>	6,78		100		
		0,154	5	0,115	
<sup>83</sup> Bi <sup>212</sup>		0,331	81	0,239	47
		0,569	14	0,300	3,2
	6,05		23,5	0,040	2
<sup>81</sup> Po <sup>212</sup>	6,09		9	0,727	7,1
		0,67	2,2	0,785	1,1
		0,93	1,4	1,620	1,8
		1,55	5		
		2,27	54		
<sup>81</sup> Po <sup>212</sup>	8,78		100		
<sup>81</sup> Tl <sup>208</sup>		1,04	4,6	0,277	7
		1,29	24	0,511	23
		1,52	23	0,583	86
		1,80	49	0,763	2
				0,860	12
<sup>82</sup> Pb <sup>208</sup>				2,615	100
	Estável				

Fonte: ADAMS (1970).

### 2.2.7 Radônio-222

Geralmente, materiais radioativos à nossa volta estão seguramente ligados em sólidos, como por exemplo, isótopos radioativos de urânio, tório ou rádio presos no concreto e no solo. Estes materiais radioativos decaem para elementos mais leves.

Na série do Urânio-238 um dos filhos é o radônio-222, um gás nobre radioativo. Ele é quimicamente inerte e não permanece ligado ao sólido da mesma forma que seus pais. Ele pode se difundir através do sólido e pode emanar para a atmosfera. Assim, todos aspiram um pouco de gás radônio a cada vez que se aspira o ar, mas logo em seguida o expiram, sendo baixa a probabilidade de seu decaimento no interior dos pulmões, excluindo-se quando a sua atividade no ar é relativamente alta.

Tabela 4 - Decaimento e meia vida da família do urânio-238.

Núcleo	Símbolo	Decaimento	Meia Vida
Urânio 238	$^{238}\text{U}_{92}$	$\alpha$	$4,5 \times 10^9$ anos
Tório 234	$^{234}\text{Th}_{92}$	$\beta$	24 dias
Protactínio 234	$^{234}\text{Pa}_{91}$	$\beta$	1,2 min
Urânio 234	$^{234}\text{U}_{92}$	$\alpha$	$2,5 \times 10^5$ anos
Tório 230	$^{230}\text{Th}_{90}$	$\alpha$	$8 \times 10^4$ anos
Rádio 226	$^{226}\text{Ra}_{88}$	$\alpha$	1620 anos
Radônio 222	$^{222}\text{Rn}_{86}$	$\alpha$	3,82 dias
Polônio 218	$^{218}\text{Po}_{84}$	$\alpha$	3 min
Chumbo 214	$^{214}\text{Pb}_{82}$	$\beta$	27 min
Bismuto 214	$^{214}\text{Bi}_{83}$	$\beta$	19 min
Polônio 214	$^{214}\text{Po}_{84}$	$\alpha$	$1,6 \times 10^{-4}$ s
Chumbo 210	$^{210}\text{Pb}_{82}$	$\beta$	22 anos
Bismuto 210	$^{210}\text{Bi}_{83}$	$\beta$	5 dias
Polônio 210	$^{210}\text{Po}_{84}$	$\alpha$	138 dias
Chumbo 206	$^{206}\text{Pb}_{82}$	-----	Estável

Fonte: ADAMS (1970).

A tabela 4 mostra a série radioativa do Urânio-238. Destaca-se um de seus filhos, o Radônio-222 com uma meia vida relativamente curta, quatro dias aproximadamente, que emite partículas alfa de energia 5,49 MeV, decaindo depois para elementos mais leves como o polônio e o bismuto.

O Polônio-218, de meia-vida de poucos minutos, também é emissor alfa de energia 6,0 MeV. Após o polônio decai para o Chumbo-214, de meia vida de 26,8 min emissor beta e depois para Bismuto-214, de meia vida 19,7 minutos, também emissor beta. Observa-se que o próximo elemento da série é o Polônio-214, de meia vida  $1,6 \times 10^{-4}$ s, também emissor alfa de energia 7,68 MeV.

Devido ao fato destes (Polônio-218, Chumbo-214, Bismuto-214, Polônio-214), não serem gases nobres, eles irão se ligar a alguma superfície ou pequenas partículas de poeira.

Assim, eles podem ser coletados através de um filtro e serem utilizados para medidas de radiação.

### 2.2.8 Radônio-220

Na série do tório-232 o radônio-220 é o gás nobre radioativo e emissor alfa.

O radônio-220, também chamado de torônio é produzido, neste caso pelo decaimento do rádio-224, da série do tório-232. Mas, pequenas quantidades alcançam a atmosfera antes de decair, devido a sua meia-vida de aproximadamente 55s, limitando assim a distância que o mesmo pode percorrer.

A tabela 5 mostra o tipo de decaimento e a meia vida da família do Tório-232.

Tabela 5 – Decaimento e meia vida da família do Tório-232.

Núcleo	Símbolo	Decaimento	Meia Vida
Tório 232	$^{232}\text{Th}_{90}$	$\alpha$	$1,41 \times 10^{10}$ anos
Rádio 228	$^{228}\text{Ra}_{88}$	$\beta$	6,7 anos
Actínio 228	$^{228}\text{Ac}_{89}$	$\beta$	6,13 h
Tório 228	$^{228}\text{Th}_{90}$	$\alpha$	1,91 anos
Rádio 224	$^{224}\text{Ra}_{88}$	$\alpha$	3,64 dias
Radônio 220	$^{220}\text{Rn}_{86}$	$\alpha$	55,3 s
Polônio 216	$^{216}\text{Po}_{84}$	$\alpha$	0,145 s
Chumbo 212	$^{212}\text{Pb}_{82}$	$\beta$	10,64 h
Bismuto 212	$^{212}\text{Bi}_{83}$	$\beta$	60,6 min
Polônio 212	$^{212}\text{Po}_{84}$	$\alpha$	$3,04 \times 10^{-7}$ s
Tálio 208	$^{208}\text{Tl}_{81}$	$\beta$	3,1 min
Chumbo 208	$^{208}\text{Pb}_{82}$	-----	Estável

Fonte: ADAMS (1970).

### 2.2.9 Amerício-241

De acordo com Marumo (2006), o amerício-241 é um metal artificial que não possui isótopos estáveis, pertencente a série dos actínídeos. Os actínídeos, também conhecidos por transurânicos, núcleos além do urânio, formam-se através de sucessivas capturas de nêutrons em reatores nucleares.

As fontes seladas contendo Amerício-241 são fabricadas, utilizadas e descartadas e uma das principais aplicações das fontes seladas do Amerício-241 é em detectores de fumaça (a radiação do Amerício-241 é usado para detectar a presença de fumaça ou fontes de calor), pois as partículas alfa emitidas têm curto alcance e a meia vida do Amerício é de 432 anos.

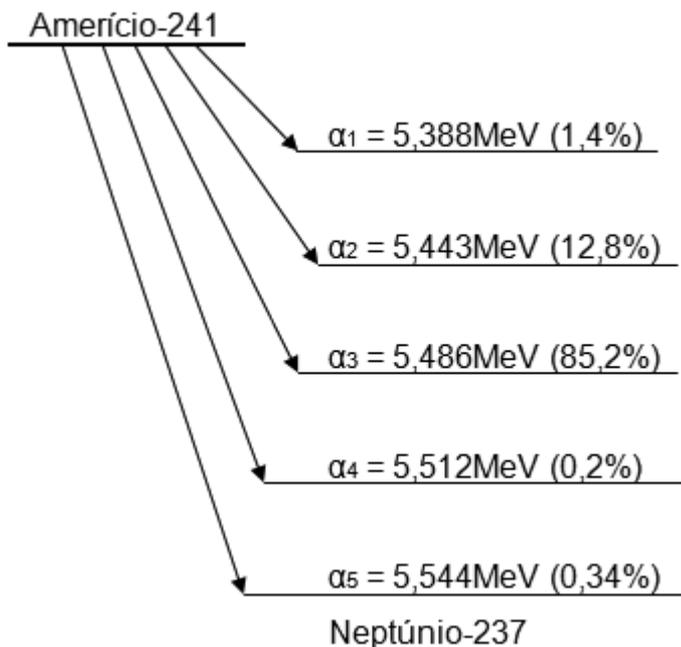


Figura 4 - Ilustração gráfica do primeiro produto do decaimento do amerício-241 para Neptúncio-237. Fonte: TEXAS (1996).

Como pode ser observado na figura 4, a energia de desintegração alfa do Amerício-241 para o Neptúncio-237 excitado, que ocorre em 85% da emissão é, de 5,45 MeV. Também pode ser observado que as demais desintegrações ocorrem com energias que variam em torno de 5,3 a 5,5 MeV.

### **3. ENCAMINHAMENTOS METODOLÓGICOS E ELABORAÇÃO DO PRODUTO**

#### **3.1 Metodologia**

Nesta seção serão apresentados os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa e elaboração do produto, e entende-se que a problemática pode ser respondida com uma abordagem qualitativa, pois permite ao pesquisador contato direto com o contexto investigado e a construção de conhecimentos a partir da compreensão e interpretação de situações comuns em sala de aula. Segundo Moreira e Rosa (2009, p 20), na pesquisa participativa não há receitas, as questões e os métodos de trabalho devem surgir dos sujeitos envolvidos e de seu contexto no dia a dia de trabalho.

Nesta perspectiva, Bogdan & Biklen (1982) apud Fell, Ximenes e Nunes (2007), afirmam que:

“As pesquisas qualitativas procuram compreender o fenômeno estudado a partir da perspectiva dos participantes, considerando todos os pontos de vista importantes para esclarecer, sob diversos aspectos interpretativos, a situação em estudo”. (FELL, XIMENES E NUNES, 2007, p. 7).

Considerando a problemática de pesquisa e as implicações práticas do conhecimento, o presente trabalho caracteriza-se também como pesquisa aplicada, tendo como finalidade o aprofundamento teórico, a aplicação em curso de formação continuada e a ampliação de estratégias de ensino, visando contribuir na melhoria dos processos de ensino e aprendizagem de Física.

Os dados coletados nesta pesquisa foram por meio de instrumentos qualitativos, como questionário de avaliação da proposta, relatos por escrito de professores e análise de falas dos alunos, falas estas transcritas pelo professor pesquisador.

#### **3.2 Montagem da Câmara de Ionização**

A câmara proposta trabalha em regime contínuo, onde o sinal gerado pelo detector corresponde à taxa média de íons formados no gás.

O princípio básico de funcionamento é a coleta de cargas criadas pela ionização do gás presente no interior da câmara, de forma que a interação é medida diretamente, devido ao campo elétrico estabelecido entre dois eletrodos: negativo (catodo) e positivo (anodo).

A Figura 5 apresenta um diagrama esquemático da câmara de ionização proposta e seu circuito amplificador, que foi modificado em relação ao proposto por WENZEL (2014), pois o transistor Darlington NPN (MPSW45A) utilizado pelo autor não se encontra aqui no Brasil. Alguns transistores darlington foram testados, mas o que apresentou melhor sensibilidade foram três transistores BC 548 montados em configuração Darlington.

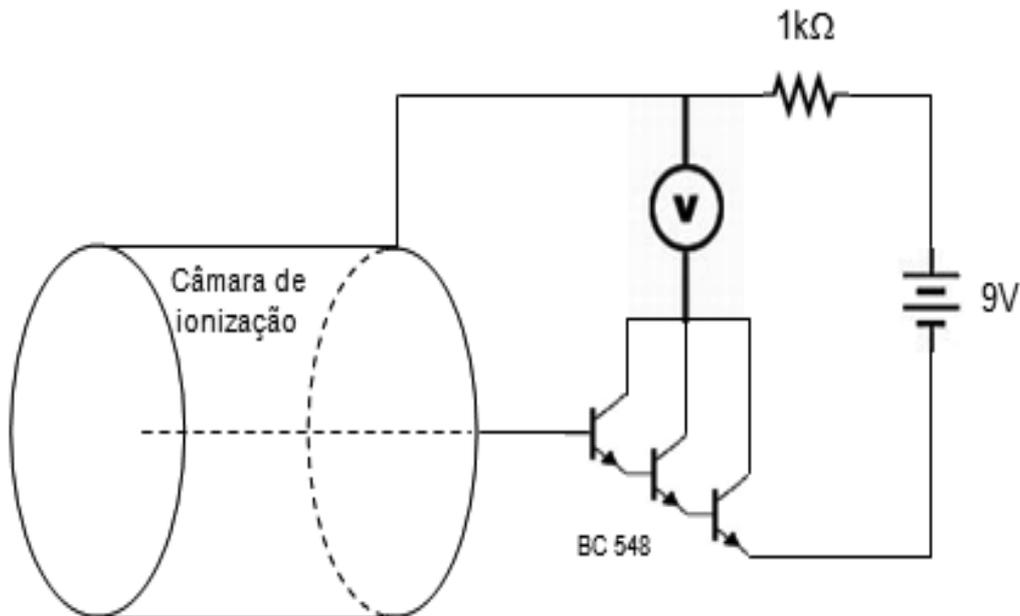


Figura 5 - Diagrama esquemático da câmara de ionização e circuito amplificador constituído de três transistores de uso geral ligados em configuração Darlington. Fonte: Autoria própria.

Utilizou-se neste trabalho uma câmara de geometria cilíndrica. Os materiais utilizados de acordo com a Figura 6 são: uma lata vazia de 250g ou 500g (leite em pó, conservas, refrigerante, nescafé); uma bateria de 9V; três transistores NPN BC548; um resistor de 1kΩ; um clipe de papel; cola epóxi; dois pedaços de fio, de cores diferentes, preferencialmente preto e vermelho, de 30cm, flexível, de bitola 1mm ou 1,5mm; conectores banana (preto e vermelho); um conector para bateria; multímetro; tesoura; estilete ou alicate; ferro de solda; papel alumínio; tela metálica; camisinha de lampião; fita adesiva.



Figura 6 - Materiais utilizados na construção da câmara

Inicialmente marca-se no fundo da lata o centro, uma maneira simples é medir o diâmetro e dividir por dois para determinar o raio, Figura 7a, após faz-se um furo onde foi marcado, o ideal é fazer um furo pequeno e usar um alargador, para que fique conforme ilustrado na Figura 7b.

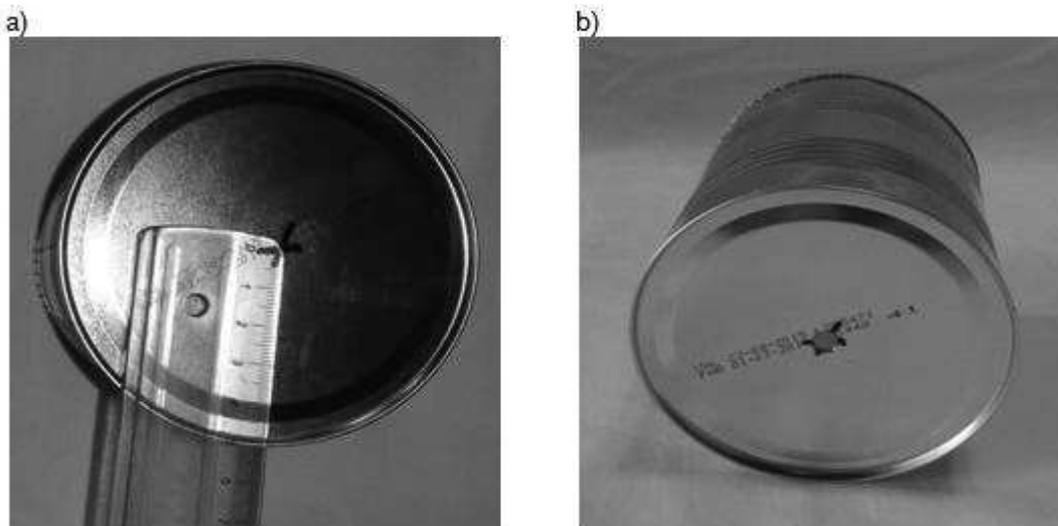


Figura 7 – a) lata com marcação central; b) lata com furo central alargado.

O clipe foi utilizado como eletrodo central da câmara e para isso, deixou-se o mais reto possível, com a ajuda do alicate. Após dobra-se a base (pino do meio) de um dos transistores, em um ângulo de  $90^\circ$ , solda-se o clipe na base Figura 8a. Aplica-se uma pequena quantidade de epóxi no transistor, conforme Figura 8b, tomando cuidado para que o epóxi não toque nas pernas do transistor e que o eletrodo central seja mais curto que o comprimento da lata, Figura 8d. Passa-se o fio longo por dentro do furo da lata e cole o transistor na lata conforme mostrado na Figura 8c.

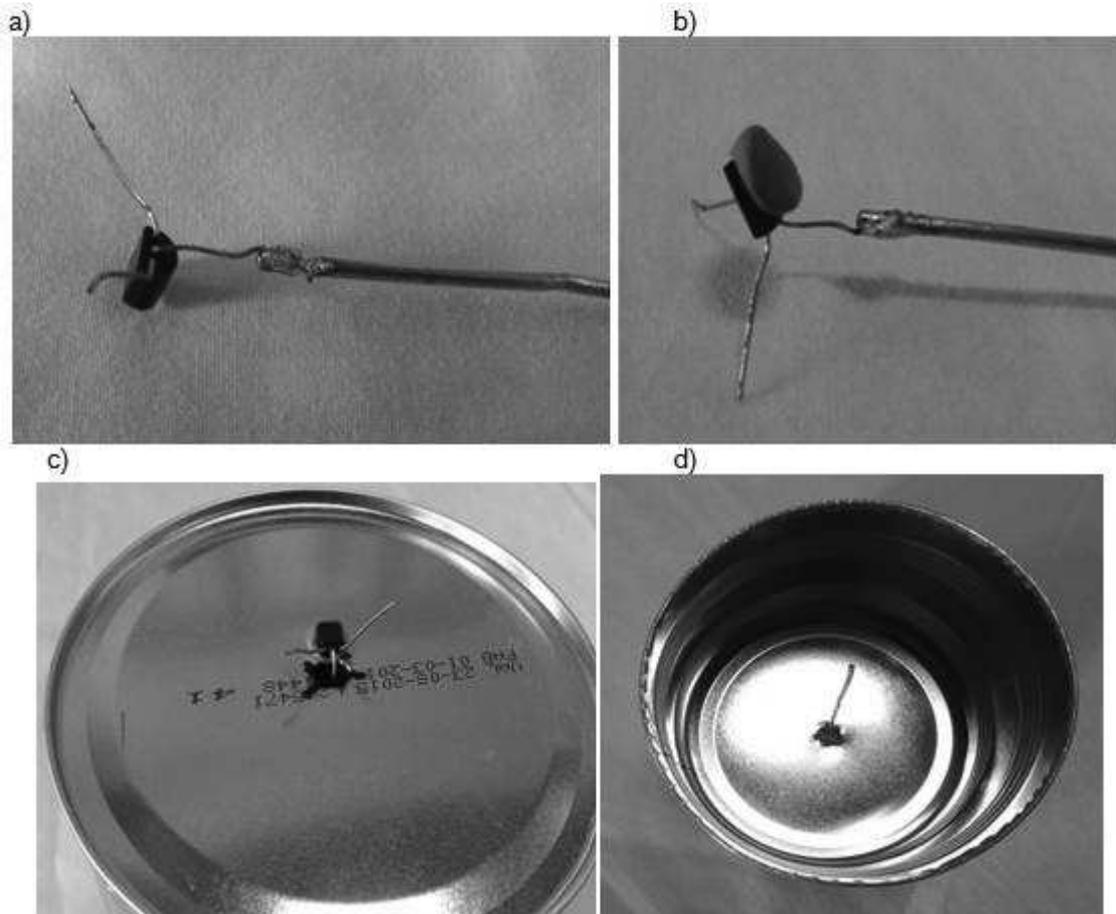


Figura 8 – a) Transistor soldado ao eletrodo central (clipe). b) Transistor com pequena quantidade de epóxi. c) Transistor colado no fundo da lata. d) Vista de dentro da lata, com fio centralizado.

O próximo passo é muito importante, solda-se o resistor na lata de acordo com a Figura 9, e os outros transistores da seguinte forma: a base do segundo transistor, soldado, no emissor do primeiro, que já está colado na lata e a base do terceiro, soldado, no emissor do segundo, os coletores dos três transistores devem ser soldados entre si.

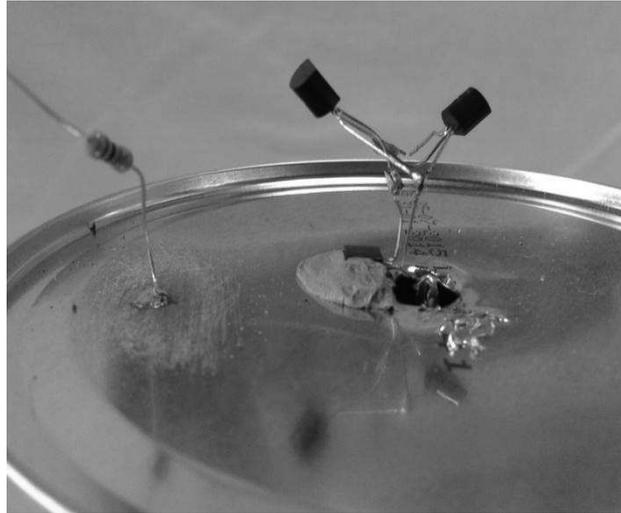


Figura 9 - Resistor e transistores soldados.

Solda-se a outra extremidade do resistor,  $1k\Omega$ , no positivo (vermelho) da bateria e o negativo (preto) no emissor no terceiro transistor. Solde os conectores banana (preto e vermelho), nas extremidades dos fios de 30cm. Após solde o fio com o conector vermelho na extremidade do resistor, junto com o positivo da bateria, e o fio com o conector preto solde junto com os coletores dos três transistores. De acordo com a figura 10.

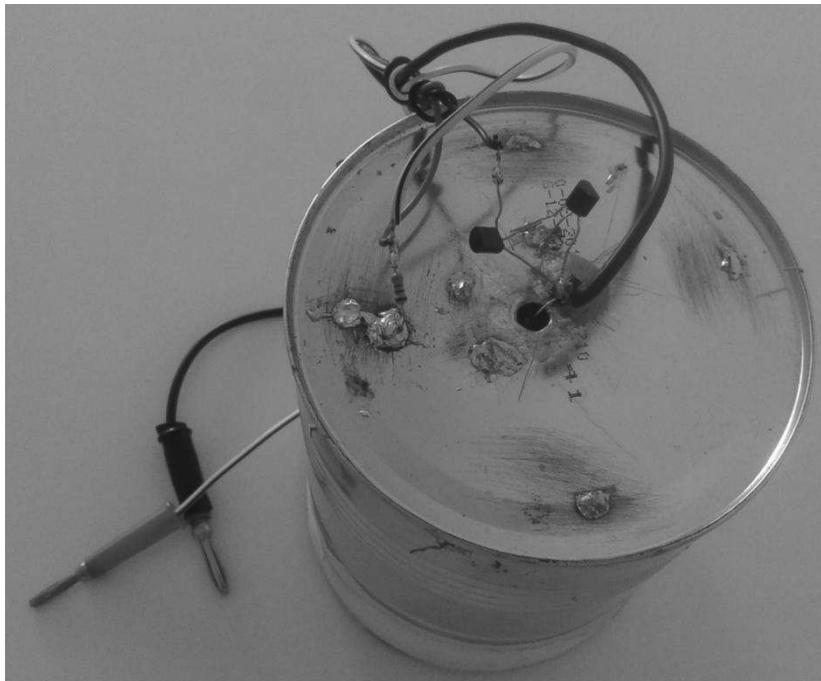


Figura 10- Fios conectados aos dispositivos

Recorta-se um pedaço de tela, de aproximadamente, (12cm × 12cm), para cobrir a outra extremidade da lata (janela da câmara de ionização) e prende-se a tela com a fita adesiva, conforme figura 11.



Figura 11 – Câmara com janela de tela.

Após a conclusão da câmara solda-se outra lata, de acordo com a Figura 12, de tal forma que os transistores fiquem isolados, evitando assim influência de outros agentes capazes de alterar os resultados.



Figura 12 – Câmara pronta, com lata isolando o circuito amplificador.

Após a conclusão liga-se a bateria no conector e conecta-se a um voltímetro digital definido para a escala de até 20 volts, observa-se que a leitura cai para apenas alguns volts, Figura 13a. Ao aproximar uma fonte radioativa, da janela da câmara observa-se que a tensão no voltímetro aumenta, conforme mostrado na Figura 13 b e c.

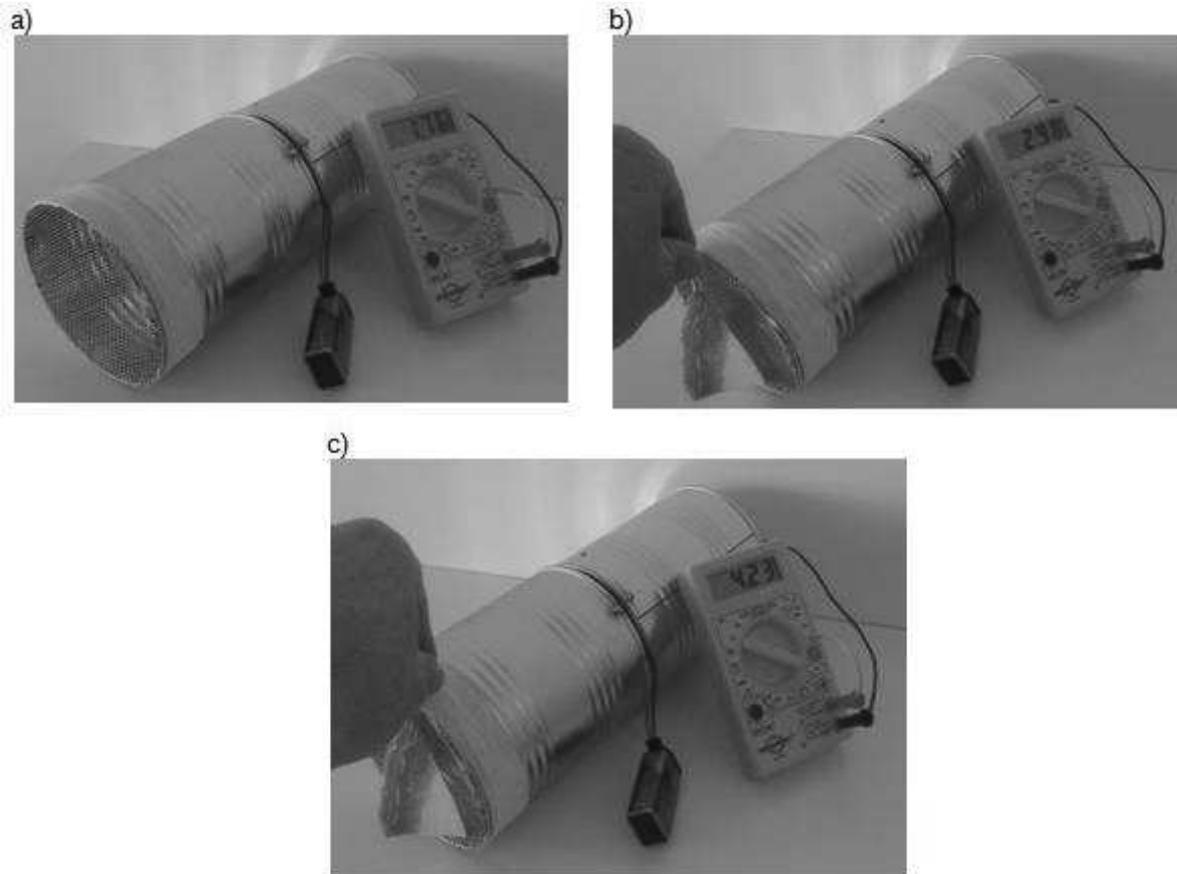


Figura 13 - (a) Câmara pronta com voltímetro conectado e indicando a leitura mínima. (b e c) Câmara com fonte radioativa encostada na janela de alumínio e com a medida indicada.

### 3.3 Fontes radioativas sugeridas.

As fontes radioativas propostas são: filtro de ar contendo filhos do Radônio-222 da série do Urânio-238; a fonte de Amerício-241, pertencente à série dos actínídeos, retirada de um detector de fumaça; e a camisinha de lampião, onde existe a presença de Tório-232 e filhos, incluindo a emanação do Radônio-220 da série do Tório-232.

O elemento mais inerte na série de decaimento do Urânio-238 é o Radônio-222, um gás nobre radioativo. O radônio é quimicamente inerte e não permanece ligado aos sólidos da mesma forma que seus pais, difundindo-se através do sólido e emanando para o ar. O Radônio-222 tem uma meia vida muito curta, quatro dias aproximadamente, decaindo

depois para elementos mais reativos, o chumbo, o bismuto e o polônio de meia-vida variando de micro segundos a poucos minutos.

O Amerício-241, que emite partículas alfa (cerca de 85%), tem curto alcance, menos de 5 cm, e possui meia vida de aproximadamente 430 anos, oferece pouco risco por irradiação e são muito utilizados em detectores de fumaça.

Os detectores de fumaça onde é encontrado o Amerício-241 são chamados de detectores de fumaça tipo ionizante, podem ser comprados em lojas especializadas de materiais elétricos e alarmes.

Muitas camisinhas de lampião têm em sua composição dióxido de tório ( $\text{ThO}_2$ ), que apresenta um ponto de ebulição elevado cerca de  $3300^\circ\text{C}$ . Quando aquecido queima-se produzindo uma luz branca brilhante.

As camisinhas de lampião podem ser encontradas em lojas de produtos para caça e pesca. Algumas camisinhas, dependendo da marca, não emitem radiação e os preços variam de loja para loja.

O gás Radônio-220, um dos filhos do Tório-232, pode ser obtido colocando uma camisinha de lampião dentro de um recipiente totalmente fechado, de vidro ou de plástico, aguardando cinco minutos. O Radônio-220, emanado da camisinha, se concentrará no ar ambiente do interior do recipiente podendo ser retirado com uma seringa descartável e injetado dentro do detector de radiação.

### **3.4 Propostas experimentais**

Foram desenvolvidas três práticas experimentais de Física Nuclear utilizando câmaras de ionização semelhantes à descrita no item 3.2.

#### **3.4.1 Mapeamento da concentração dos filhos do Radônio-222 no ar ambiental**

Esta atividade consiste em filtrar os aerossóis do ar de diferentes ambientes internos e verificar a presença dos filhos de radônio utilizando a câmara de ionização. Uma comparação das concentrações de filhos no ar poderá ser feita entre os valores indicados pela câmara de ionização para diferentes ambientes.

Este procedimento poderá ser realizado em qualquer ambiente (sala de aula, laboratório, banheiro, cozinha, área de serviço, etc), utilizando a câmara de ionização, filtro

(gazes) e bomba de vácuo (aspirador de pó, secador de cabelo, cooler adaptado Figura 14 a e b).

O cooler adaptado, figura 14, foi construído tendo como base sugestões de Wenzel (2014), para realizar as coletas dos filhos de Radônio-222 nos ambientes estudados. Foram utilizados na construção: uma lata de leite em pó, cola epóxi, tela metálica, fita adesiva e um cooler de 12V. Inicialmente retira-se o fundo da lata e cola-se o cooler com epóxi, na outra extremidade da lata, prende-se um pedaço de tela (12cm×12cm), com fita adesiva, para que sirva de apoio ao filtro.

Para que a coleta dos filhos do Radônio-222 seja realizada deve-se: ligar a “bomba de vácuo”, por 5 minutos, dentro do local, com o filtro adaptado, após a filtração realizar a medida utilizando a câmara de ionização.

As indicações do multímetro devem ser anotadas com o filtro posicionado logo em frente da janela com a tela, antes e depois da filtração. Se a ddp no multímetro aumentar depois da filtração do ar, está comprovada a presença dos filhos do Radônio nos aerossóis coletados. Anotando a voltagem máxima do multímetro ao medir os filtros utilizados em diferentes ambientes, torna-se possível comparar a radioatividade do ar desses ambientes.

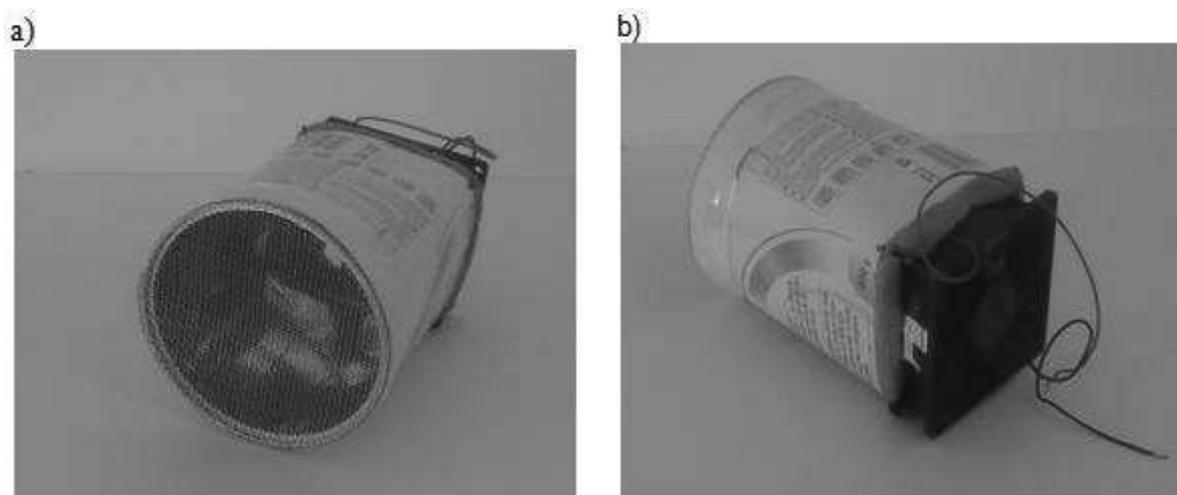


Figura 14 – a) Coletor de radônio utilizando cooler adaptado com janela de tela metálica. b) Cooler adaptado visto por baixo.

Essa prática possibilita aos alunos e ao professor realizar a coleta de material radioativo de baixa intensidade nas salas de aula e com isso poderão ser trabalhados assuntos como: séries radioativas, decaimento e meia-vida.

### **3.4.2 Medida do alcance das partículas alfa emitidas pela camisinha de lampião e pelo Amerício-241**

Ao realizar esta prática é possível verificar que ao aproximar a fonte radioativa da janela da câmara de ionização, a ddp no multímetro começa a aumentar, quando a fonte está a determinada distância, isto indica que partículas alfa estão atingindo o volume sensível da câmara e ionizando o ar, dentro da câmara. Utilizando para isso: câmara de ionização, régua (30cm ou 50cm), papel, caneta ou lápis, fita adesiva, suporte (para prender a camisinha ou a fonte de amerício), camisinha de lampião e amerício-241 (retirado de detector de fumaça). Para a realização dessas práticas deve-se primeiramente: ligar a câmara de ionização, esperar a indicação no voltímetro estabilizar (figura 15c), com a régua no lado da câmara de ionização e a camisinha ou a fonte de amerício presas com fita adesiva no suporte (qualquer objeto que facilite a aproximação das fontes à câmara) (figura 15 a e b), aproxime-os lentamente de 1cm em 1cm e anote os valores.

Com os dados encontrados é possível descobrir qual o filho do Tório-232 responsável pela emissão da radiação e sua energia e energia da partícula alfa do Amerício. Ao realizar essa prática assuntos como: alcance das partículas, energia das partículas, interação com a matéria, decaimento e fissão nuclear, poderão ser trabalhados em sala.

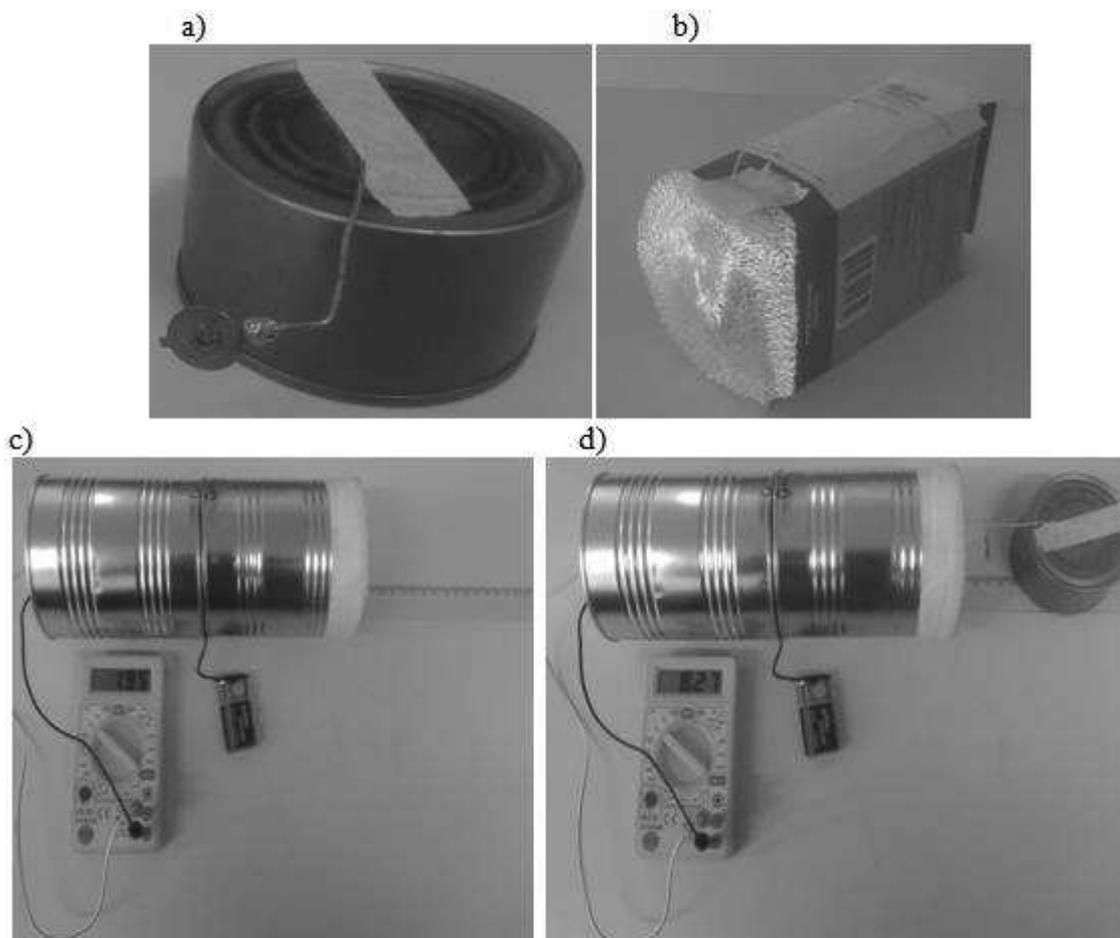


Figura 15 – a) Fonte de amerício presa no suporte. b) Camisinha de lâmpião presa no suporte. c) Câmara de ionização ligada. d) Fonte de amerício próxima da câmara.

### 3.4.3 Medida da Meia vida-vida do Radônio-220 da série do Tório-232

Para determinar a meia-vida do radônio-220 da série do tório-232, em sala de aula será necessária a utilização de: câmara de ionização, papel alumínio, cronômetro, camisinha de lâmpião, recipiente pequeno (vidro de remédio vazio, de preferência com gotejador) e seringa descartável. Para realização da prática: coloque a camisinha de lâmpião dentro do recipiente descartável, Figura 16a e 16b, e aguarde 10min. Vede a janela da câmara de ionização com o papel alumínio, conforme Figura 16e, ligue-a, espere estabilizar e anote o valor da ddp inicial( $U_i$ ). Retire o gás de dentro do recipiente e injete dentro da câmara de ionização, por meio de um furo feito com a seringa, no papel alumínio, conforme Figura 16d e 16e.

Verificar-se-á um aumento na ddp indicada no multímetro e após alguns segundos a leitura no multímetro irá começar a diminuir. A partir deste instante, marcar a voltagem

por tempo (medidas de 10 em 10 segundos até completar dois minutos). E ao final das medidas, fazer o cálculo ( $U = U_{\text{medido}} - U_{\text{inicial}}$ ) e construir o gráfico.



Figura 16 – a) Camisinha de lampião e vidro de remédio descartável. b) Camisinha de lampião dentro do vidro. c) Gás sendo retirado de dentro do vidro. d) Injetando gás dentro da câmara de ionização. e) Câmara de ionização com a janela coberta com papel alumínio e materiais utilizados na prática.

Com os dados coletados é possível esboçar o gráfico da meia-vida radônio-220 e determinar seu valor. Ao realizar essa prática os assuntos, decaimento radioativo e meia-vida, podem ser trabalhados em sala de aula.

A realização dessas atividades poderá contribuir com o ensino-aprendizagem do aluno, dando significado aos conteúdos escolares e aumentando o rol de atividades que despertam a interesse no aluno, melhorando com isso a qualidade do ensino.

## **4. AVALIAÇÃO DO PRODUTO**

A seguir serão detalhadas as fases da pesquisa relacionadas à avaliação das propostas experimentais, as quais se destacam: uma oficina de Física Moderna, como parte da formação continuada de Professores do PDE, realizada num dos Laboratórios do Departamento de Física no Campus Cedeteg - Unicentro/PR, no ano de 2014, e a implementação de uma proposta pedagógica, utilizando as experiências, em duas turmas de 2º ano do Ensino Médio de uma escola particular de Guarapuava.

### **4.1 Oficina com professores do EM (PDE)**

O PDE-PR é instituído pela Lei Complementar 103 de 15/03/2004 – publicada no Diário Oficial do Estado sob n. 6.687 em 15/03/2004 –, cuja súmula dispõe sobre o Plano de Carreira do Professor da Rede Estadual de Educação Básica do Paraná; e implementado por Decreto n. 4.482 de 14/03/2005 – publicado no Diário Oficial do Estado sob n. 6.933 em 14/03/2005.

No ano de 2007, as universidades estaduais e federais do Paraná, foram convidadas, pelo governo do estado para assumirem o projeto de formação de professores/as. A universidade é responsável pela formação continuada, contribuindo na produção do saber, ensino, pesquisa e extensão.

De acordo com Lei complementar 103/2004, o Professor PDE afasta-se integralmente no primeiro ano para se dedicar aos estudos e pesquisas, devendo frequentar os cursos e eventos oferecidos pela universidade. No segundo ano retorna à escola para cumprir carga horária de 75%, ficando 25% para elaborar seu plano de ação a partir da pesquisa desenvolvida.

Em uma das oficinas específicas foram ministrados conteúdos de Física Nuclear. A oficina teve 12 h de duração e contou com a participação de 11 professores de Física de escolas do Ensino Médio do Paraná.

Em um primeiro momento da oficina, foi realizada uma apresentação contendo temas como: histórico da Física Nuclear, linha de estabilidade, radioatividade, tipos de radiação, decaimento radioativo, interações da radiação com a matéria, detectores a gás, câmaras de ionização, séries radioativas e gás radônio.

Os materiais utilizados como recursos didáticos nas explicações para os Professores foram: uma apresentação em *PowerPoint*, um *notebook* e um projetor multimídia (*data show*).

Em um segundo momento foi distribuído, para professores, um kit com os materiais necessários para a construção de uma câmara de ionização, por dupla, onde poderiam escolhê-la do jeito que achassem melhor. Após a construção da câmara de ionização foram realizadas três práticas propostas na pesquisa.

Com o objetivo de verificar a opinião dos professores sobre a proposta foram elaboradas quatro perguntas. Segue abaixo as perguntas feitas aos professores.

**Q<sub>1</sub> – Quais as dificuldades encontradas na construção da câmara de ionização?**

**Q<sub>2</sub> – Cite alguns aspectos positivos e negativos da construção da câmara de ionização e das práticas propostas.**

**Q<sub>3</sub> – É possível realizar algumas das práticas em sala de aula?**

**Q<sub>4</sub> – Em sua opinião, quantas aulas são necessárias para a realização de uma prática?**

#### **4.2 Implementação de Proposta Pedagógica no Ensino Médio**

Uma proposta de ensino foi elaborada, com base nos experimentos, e implementada em duas turmas de 2º ano, do Ensino Médio, de um colégio particular de Guarapuava/PR, que, como a grande maioria das escolas, apresenta obstáculos a serem superados. Mas todas as salas de aula se apresentam em bom estado de conservação, todas são equipadas com ar condicionado, data show e sistema de monitoramento, o quadro negro de todas as salas está em perfeito estado, o número de carteiras é suficiente para todos os alunos e as salas dos primeiros e segundos anos comportam no máximo 35 alunos.

As aulas de Física são divididas em duas “frentes de trabalho”, cada frente com duas aulas, onde cada professor trabalha uma frente, ou seja, são dois Professores de Física e quatro aulas de Física por semana nos primeiros e segundos anos, e o terceiro tem cinco aulas por semana.

O colégio utiliza como material de apoio as apostilas do Anglo, que são fornecidas ao colégio bimestralmente. Cada apostila tem em média sete aulas de Física por “frente”, ou seja, duas apostilas por bimestre, totalizando oito apostilas por ano.

A forma como os conteúdos são distribuídos, depende da apostila que o colégio utiliza. Nas turmas em que foi realizada a pesquisa, os conteúdos são divididos de duas em

duas aulas, onde a introdução à aula do dia é um assunto atual relacionado ao conteúdo, com questões que avaliam o conhecimento prévio do aluno, em seguida questões descritivas, que são realizadas em aula e no final de cada aula algumas questões para serem resolvidas pelos alunos.

Com relação aos alunos, a maioria mostra-se interessado pelo conteúdo de Física, o que facilita o andamento da aula. Aos alunos com dificuldade na disciplina são ofertadas, semanalmente no contra turno, aulas de reforço. As aulas de reforço são oferecidas durante à tarde em horários específicos, para que todos possam assistir, pois além de terem aula todas as manhãs, os primeiros e segundos anos têm aula duas tardes por semana e o terceiro ano, três tardes por semana.

Para que a atividade fosse realizada, aproveitou-se um dia em que coordenadora e diretora estavam na sala dos professores, para lhes comunicar do que iria ser realizado em sala de aula. Ao saberem que o assunto abordado seria Física Nuclear e que envolveria detectores de radiação e fontes radioativas, mostraram-se preocupadas com as questões de segurança dos alunos, sendo que a diretora perguntou: “*você vai causar algum tipo de explosão*”?

Logo após as indagações, fez-se uma explicação detalhando que seria utilizada uma lata adaptada a um circuito amplificador como detector de radiação e as fontes radioativas seriam: camisinha de lampião e filhos de radônio, que seriam coletados de dentro de algumas salas de aula do próprio colégio.

Após a autorização da direção e da coordenação deu-se início aos preparativos para aplicação da atividade. Os materiais utilizados como recursos didáticos nas explicações foram: uma apresentação em *PowerPoint*, um *notebook*, um projetor multimídia (*data show*), caixa de som e discussão do tema desenvolvido.

Os temas desenvolvidos foram os seguintes: breve histórico da Física Nuclear, linha de estabilidade, radioatividade, tipos de radiação, decaimento radioativo, interações da radiação com a matéria, detectores a gás, câmaras de ionização, séries radioativas, gás radônio.

Após a apresentação dos temas (aula 1), foi realizada uma atividade demonstrativa (aula 2) e outra em grupo (aula 3). Para a atividade em grupo os alunos foram orientados de como proceder para realização da prática de ensino. O número de aulas utilizado, os conteúdos abordados, a metodologia, o que o professor e/ou alunos fizeram durante a atividade, os recursos utilizados e o que foi avaliado em cada etapa, constam no quadro 1.

A aula 1 foi utilizada para apresentar os conteúdos de Física nuclear aos alunos. Os conteúdos e a metodologia utilizada encontram-se no quadro 1. Ao final na primeira aula foi feito um relato do funcionamento da câmara de ionização, onde o professor a descreveu como sendo uma estrutura cilíndrica e aberta de tal forma que a interação com a radiação é medida diretamente no volume sensível da câmara. Se a partícula tiver energia suficiente energizará o gás produzindo um traço eletrônico no volume sensível, esse sinal poderá ser amplificado e medido, utilizando um multímetro. O circuito amplificador é composto por três transistores em configuração Darlington.

Na aula 2 do quadro 1 foi realizada a prática. Inicialmente o professor preparou os equipamentos: a câmara de ionização devidamente conectada ao multímetro e a bateria, após colocou-se uma régua do lado da câmara para que a medida da radiação emitida pela fonte com a distância do detector seja verificada. Para isso a fonte foi colocada a 20cm da janela do detector e aproximada, de 5cm em 5cm até a distância de 10cm e após de 1 em 1 centímetro. Conforme a fonte foi se aproximando do detector observou-se o aumento da ddp indicada no multímetro, com auxílio de dois alunos esses valores foram anotados em uma tabela e foi construído o gráfico 5, da sessão 5.1.2. Com o auxílio do gráfico 2, da tabela 3 e do professor os alunos descobriram a energia emitida pela fonte e o elemento (filho) que emite tal radiação.

Antes de iniciar a prática em grupo, da aula 3 do quadro 1, o professor mostrou a câmara devidamente conectada e sua janela coberta com papel alumínio. Após explicou que o radônio-220 filho do tório-232, seria introduzido na câmara, com uma seringa descartável, observar-se-á que a ddp irá aumentar e logo após começará a diminuir. Concluída a explicação passo a passo de como realizar a atividade e os cuidados que deverão ser tomados, foram distribuídos para cada grupo os materiais necessários para a realização da prática em grupo e junto às instruções para a sua realização. Durante a prática o professor orientou individualmente os grupos que tiverem dificuldades. Com os valores anotados em uma tabela fornecida pelo professor, os alunos construíram um gráfico, que teve a forma de uma exponencial, e foi adicionada a linha de tendência para que fosse encontrada a constante de desintegração do radônio-220, e calculada a sua meia vida.

**Obs.:** A atividade de mapeamento da concentração de filhos do  $Rn^{222}$  da série do  $U^{238}$  nas salas de aula do colégio foi realizada no contra turno e o convite foi feito para as duas turmas que participaram do projeto.

Quadro 1 - Implementação da proposta realizada no colégio.

<b>Aula</b>	<b>Conteúdo</b>	<b>Método/abordagem</b>	<b>Aluno</b>	<b>Professor</b>	<b>Recursos</b>	<b>Avaliação</b>
01 (50min)	- Instabilidade nuclear. - Tipos de radiação. - Interação com a matéria. - Séries radioativas.	Os conteúdos foram apresentados por meio de aulas expositivas que apresentem os conceitos físicos a serem estudados e por outras estratégias complementares.	O aluno foi questionado durante a explanação dos conteúdos, quanto ao entendimento do assunto abordado.	O professor fez observações e perguntas sobre o conteúdo trabalhado e apontamentos das possíveis dificuldades encontradas.	- Exposição em lousa. - Videoprojetor. - Informática.	- Participação. - Interesse.
02 (50min)	- Detectores. - Tipos de radiação. - Interação com a matéria.	Os conteúdos foram demonstrados por meio de experimentos utilizando a câmara de ionização.	O aluno participou da demonstração coletando os dados, construindo tabelas e gráficos.	Realizou a demonstração e orientará os alunos: sobre a coleta de dados, construção das tabelas e gráficos e dificuldades no desenvolvimento da atividade.	- Câmara de ionização. - Fonte radioativa de baixa intensidade.	- Participação. - Construção de tabelas e gráficos
03 (50min)	- Detectores. - Decaimento radioativo.	Os conteúdos foram demonstrados por meio de experimentos utilizando a câmara de ionização.	O aluno se reuniu com 4 ou 5 colegas para realizar as práticas sugeridas pelo professor.	O professor orientou os alunos sobre a realização das práticas, coleta de dados e comparação dos resultados, utilizando tabelas encontradas nas bibliografias sugeridas.	- Câmara de ionização. - Informática.	- Atividade em grupo. - Relatório.

Fonte: Autoria própria.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Roteiros experimentais propostos.

#### 5.1.1 Mapeamento da concentração dos filhos do Radônio-222 da série do Urânio-238.

Os resultados para a presença dos filhos do radônio-222, foram obtidos a partir de coletas realizadas em diferentes locais como: salas de aula, laboratórios, churrasqueiras, quartos, área de serviço, etc, (estes últimos são na residência do pesquisador). E foram utilizados para a coleta: filtro (gazes) e aspirador de pó ou secador de cabelo ou cooler adaptado, conforme o quadro 2.

Local da coleta	Coletor utilizado	Filtro antes*	Filtro depois*
- Quarto de hóspedes	Secador de cabelo	1,72V	1,78V
- Garagem	Secador de cabelo	1,70V	1,80V
- Embaixo da escada	Cooler adaptado	1,73V	1,80V
- Área de serviço**	Cooler adaptado	1,72V	1,72V
- Banheiro**	Cooler adaptado	1,72V	1,72V
- Dentro da Churrasqueira	Aspirador de pó	1,72V	1,82V

Quadro 2 - Locais de coleta dos filhos de Rn-222. \* Voltagem indicada no multímetro antes e depois da coleta. \*\*Abaixo do limite de detecção da câmara. Fonte: Autoria própria.

Os locais escolhidos estavam ou foram fechados por pelo menos 12h, para que a coleta fosse realizada e conforme se observa a maioria dos locais foi possível detectar os filhos do radônio-222, com a câmara de ionização.

#### 5.1.2 Medida do alcance das partículas alfa emitidas pela camisinha de lampião

Com o objetivo de verificar a relação existente entre a energia emitida por uma camisinha de lampião (fonte radioativa) e a câmara de ionização, foi realizada uma série de medidas da voltagem no detector em função da distância entre o detector e a camisinha.

Para isso, a fonte foi posicionada, inicialmente, a uma distância de 30cm da câmara e esperou-se por cerca de 30s, para fazer a leitura, ou até que o valor indicado no medidor (multímetro) se estabilizasse. Em seguida, aproximou-se a fonte da câmara em 5cm e aguardou-se 30s, para fazer a nova leitura, e assim sucessivamente de 5 em 5cm, até atingir uma distância entre fonte e câmara de 10cm, após aproximou-se de 1cm em 1cm, aguardando-se sempre, 30s a cada aproximação. Os pontos destacados no gráfico 5, representam os valores medidos, pela câmara de ionização em função da distância à fonte.

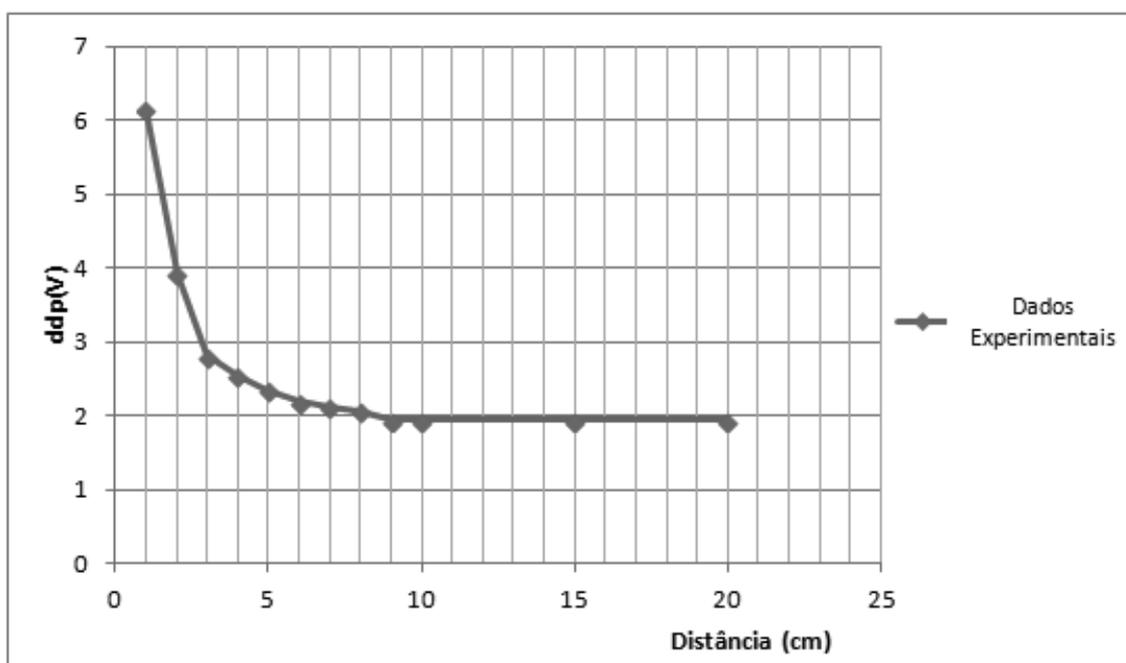


Gráfico 5 - Gráfico da medida da voltagem no detector em função da distância entre o detector e a camisinha. Fonte: Autoria própria.

Fica evidente no gráfico 5 que a câmara de ionização começa a detectar partículas alfa após 9cm, (com margem de erro de  $\pm 1$ cm), o erro se deve em parte: a distância do eletrodo central à tela da janela da câmara de ionização e a posição em que a camisinha de lampião é colocada sobre a régua não ser exata devido a sua forma irregular.

De acordo com a tabela 3, a energia das partículas alfa emitidas pela família do Tório-232, variam de 3MeV a 9MeV, aproximadamente. Portanto, conforme o gráfico 2, a energia correspondente a esse alcance é de aproximadamente, 9MeV e o radioisótopo que está sendo detectado é o Polônio-212 de energia 8,78MeV.

Conforme a fonte se aproxima do detector a tensão indicada aumenta, pois talvez a câmara esteja detectando energia de outros filhos do tório menos energéticos, mas essa discussão não será feita neste trabalho.

### **5.1.3 Medida do alcance das partículas alfa emitidas pelo Amerício-241**

Assim como foi realizada a prática com a camisinha de lampião, fez-se a prática com a fonte de amerício.

Em geral, a fonte de amerício, retirada dos detectores de fumaça do tipo iônico, apresenta atividade da mesma ordem de grandeza ( $10^4$  Bq para o Am-241) da atividade a partir da qual são necessários adotar procedimentos de proteção radiológica, conforme Posição Regulatória 3.01/001:2011 da CNEN. Como estas fontes podem não obedecer ao critério de exclusão, isenção e dispensa de requisitos de proteção radiológica, ao professor que optar por executar esta atividade, sugere-se consultar um profissional credenciado pela CNEN no que concerne aos procedimentos requeridos para a devida proteção radiológica.

No caso da fonte de amerício a distância inicial foi de 10cm da câmara e esperou-se por cerca de 30s, para fazer a leitura, ou até que o valor indicado no medidor (multímetro) se estabilizasse. Em seguida, aproximou-se a fonte da câmara em 1cm e aguardou-se 30s, para fazer a nova leitura, e assim sucessivamente de 1 em 1cm, até atingir uma distância entre fonte e câmara de 5cm, após aproximou-se de 0,5cm em 0,5cm, aguardando-se sempre, 30s a cada aproximação. Com os dados obtidos construiu-se o gráfico 6, que representam os valores medidos, pela câmara de ionização em função da distância à fonte.

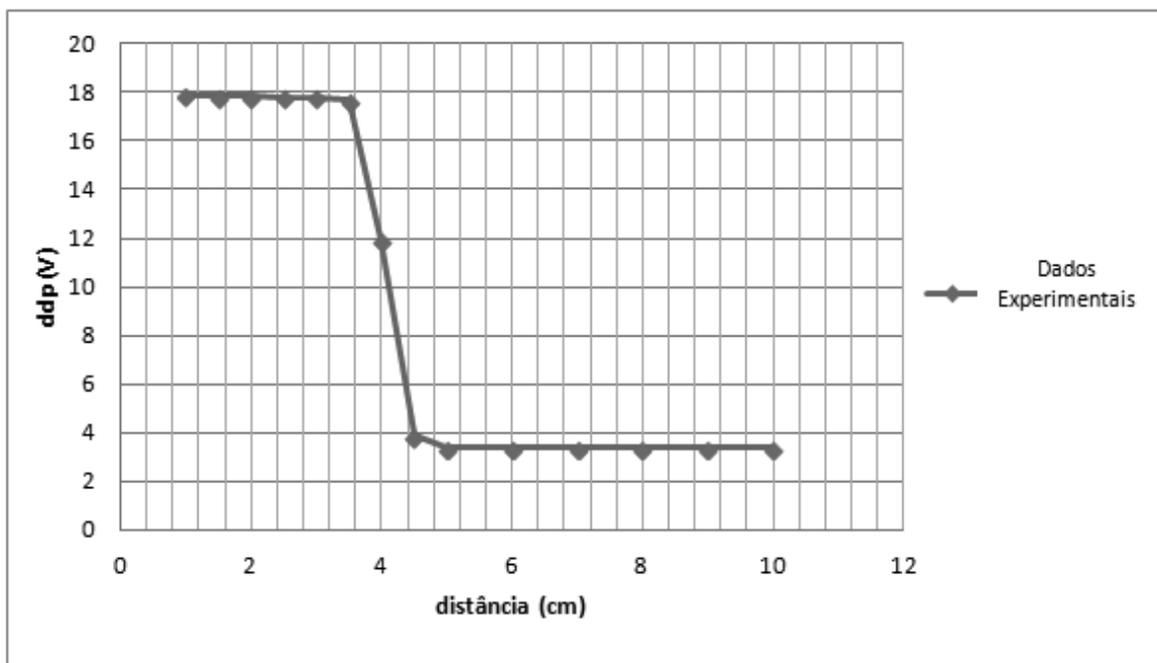


Gráfico 6 - Gráfico da medida da voltagem no detector em função da distância entre o detector e a fonte de amerício. Fonte: Autoria própria

De acordo com a fundamentação teórica, sabe-se que existe uma dependência do alcance no ar da radiação alfa com a sua energia. Verifica-se no Gráfico 6 um aumento na medida da voltagem para distâncias menores de 5 cm, (com margem de erro de cerca de 0,5 cm). O erro se deve à fatores como a imprecisão na determinação da distância do eletrodo central à tela da janela da câmara de ionização, e na determinação da posição em que a fonte de amerício é colocada sobre a régua. A energia de desintegração alfa do Amerício-241 que tem a maior probabilidade de ocorrer é de 5,486 MeV, de acordo com a Figura 4. E o alcance aproximado da partícula alfa com esta energia é de 4,2 cm, conforme gráfico 2. Estes dados estão de acordo com as medidas representadas no Gráfico 6.

#### 5.1.4 Medida da Meia vida-vida do Radônio-220 da série do Tório-232.

Interessados em determinar a meia vida do radônio-220, realizou-se uma prática utilizando uma camisinha de lampião colocada dentro de um recipiente descartável, e com uma seringa descartável retirou-se o gás do recipiente e injetou-se dentro da janela da câmara de ionização. Observou-se um aumento da ddp, que logo após começou a diminuir. Foram anotados os valores e reproduzidos em um gráfico. Os gráficos 7 e 8 apresentam alguns resultados obtidos com a prática.

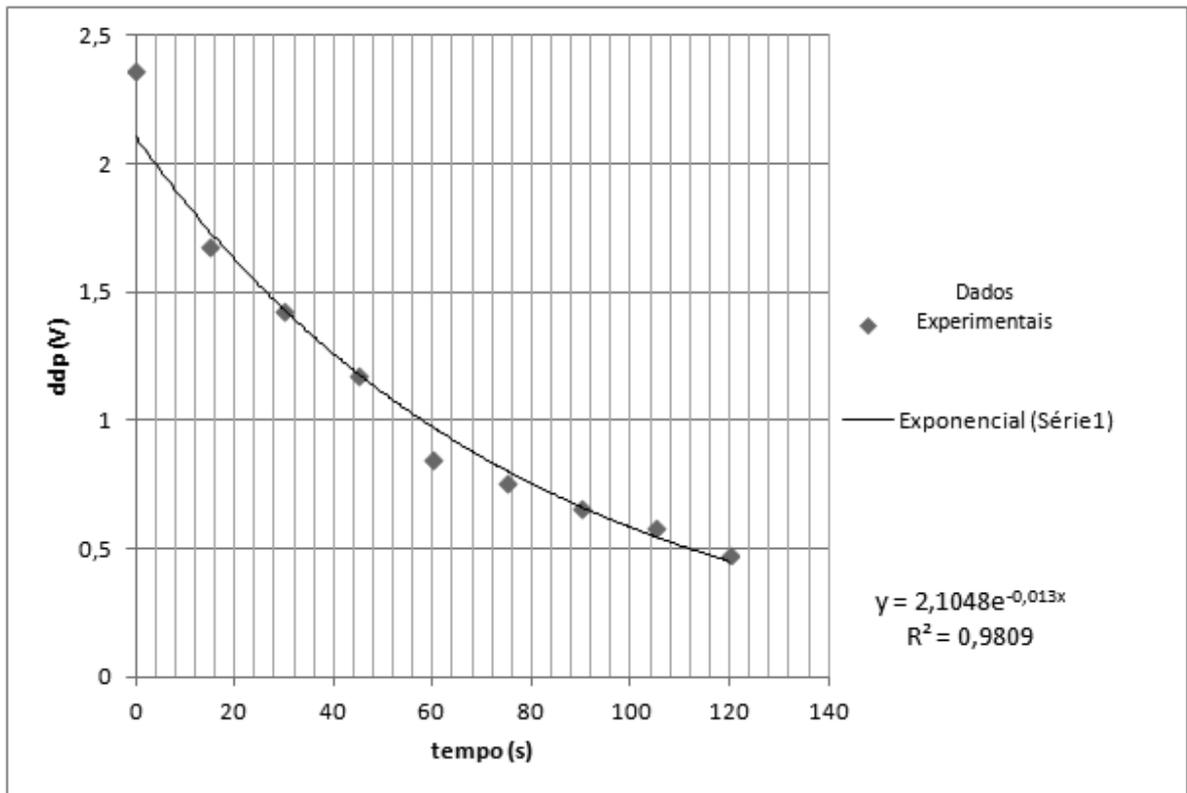


Gráfico 7 – Gráfico do cálculo da meia vida do Rn-220. Fonte: Autoria própria.

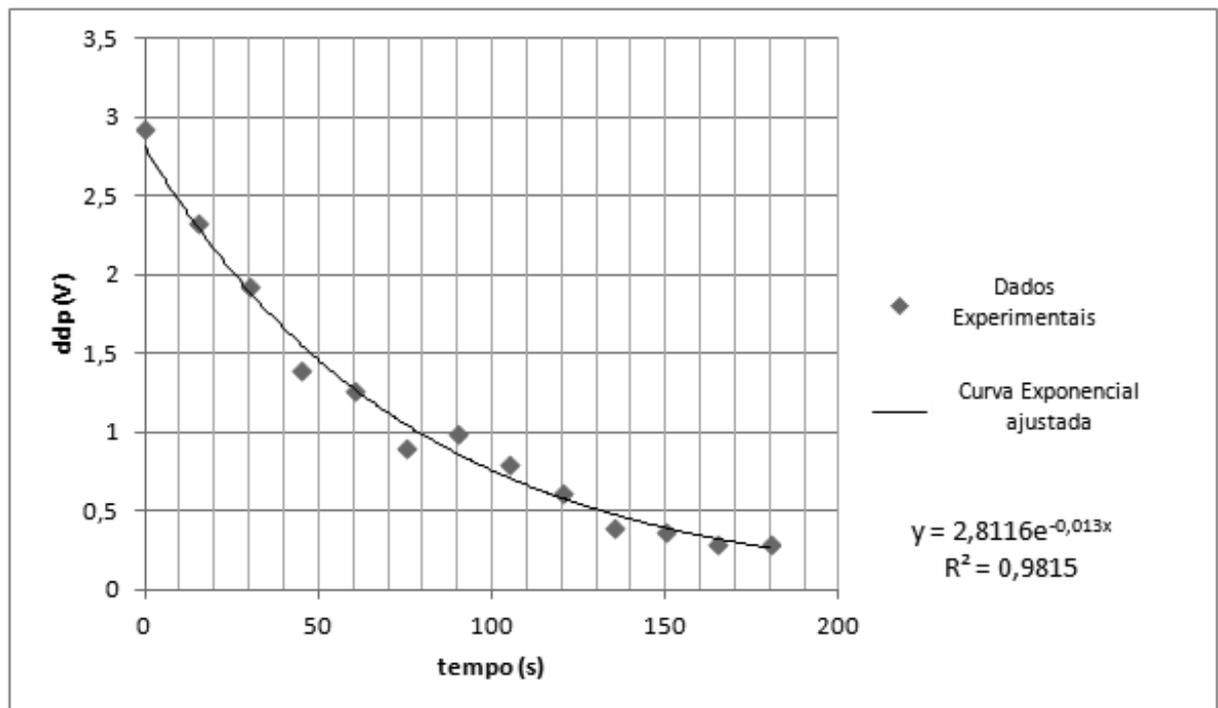


Gráfico 8 – Gráfico do cálculo da meia vida do Rn-220. Fonte: Autoria própria.

Verificou-se um decaimento como era de se esperar e fazendo os cálculos de meia vida, encontraram-se valores que se aproximam consideravelmente do esperado.

Para a realização destes foi utilizado uma planilha eletrônica de cálculo (Libre Office Calc) e traçada a linha de tendência, com o objetivo de encontrar a constante de desintegração ( $\lambda$ ). Conforme se observa nos gráficos 7 e 8, nos dois casos  $\lambda = - 0,013$ . O valor da constante de desintegração do radônio-220 é  $\lambda = - 0,01252$ , ou seja, os valores encontrados têm erro relativo de 4%. E para o cálculo da meia vida, utilizando a equação 3, encontrou-se 53,32s, ou seja, bem próximo do valor que consta na tabela 1, que é de 55,3s.

## 5.2 Oficina dos Professores do EM (PDE)

Durante a apresentação dos temas de Física Nuclear observou-se que alguns professores tinham dificuldades sobre o tema, conforme relatado por um dos participantes. *“O conteúdo de Física Nuclear requer um estudo mais avançado, e por isso encontrei dificuldades no entendimento, mas durante as explicações, dúvidas foram sanadas”*. Outro professor relata que: *“O conteúdo de Física Moderna é um conteúdo de difícil entendimento. Nunca trabalhei este conteúdo”*.

Após a apresentação foi realizada a montagem da câmara de ionização pelas duplas, com o kit fornecido pelo apresentador da oficina. Abaixo alguns resultados das medidas realizadas pelos professores.

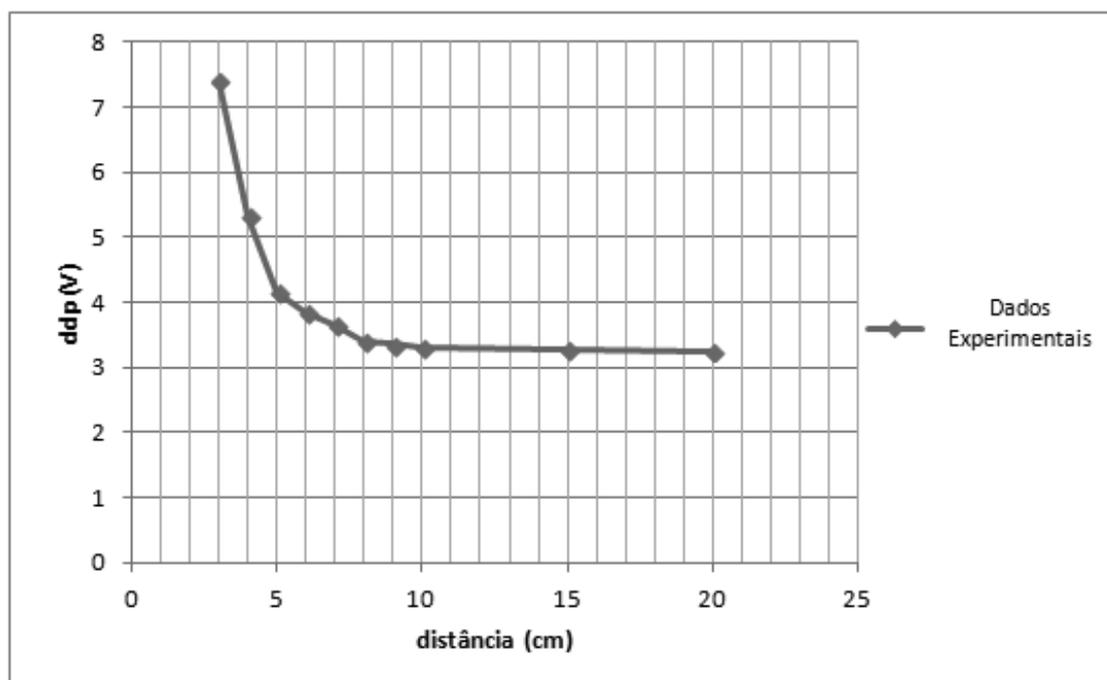


Gráfico 9 – Gráfico da medida do alcance das partículas alfa emitidas pela camisinha de lampião. Fonte: Professores integrantes do Grupo A.

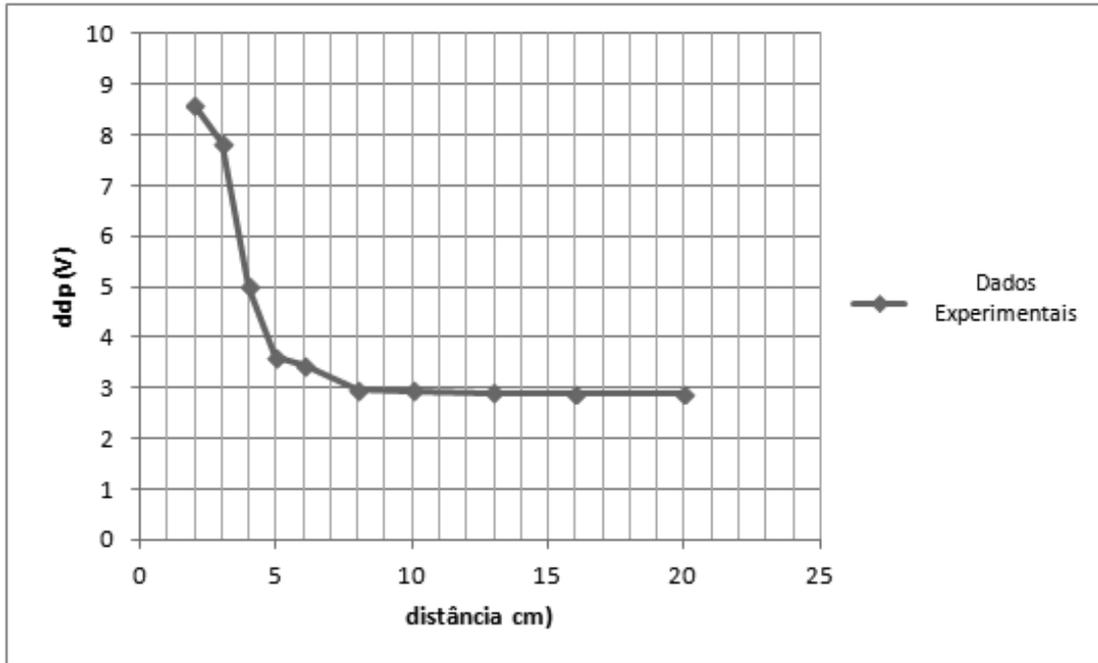


Gráfico 10 – Gráfico da medida do alcance das partículas alfa emitidas pela fonte de amerício. Fonte: Professores integrantes do grupo A.

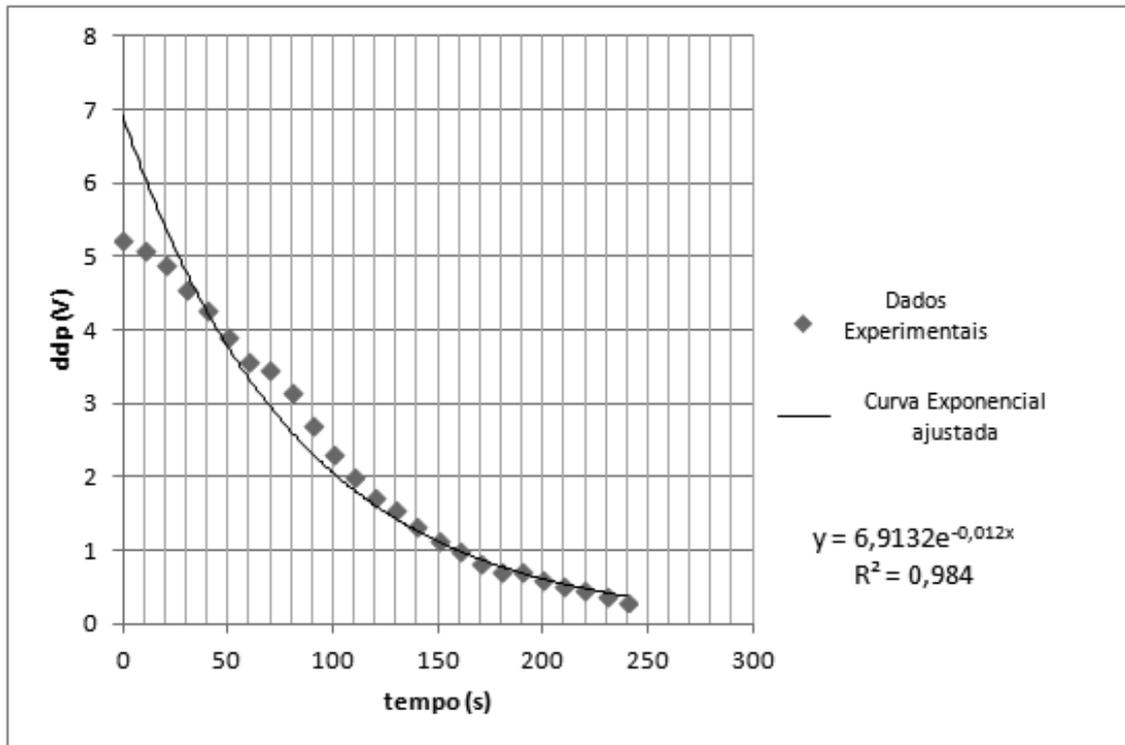


Gráfico 11 – Gráfico do cálculo da meia vida do Rn-220. Fonte: Professores integrantes do grupo A.

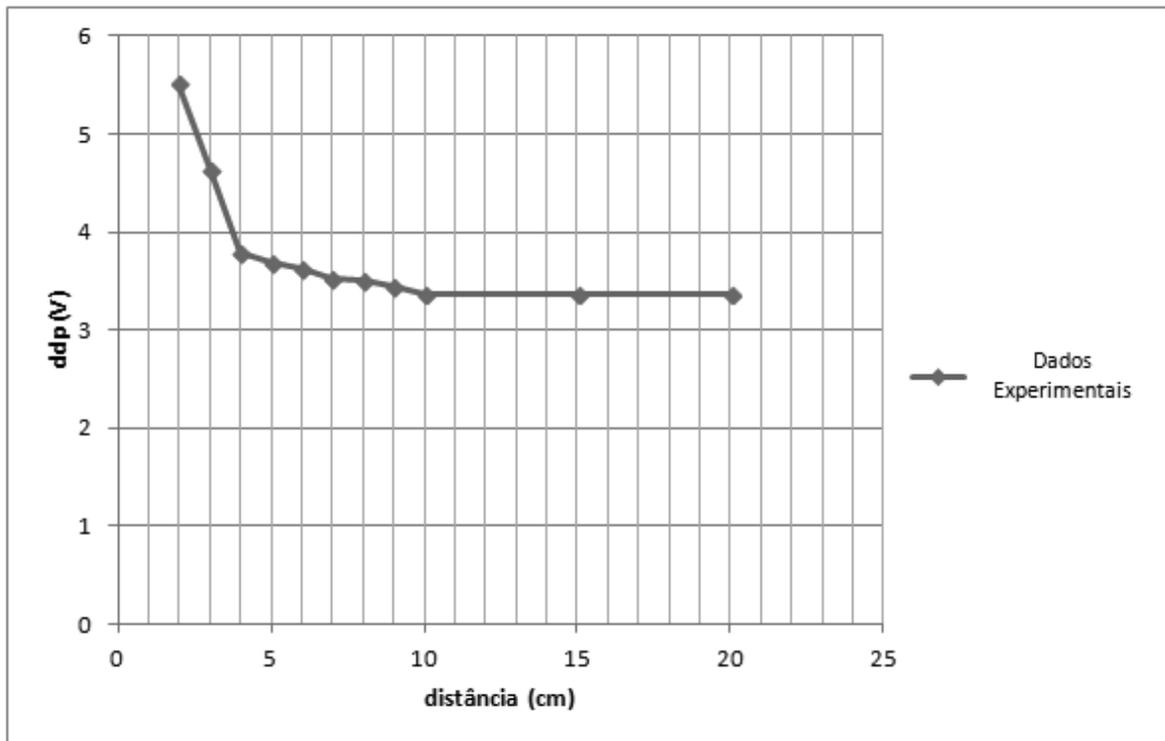


Gráfico 12 – Gráfico da medida do alcance das partículas alfa emitidas pela camisinha de lâmpião. Fonte: Professores integrantes do Grupo B.

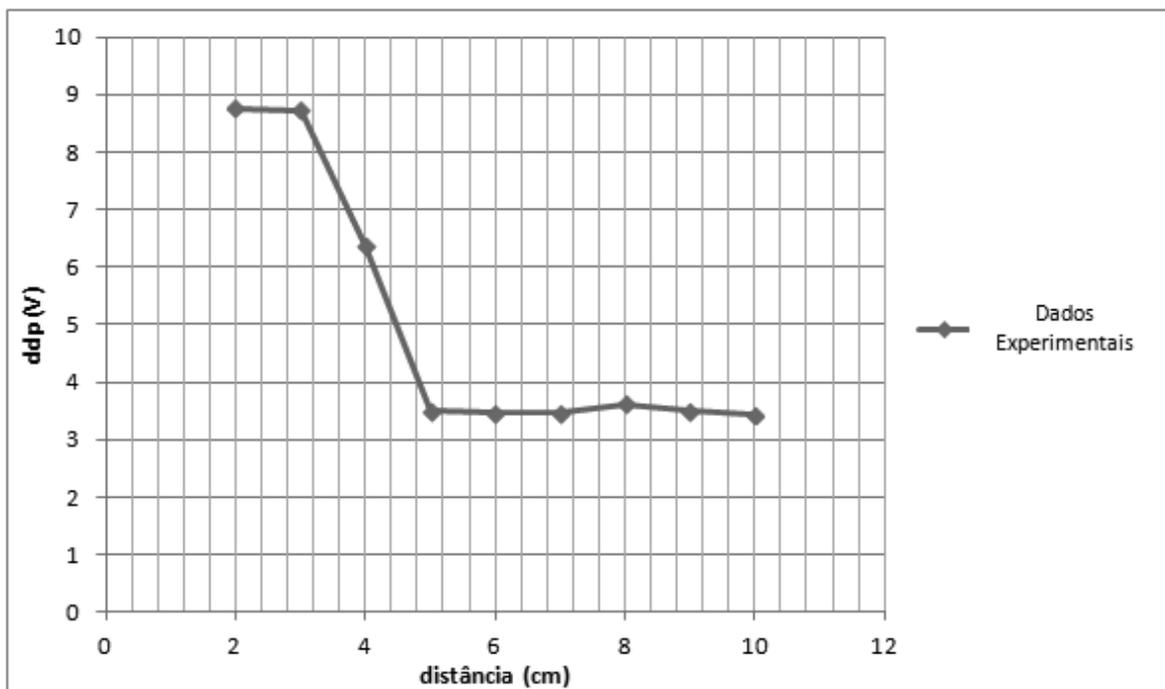


Gráfico 13 – Gráfico da medida do alcance das partículas alfa emitidas pela fonte de amerício. Fonte: Professores integrantes do grupo B.

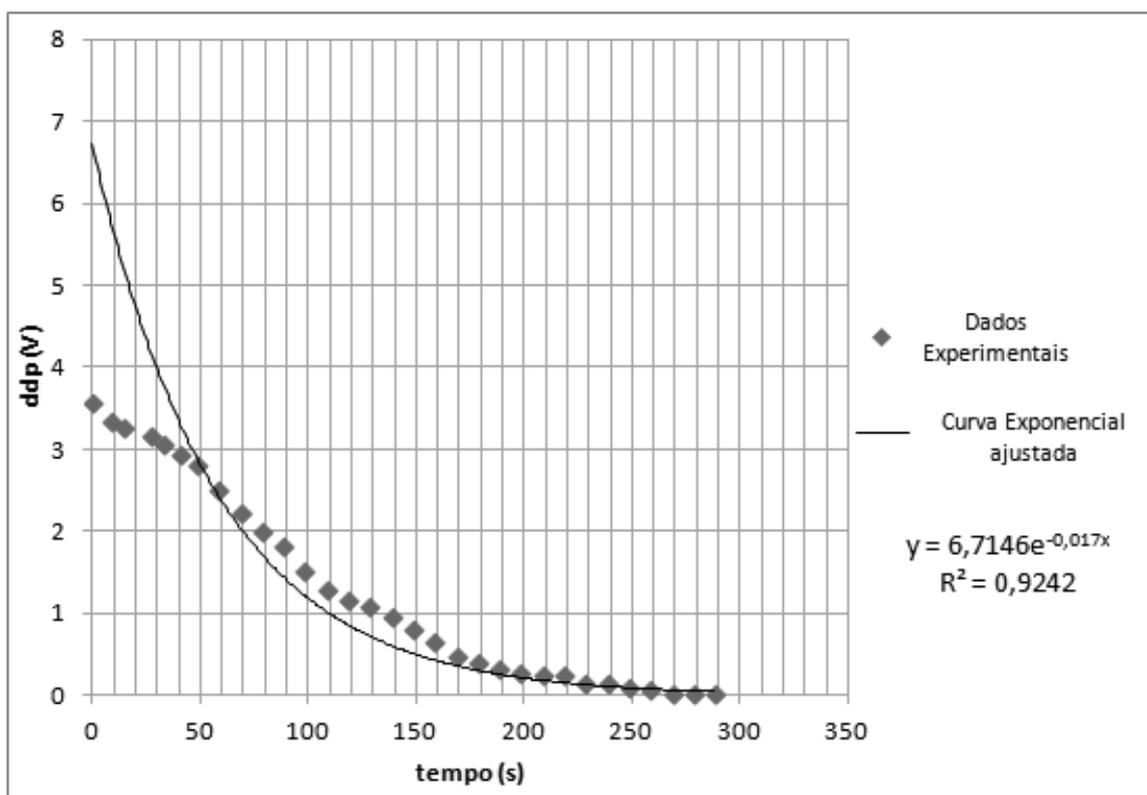


Gráfico 14 – Gráfico do cálculo da meia vida do Rn-220. Fonte: Professores integrantes do grupo B.

Pode ser observado que os resultados encontrados pelos professores estão de acordo com o que diz a literatura e alguns professores ficaram surpresos com os resultados. De acordo com o que um dos professores comentou: “...achei muito interessante e pretendo fazer uma atividade de demonstração, para mostrar aos alunos onde podemos encontrar radiação no dia-a-dia”. Apesar de nunca terem trabalhado com tópicos e realizado práticas de Física Nuclear, a maioria se mostrou favorável à utilização em sala de aula.

Quanto aos questionamentos feitos aos professores, segue abaixo as perguntas realizadas, algumas opiniões e análise das respostas obtidas. Com o objetivo de preservar a identidade dos professores participantes, serão chamados de: Professor A, Professor B,...

**Q<sub>1</sub> – Quais as dificuldades encontradas na construção da câmara de ionização?**

Com relação à construção da câmara, apenas dois dos onze tiveram alguma dificuldade, conforme relatado:

Professor A: *“Com relação à montagem do equipamento existe uma pequena dificuldade na montagem do circuito amplificador, devido à posição dos transistores, porém facilmente superada”*.

Professor J: *“...foi em montar os transistores em ordem correta”*.

Conversando com os dois professores que tiveram mais dificuldade na montagem, eles nunca tinham trabalhado com ferro de solda. Segundo eles não sabiam nem ligar o ferro de solda.

## **Q<sub>2</sub> – Cite alguns aspectos positivos e negativos da construção da câmara de ionização e das práticas propostas.**

Cinco professores se manifestaram sobre os aspectos positivos e negativos da construção, conforme exposto abaixo:

Professor B: *“Quanto aos aspectos positivos, considero que esta prática realmente evidencia os efeitos da radiação, isto é, pode ser visualmente comprovado pelo multímetro, embora seja uma experiência que exija tempo para trabalhar com o aluno, por envolver conceitos físicos e matemáticos como o qual este não tem muita familiaridade”*.

Professor C: *“Com relação à montagem acredito que, por constituir-se de materiais de baixo custo, não seria problema – assim como é fácil sua montagem”*.

Professor G: *“A Física nuclear é um dos conteúdos pouco abordados no Ensino Médio, em consequência estudamos “pouco” essas temáticas. Considero muito importante esse tipo de atividade, pois nos aproxima desses conteúdos e por consequência podemos levar esses conteúdos para sala de aula”*.

Professor H: *“É positivo, pelo fato de não ter tido aulas de física nuclear em minha graduação e tenho dificuldades em lidar com este conteúdo”*.

Professor I: *“O conteúdo de física nuclear ainda é muito pouco abordado em sala, primeiro pela existência de poucas aulas na disciplina e por falta de conhecimento nosso”*.

De acordo com os relatos e conversas com os professores durante a oficina, observa-se que são poucos os professores que trabalham conteúdos de Física Moderna. Alguns porque não tiveram tais conteúdos na graduação e outros por falta de tempo, para trabalhar tais assuntos.

## **Q<sub>3</sub> – É possível realizar algumas das práticas em sala de aula?**

Quanto à possibilidade de trabalhar as atividades propostas, em sala de aula, os professores fizeram algumas observações, como segue:

Professor A: *“Como prática experimental penso que é bem viável a aplicação dentro do ambiente escolar. Com esta atividade pode-se trabalhar além da física, a matemática através dos gráficos, equação de reta e exponencial”*.

Professor B: *“Acredito que essas experiências possam ser reproduzidas em sala de aula, mas em forma de “projetos” onde se trabalhe com número de alunos bastante reduzido e se possa explorar com calma o assunto anteriormente”*.

Professor E: *“...é possível realizar algumas das práticas em sala de aula, para isso preciso fazer mais treinamento”*.

Professor G: *“Considero possível levar parte da prática para alunos da 3ª série, talvez não dê para fazer todas as análises de gráficos, mas entender o alcance da partícula alfa, do decaimento do radônio, do quanto de energia e necessário para atravessar uma folha de alumínio, seja possível”*.

Professor K: *“Quanto às práticas em sala de aula pode ser um facilitador para o ensino aprendizagem, pois a aula torna-se mais atrativa e interessante tornando a aprendizagem significativa”*.

Conforme se observa, alguns professores têm restrições em partes ao uso das atividades propostas, contudo concordam que é possível realizá-las.

#### **Q<sub>4</sub> – Na sua opinião, quantas aulas são necessárias para a realização de uma prática?**

Quanto ao número de aulas necessárias para a realização de uma prática as respostas ficaram bem divididas.

Professor A: *“Penso que seriam necessárias 4 aulas para a aplicação da atividade”*.

Professor B: *“Em relação à quantidade de aulas, para se trabalhar o conteúdo, experimento, tabulação de dados e análise, acredito que umas 10 aulas sejam necessárias”*.

Professor C: *“O tempo necessário depende da turma, os conteúdos que terão que ser retomados, a quantidade de alunos por turma”*.

Professor D: *“Para realizarmos esta atividade em sala de aula, levaríamos em torno de 5 aulas no mínimo”*.

Professor H: *“Considero que precisa mais ou menos de três aulas para a realização de uma prática”*.

Professor I: *“Será necessário 4 a 5 aulas. Caso a câmara já esteja pronta, poderá ser aplicada em 2 ou 3 aulas”*.

Professor J: *“Esta atividade é interessante e pode ser realizada em sala, mas requer de bastante tempo, montarmos a câmara em sala leva umas 2 aulas, mais 2 para observações e duas para análise dos gráficos, portanto, levaria um mês contando com a explicação inicial para trabalhar esse conteúdo dessa maneira”*.

Professor K: *“Na minha opinião, para que essa prática fosse feita em sala de aula deveria ser realizada com um grupo pequeno e seria necessário 4 horas/aula para realizar essa prática”*.

Os Professores E, F e G, só responderam *“4 horas/aula”*.

Apesar de divergirem no número de aulas necessárias para a realização das práticas, todos concordam que é possível a realização das atividades, principalmente no ensino público, pela flexibilidade curricular e descompromisso com o vestibular, o que em geral não acontece com ensino particular.

### **5.3 Implementação da Proposta Pedagógica na Escola**

Para que implementação fosse realizada, foram utilizadas três aulas, para isso, foram feitas algumas adaptações. Como só dispunha de três aulas optou-se por levar para cada grupo um kit para uma atividade e uma câmara de ionização já construída.

Conforme mencionado no quadro 1, na primeira aula realizou-se uma aula expositiva sobre o tema, como o assunto não era de conhecimento de todos, muitos questionamentos foram feitos pelos alunos durante a explicação, tais como: *“Esses conceitos de radioatividade são os mesmos estudados em Química?”*. *“Não é perigoso segurar a camisinha com a mão sem proteção?”*. *“A câmara detecta só radiação alfa?”*. *“Pode respirar o ar de dentro do vidro?”*.

Algumas perguntas foram respondidas logo que eram feitas, outras respondidas no decorrer das aulas. Na segunda aula realizou-se a prática da medida do alcance das partículas alfa emitidas pela camisinha de lampião, pois, como eram apenas três aulas, foi necessário encontrar uma maneira de passar todo o conteúdo e realizar com os alunos, no mínimo uma prática.

A prática realizada foi demonstrativa, para que o tempo fosse bem aproveitado. Antes de realizá-la falou-se sobre o que os alunos deveriam observar durante a demonstração, foi solicitado a ajuda de alguns alunos para realizar as leituras, marcação do tempo, construir tabelas e gráficos. O gráfico 15 foi construído durante a aula, por um aluno, utilizando os dados medidos. O aluno utilizou uma planilha de cálculo do computador, que fica disponível na sala para uso do professor. O gráfico construído foi projetado, para melhor visualização de todos.

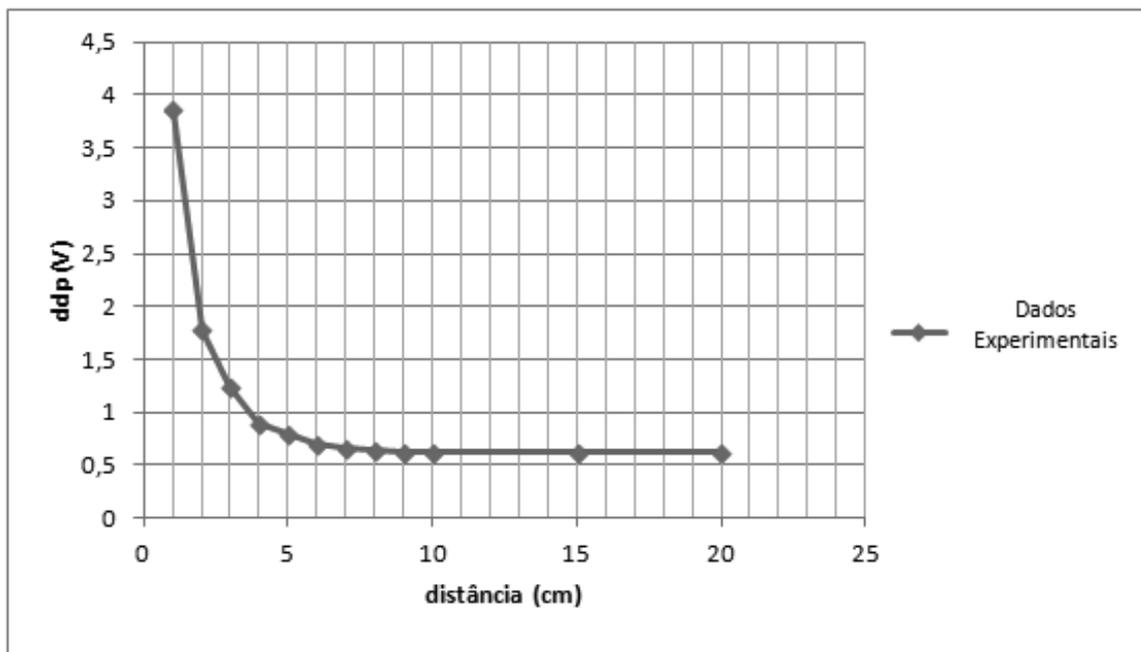


Gráfico 15 – Gráfico da medida do alcance das partículas alfa emitidas pela camisinha de lampião. Fonte: Professor e aluno integrante do Grupo C do 2ºA.

Com o gráfico 15 projetado, o auxílio do gráfico 2 e da tabela 3, mencionados na fundamentação, foi possível identificar qual dos filhos do tório-232 estava emitindo a radiação e com que energia, pois é evidente no gráfico 15, que a câmara de ionização começa a detectar partículas alfa entre 8 e 9cm, com auxílio do gráfico 2, tem-se que a energia correspondente a esse alcance varia de 7,5 a 9MeV e de acordo com a tabela 3, o elemento que emite tal radiação é o  $^{81}\text{Po}^{212}$ , 100% emissor alfa de energia 8,78MeV.

Na terceira aula solicitou-se a turma que se reunissem em grupos, como cada turma tinha 30 alunos, então a dividiu-se em seis grupos. Formado os grupos foi distribuído o kit para a realização da prática de meia vida do radônio-220, contendo: uma seringa descartável, uma embalagem plástica com zíper ou vidro de remédio vazio com a camisinha de lampião dentro, uma câmara de ionização pronta para ser utilizada e

uma folha contendo: os procedimentos para a realização da prática e uma tabela para anotarem os dados obtidos.

Para que todos participassem atribuiu-se tarefas a cada aluno, ou seja, um deveria retirar o gás do recipiente e colocar na câmara, outro falar a voltagem indicada no multímetro, outro cronometrar o tempo, outro anotar os valores na tabela e outro construir o gráfico. Atribuída às funções de cada participante, foi realizada uma pequena demonstração da prática e ao término, os grupos poderiam começar a realizar a prática. Alguns grupos tiveram problemas durante a realização, nestes casos os grupos foram orientados pessoalmente pelo professor.

Abaixo alguns gráficos construídos pelos alunos, durante a prática:

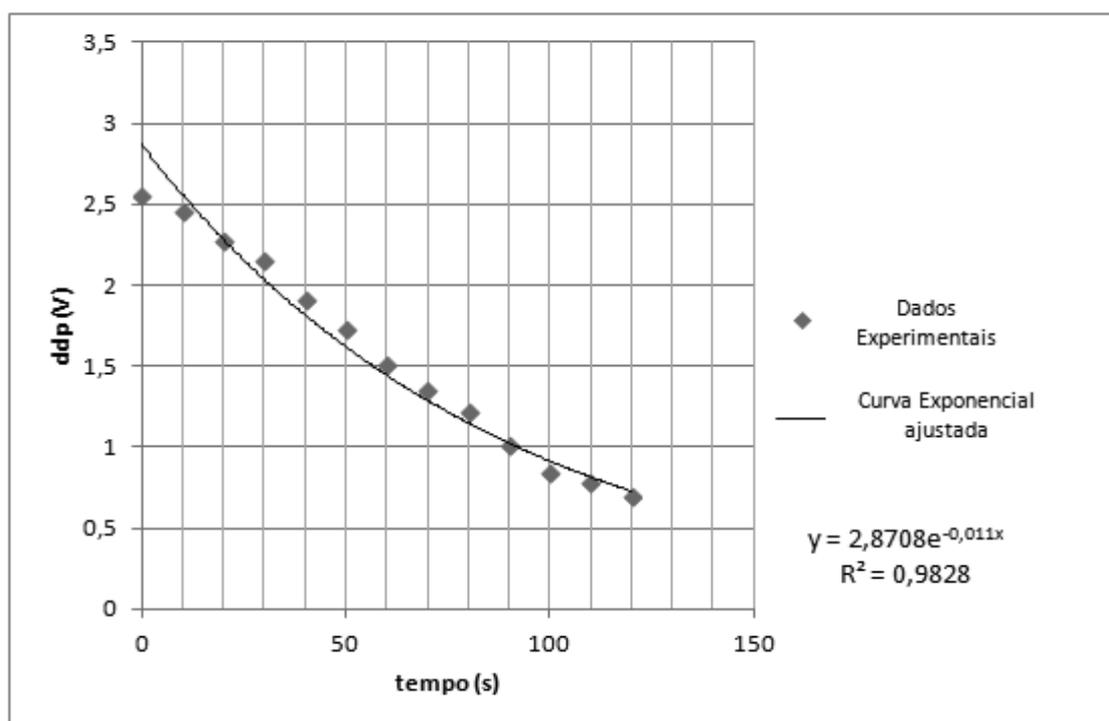


Gráfico 16 - Gráfico do cálculo da meia vida do Rn-220. Fonte: Alunos integrantes do grupo A da turma do 2ºA.

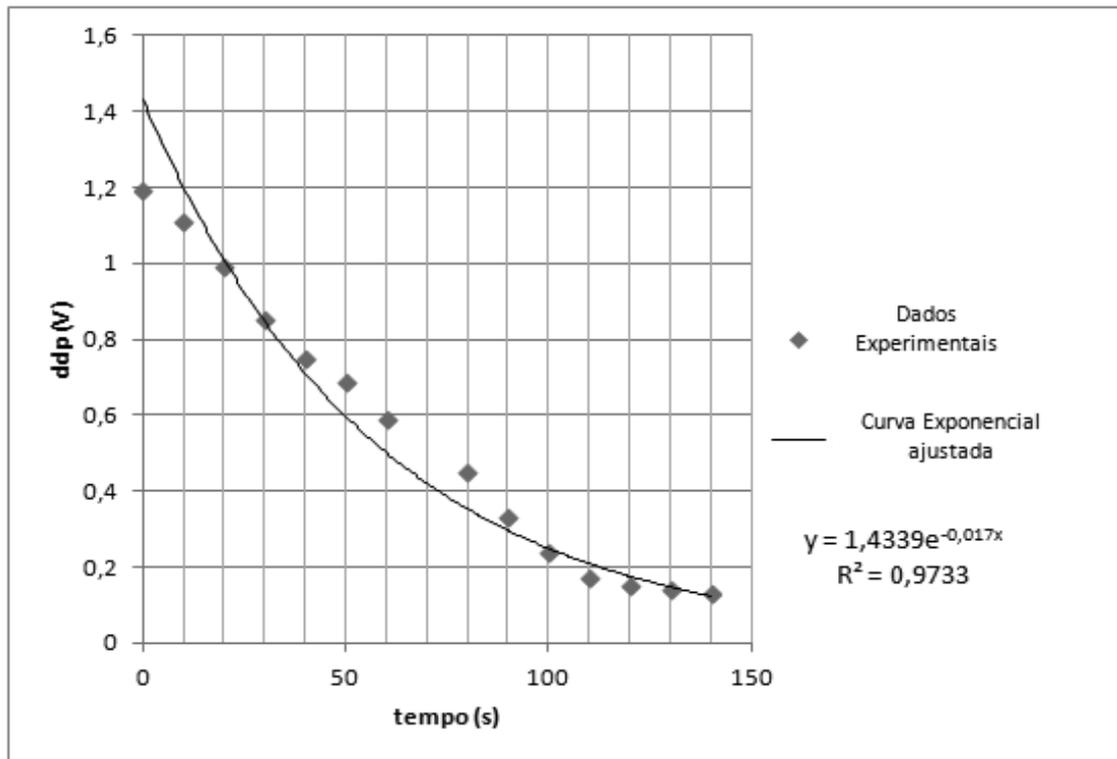


Gráfico 17 - Gráfico do cálculo da meia vida do Rn-220. Fonte: Alunos integrantes do grupo B da turma do 2ºA.

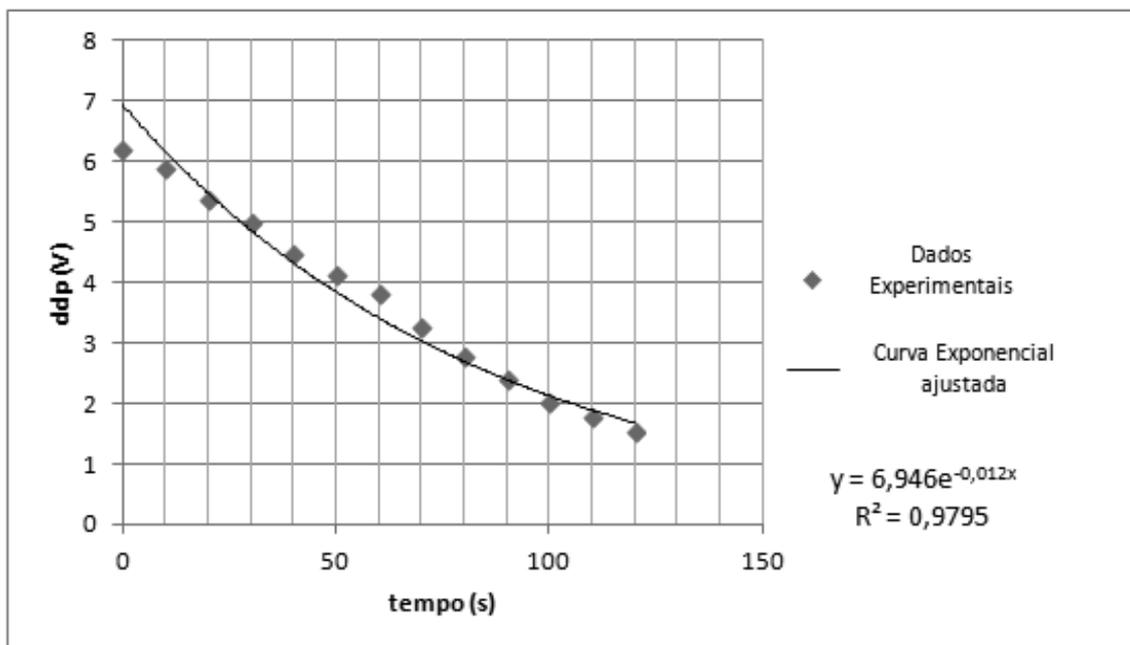


Gráfico 18 - Gráfico do cálculo da meia vida do Rn-220. Fonte: Alunos integrantes do grupo A da turma do 2ºB.

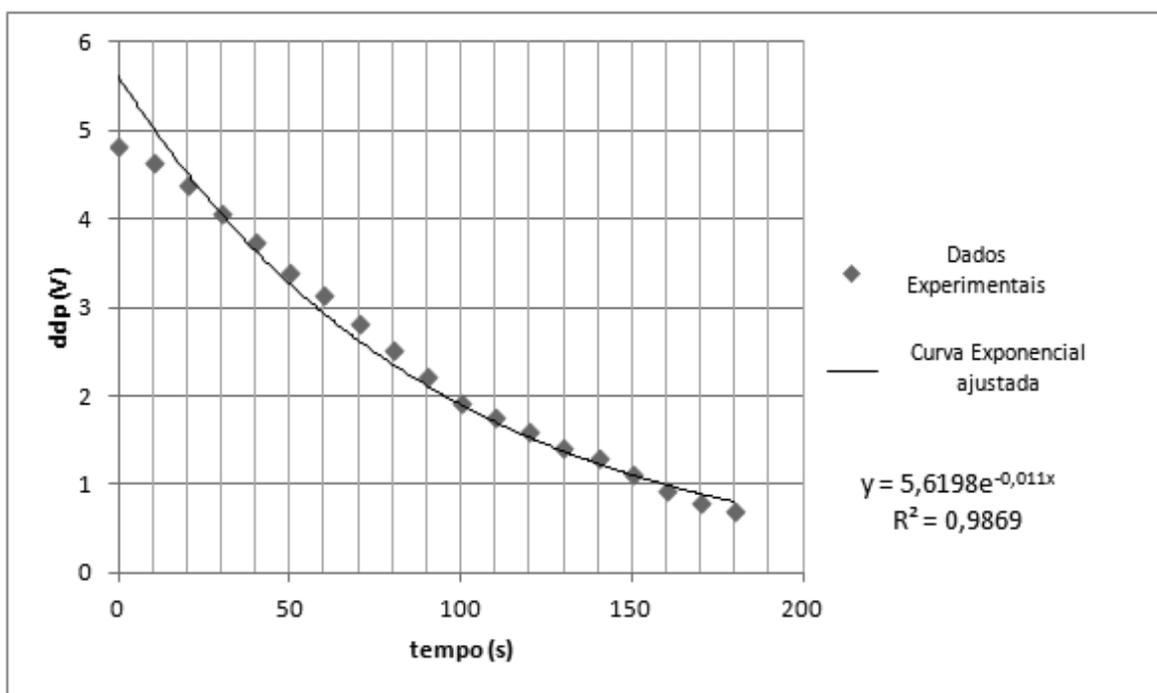


Gráfico 19 - Gráfico do cálculo da meia vida do Rn-220. Fonte: Alunos integrantes do grupo B da turma do 2ºB.

Ao final da atividade foi possível realizar uma análise quantitativa dos resultados, pois conforme mencionado anteriormente a constante ideal é  $\lambda = 0,01252$ , e pode ser observado nos gráficos 16 a 19, que os valores encontrados pelos alunos aproximam-se de 50s, que é o valor aproximado da meia vida do radônio-220.

A atividade de mapeamento da concentração de filhos do Rn<sup>222</sup> da série do U<sup>238</sup> nas salas de aula do colégio foi realizada no contra turno e no dia em que a atividade foi realizada participaram: cinco alunos, um Professor de Química, que no dia da realização da prática estava à disposição dos alunos interessados em aulas de reforço e o monitor do colégio.

A coleta foi realizada nos locais indicados no quadro 3. Os participantes limitaram-se a observação e era notável a ansiedade principalmente do Professor, pois não tinha conhecimento sobre a prática realizada. Nesta prática o tempo utilizado em cada coleta foi de 20 minutos.

<b>Local da coleta</b>	<b>Coletor utilizado</b>	<b>Filtro antes*</b>	<b>Filtro depois*</b>
- Sala Unilíngues	Cooler adaptado	1,35V	1,48V
- Vestiário piscina**	Cooler adaptado	1,35V	1,35V
- Sala ao lado Auditório	Cooler adaptado	1,35V	1,42V
- Sala ao lado da piscina**	Cooler adaptado	1,35V	1,35V
- Academia	Cooler adaptado	1,35V	1,41V

Quadro 3 - Locais de coleta dos filhos de Rn-222. \* Voltagem indicada no multímetro antes e depois da coleta. \*\*Abaixo do limite de detecção da câmara. Fonte: Autoria própria.

#### **5.4 Dificuldades encontradas pelo professor**

O mais importante deste estudo são as aplicações e os conceitos que podem ser abordados em sala através deste aparato experimental. Como toda prática experimental sempre existirá a possibilidade de algo dar errado, mas cabe ao professor saber contornar esses problemas.

A Física Nuclear é um conteúdo desconhecido para boa parte dos alunos e população em geral, como já havia mencionado anteriormente, então neste caso o professor deve se preparar para responder perguntas que vão além dos conteúdos abordados, principalmente quando o grupo de alunos envolvidos no estudo tem interesse nos conhecimentos que irão adquirir.

Alguns deles, diria quatro ou cinco, trouxeram perguntas de casa para serem feitas durante a atividade realizada e, conversando particularmente descobriu-se que a dúvida nem era deles, mas do pai ou da mãe, e foram perguntas que fugiam ao assunto discutido, mas que foram sendo respondidas ao longo da atividade.

Durante a prática demonstrativa foram encontrados alguns problemas, tendo em vista o grande número de alunos, cerca de 30 estudantes, sendo que muitos não conseguiam enxergar o que se passava. Foi solicitado aos alunos que se aproximassem, para que ficassem em volta da mesa onde estava sendo realizada a demonstração, mas mesmo assim alguns ainda não conseguiam ver. A solução encontrada foi filmar com o computador e projetar a filmagem, utilizando-se o data show. Depois de preparado o computador para filmagem, conectado ao data show, foi solicitado a todos para que voltassem a seus lugares iniciando-se novamente a demonstração para toda a turma.

Algumas dificuldades também surgiram durante a prática realizada pelos alunos, tendo em vista que eram seis grupos e tinha apenas dois vidros, com as camisinhas disponíveis, para os demais grupos as camisinhas estavam dentro de embalagem plástica com zíper, o que dificultou a retirada do gás para realizar a prática.

Considerando que os grupos que tinham o vidro descartável estavam conseguindo, usou-se um dos vidros para passar de grupo em grupo, até que todos conseguissem realizar a prática proposta. Dois grupos fizeram todo o procedimento, ou seja, medidas, tabela, gráfico e cálculo da constante de desintegração. O valor encontrado estava muito distante do ideal e resolveram realizar o procedimento novamente. Os alunos não conseguiram concluir a prática em sala e ficou combinada a entrega dos resultados por *email*.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa propôs práticas experimentais de baixo custo para o ensino de Física Nuclear. E para atingir tal objetivo foi proposta a construção de uma câmara de ionização, utilizando material de baixo custo e elaborado um roteiro de práticas experimentais, também com material de baixo custo.

Os materiais utilizados na construção da câmara de ionização e as fontes radioativas utilizadas estão de acordo com a problemática apresentada. As fontes utilizadas possuem meia vida curta ou são de baixa intensidade. A câmara de ionização é sensível o suficiente para medir a radiação emitida pelas fontes. Tanto os materiais utilizados na construção da câmara de ionização quanto às fontes são acessíveis aos vários níveis de ensino.

Sobre a viabilidade da proposta esta foi concretizada com a oficina oferecida aos professores do PDE, que, por meio de perguntas, discussões e opiniões, mostraram-se favoráveis a utilização em suas aulas de Física, com algumas adaptações, tanto da construção da câmara, como dos roteiros propostos.

A participação dos professores foi importante, pois durante a oficina eles construíram suas próprias câmaras de ionização, que foram utilizadas para realizar as práticas. Observou-se grande dificuldade de alguns professores na manipulação de algumas ferramentas, como: ferro de solda, alicate e outros. Deixando a dúvida sobre a preparação que os professores recebem durante a graduação.

Com relação à implementação, realizada numa escola particular de Guarapuava, pode ser confirmado que houve aceitação dos alunos que se mostraram interessados e participativos das atividades, mesmo que no início muitos estavam apreensivos, especialmente quanto à sensação de curiosidade que os cercava, pois se tratava de algo desconhecido, ou seja, o assunto radiação não tem a abordagem que deveria em sala de aula.

Mesmo sabendo que a maioria dos materiais didáticos não aborda Física Nuclear, foi realizada uma adaptação dos conteúdos e as três aulas utilizadas foram suficientes para implementação. Assim, foi possível nas três aulas abordar os principais assuntos de Física Nuclear, realizar duas práticas em aula e uma terceira no contra turno.

Os resultados obtidos pelos professores e alunos, participantes da pesquisa, mostram que a câmara de ionização tem estabilidade, sensibilidade suficientes para a

realização de experimentos didáticos e as práticas propostas apresentaram resultados satisfatórios

Os experimentos são robustos, visto que os mesmos foram obtidos por professores e alunos, que realizaram as práticas pela primeira vez. Demonstrando que não é necessário nenhum tipo de habilidade, mesmo sabendo que algumas das práticas nunca tinham sido realizados em sala de aula.

Outra consideração importante é que a manipulação das fontes radioativas requer alguns cuidados, principalmente em relação ao local de armazenamento, evitar o manuseio excessivo, lavar as mãos após o uso, deixar fora do alcance de crianças que possam colocar as embalagens na boca, pois mesmo sendo de baixa intensidade as fontes emitem radiação.

Como sugestão para trabalhos futuros:

- o desenvolvimento de um circuito mais estável para a câmara de ionização;
- práticas experimentais utilizando outras fontes radioativas;
- medidas de atenuação da radiação no papel, alumínio, vidro, água, chumbo.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, J. A. S., GASPARINI, P. **Gamma-Ray Spectrometry of Rocks**. Elsevier Publishing Company, Amsterdam/London/New York. 1970. P.104-129.

**ALPHA DISASTER CONTINGENCIES**. Disponível em: <<http://www.alpharubicon.com/basicnbc/article16radiological71.htm>>. Acesso em: 17 de outubro de 2014.

ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. S. Atividades experimentais no ensino de Física: Diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 25, n. 2, p.176-194, jun, 2003.

ARRUDA, S. M., TOGUINHO FILHO, D. O. Laboratório Caseiro de Física Moderna. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 8, n. 3, dez, p.390-395, 1991.

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: 09 de fevereiro de 2015.

BOGDAN, R.C.; BIKLEN, S.K. **Qualitative research for education: an introduction to theory and methods**. Boston: Allyn and Bacon, 1982. In: FELL, A.; XIMENES, A.; NUNES, J. Pesquisa qualitativa em sistemas de informação: um estudo introdutório de suas possibilidades. **Revista da Ciência da Administração** – versão eletrônica – vol. 01, jan. / jun. 2007- Disponível em: <http://repositorio.ufpe.br/xmlui/handle/123456789/10060>. Acesso em: 21 set. 2015.

BONADIMAN, H., NONENMACHER, S.E.B. O gostar e o aprender no ensino de física: uma proposta metodológica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 2: p. 194-223, ago. 2007.

CARDOSO, E. M., **Programa de Integração Cnen – Pic Módulo Informação Técnica**. Apostila Educativa da CNEN, 2003. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp> Acesso em 10 de maio de 2015.

CARVALHO, A. M. P. **Enculturação Científica: uma meta no ensino de ciências**. Texto apresentado no XIV ENDIPE , Porto Alegre, abril, p. 12, 2008.

CNEN, **Apostila Educativa. Aplicações da Energia Nuclear**. Rio de Janeiro 2003. Disponível em: < <http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/aplica.pdf>>. Acesso em: 10 de maio de 2015.

CNEN, **Apostila Educativa. Energia Nuclear**. Rio de Janeiro 2003. Disponível em: < <http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/energia.pdf>>. Acesso em: 10 de maio de 2015.

CNEN, **Apostila Educativa. Radiações Ionizantes e a vida.** Rio de Janeiro 2003. Disponível em: <[http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/rad\\_ion.pdf](http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/rad_ion.pdf)>. Acesso em: 10 de maio de 2015.

CNEN, **Apostila Educativa. Radioatividade.** Rio de Janeiro 2003. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/radio.pdf>>. Acesso em: 10 de maio de 2015.

CNEN, **Apostila Educativa. A Energia Nuclear e suas aplicações.** Rio de Janeiro 2003. Disponível em: <[http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/energia\\_aplic.pdf](http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/energia_aplic.pdf)>. Acesso em: 10 de maio de 2015.

CNEN. **PRINCÍPIOS BÁSICOS DE SEGURANÇA E PROTEÇÃO RADIOLÓGICA.** Porto Alegre, 2014. Disponível em: <[http://www.cnen.gov.br/seguranca/documentos/Princ%C3%ADpios\\_B%C3%A1sicos\\_de\\_Seguran%C3%A7a\\_Prote%C3%A7%C3%A3o\\_Radiol%C3%B3gica.pdf](http://www.cnen.gov.br/seguranca/documentos/Princ%C3%ADpios_B%C3%A1sicos_de_Seguran%C3%A7a_Prote%C3%A7%C3%A3o_Radiol%C3%B3gica.pdf)>. Acesso em: 10 de maio de 2015.

CNEN, **PROGRAMA DE INTEGRAÇÃO CNEN - PIC MÓDULO INFORMAÇÃO TÉCNICA.** Rio de Janeiro 2003. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/PIC.pdf>>. Acesso em: 10 de maio de 2015.

CNEN, **Posição Regulatória - CNEN-3.01/001.** Critérios de Exclusão, Isenção e Dispensa de Requisitos de Proteção Radilógica, 2011.

ENGEL, G. I. Pesquisa-ação. **Revista Educar**, Curitiba, n. 16, p. 181-191, 2000.

EISBERG R., RESNICK R. **Física Quântica**, 3ª Ed. Rio de Janeiro: Ed. Campus, 1985.

FREIRE, A. M. Trabalho experimental na sala de aula; perspectivas dos professores. **Pro Posições**, Campinas, v.7, n.1, p. 14-23. 1996.

HALIDAY, David & RESNICK, Robert & MERRILL, John. **Fundamentos de Física- Gravitação, Ondas e Termodinâmica.** 6ª Ed. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 2002. Vol. II.

KURAMOTO, R. Y. R., **Teoria 2 – Detector de Radiação.** IPEN-CNEN/SP. São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://www.geocities.ws/renatokuramoto/ipn0025/A2.pdf>>. Acesso em 27 de abril de 2015.

LEO, W. R. **Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments.** A HOW-TO APPROACH 1997

MARUMO, J. T. **Avaliação da Contaminação Provocada por Pára-Raios Radioativos de Amerício Descartados em Lixões.** São Paulo, 2006. 142f (Tese Doutorado Ciências dos Materiais – Autarquia Associada à Universidade de São Paulo – IPEN)

MOREIRA, M. A. ROSA, P. R. S. **Subsídios metodológicos para o professor pesquisador em ensino de ciências: métodos qualitativos e quantitativos**. Porto Alegre, 2008. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/Subsidios11.pdf>>. Acesso em 03 de junho de 2015.

RIBAS, R.V. **Instrumentação Nuclear**. Instituto de Física, Departamento de Física Nuclear - USP. 2011. Disponível em: <<http://www.dfn.if.usp.br/~ribas/download/InstrumentacaoNuclear-RVR.pdf>>. Acesso em 05 de maio de 2015.

SEARS, F.; ZEMANSKY, M. K.; YOUNG, H. D. (1984) **Física: Ondas Eletromagnéticas. Óptica. Física Atômica**. 2ª Ed. Editora LTC. Vol 4. Rio de Janeiro -RJ.

SILVA, E. L. da; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. 4. ed.** Revista Atual. Florianópolis: UFSC, 2005. 138 p. Disponível em: <[http://tccbiblio.paginas.ufsc.br/files/2010/09/024.Metodologia\\_de\\_pesquisa\\_e\\_elaboracao\\_de\\_teses\\_e\\_dissertacoes1.pdf](http://tccbiblio.paginas.ufsc.br/files/2010/09/024.Metodologia_de_pesquisa_e_elaboracao_de_teses_e_dissertacoes1.pdf)>. Acesso em 27 de abril de 2015.

SILVA, N. C., Laboratório virtual de Física Moderna: Atenuação da radiação pela matéria. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. 3, p. 1206-1231, 2012.

SILVEIRA, D. T., GERHARDT, T. E. **Métodos de pesquisa**, 1ª Ed. Porto Alegre. Ed. UFRGS, 2009.

TERRAZZAN E. A., A Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na Escola de 2º grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.9, n.3: p.209-214, dez.1992.

TEXAS RADIATION - Halflife and Decay, 1996. Disponível em: <<http://texasradiation.org/decay.html>>. Acesso em: 27 de abril de 2014.

VICENTE, R. **Gestão de fontes radioativas seladas descartadas**. 2002. 124 f. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear Aplicações). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Autarquia Associada à Universidade de São Paulo, São Paulo. 2002.

WENZEL, C. **Radon Detector for the Student**. Disponível em: <<http://www.techlib.com/science/ionchamber.htm>>. Acesso em: 01 de março de 2014.