

Marcos Antonio Borcard Pessanha

**CÂMARA DE WILSON – UMA PROPOSTA DE EXPERIMENTO UTILIZANDO
MATERIAL DE BAIXO CUSTO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado para obtenção da certificação de Especialista pelo Programa de Pós-Graduação em Proteção Radiológica e Segurança de Fontes Radioativas do Instituto de Radioproteção e Dosimetria da Comissão Nacional de Energia Nuclear.

Orientador: Dr. Fernando Barcellos Razuck

Rio de Janeiro – Brasil
Instituto de Radioproteção e Dosimetria – Comissão Nacional de Energia Nuclear
Coordenação de Pós-Graduação
2017

T

xxxxxxx

zzzzz

Pessanha, Marcos Antonio Borcard
Câmara de Wilson - Uma Proposta de Experimento Utilizando
Material de Baixo Custo/Marcos Antonio Borcard Pessanha Rio de
Janeiro: IRD/IAEA, 2017.

XIII, 100 f.: il.; gr.; tab.; 29 cm.

Orientador: Dr. Fernando Barcellos Razuck

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização (Lato Sensu)
em Proteção Radiológica e Segurança de Fontes Radioativas) –
Instituto de Radioproteção e Dosimetria. 2017.

Referências bibliográficas: f. 46 – 47

1.Câmara de Wilson 2. Física das Partículas 3. Ensino de
Ciências

Marcos Antonio Borcard Pessanha

**CÂMARA DE WILSON – UMA PROPOSTA DE EXPERIMENTO UTILIZANDO
MATERIAL DE BAIXO CUSTO**

Rio de Janeiro, de Novembro de 2017.

Prof. Dr. Fernando Barcellos Razuck – IRD/CNEN

Prof. Dr. Edimar Carvalho Machado – IFRJ

Prof. Dr. Aucyone Augusto da Silva – IRD/CNEN

O presente trabalho foi desenvolvido no Instituto de Radioproteção e Dosimetria da Comissão Nacional de Energia Nuclear, sob a orientação de Prof. Dr. Fernando Barcellos Razuck.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por tudo que tem feito na minha vida.

Aos meus pais em memória, pela educação e incentivo aos estudos que me deram durante, e aos meus irmãos, aos filhos pela compreensão e demais parentes, por todo carinho e amor, e pela confiança que depositaram em mim na conclusão deste curso.

Este trabalho não seria possível sem a orientação segura, transmissão de conhecimentos, paciência, atenção, dedicação, incentivo do professor Dr. Fernando Barcellos Razuck, para quem vai o meu muito obrigado!

Ao Instituto de Radioproteção e Dosimetria – Comissão Nacional de Energia Nuclear (IRD/CNEN),

Ao corpo docente da pós-graduação, pela sabedoria, respeito e profissionalismo em todos os instantes do curso.

A todos os professores, pesquisadores e funcionários do Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* do IRD.

Em especial aos professores Paulo Roberto Rocha Ferreira e Raul dos Santos, que me auxiliaram na realização dos experimentos.

Aos meus colegas de turma e principalmente aos filhos de Fernando, pelo carinho e atenção prestada durante o curso.

“A falta de laboratórios e equipamentos não se constitui em fator principal para a completa omissão de atividades experimentais no ensino de Física.” (SILVA; BUTKUS, 1985, p. 109).

RESUMO

Pode-se afirmar que a aula prática é de extrema relevância para o aprendizado científico. Porém, nem todas as escolas do país possuem a infraestrutura laboratorial necessária para a realização de experimentos, exigindo que os mesmos sejam realizados de forma demonstrativa ou com o uso de materiais de baixo custo. Além disso, mesmo nas escolas que possuem laboratório de Ciências, apenas poucos professores se dedicam às atividades práticas, seja no laboratório ou em outro ambiente, enquanto os demais ou não se interessam por realizá-las ou estão com a carga horária máxima em sala de aula ou por simples desinteresse por essa estratégia de ensino-aprendizagem. Nesse sentido, a importância da aula experimental para o ensino de Ciências, e em particular para o ensino de Física, deve-se ao fato de ser uma disciplina onde existem muitas fórmulas, na qual os alunos apresentam muita dificuldade em assimilar os conteúdos, e caso o professor somente se baseie no quadro-negro e nos livros didáticos, se tornarão monótonas e não atrativas, de forma que os alunos não conseguirão associar os conteúdos com a vida cotidiana. Com o intuito de reduzir essas deficiências, a utilização de um experimento ajudaria no entendimento do conteúdo. Assim, este trabalho tem como objetivo construir um modelo de uma Câmara de Wilson utilizando para isso materiais de baixo custo, a fim de mostrar as trajetórias das partículas fundamentais em sala de aula, assunto que faz parte do conteúdo da Física Moderna. Este experimento tem como foco a observação da emissão de radiação por intermédio da condensação do vapor existente dentro de um ambiente. Para a realização deste trabalho foi feita uma revisão das práticas existentes na literatura em na *internet*. Apesar da aparente simplicidade do experimento, conclui-se pela dificuldade em executá-la, conforme indicado na revisão bibliográfica, e também pela problemática na obtenção de fontes radioativas para a execução da mesma. Porém, pretende-se com este trabalho discutir a importância da demonstração das partículas fundamentais por meio da Câmara de Wilson para o ensino da Física Moderna e pelo aprimoramento da prática, com a utilização de materiais de baixo custo.

Palavras-chave: Câmara de Wilson, Física das Partículas, Ensino de Ciências

ABSTRACT

It can be said that the practical class is of extreme relevance for the scientific learning. However, not all schools in the country have the necessary laboratory infrastructure to conduct experiments, requiring them to be conducted in a demonstrative manner or with the use of low-cost materials. In addition, even in schools that have a Science laboratory, only a few teachers engage in practical activities, whether in the laboratory or in another environment, while others are not interested in doing them or have the maximum hours in the classroom, or by simple disinterest for this teaching-learning modality. In this sense, the importance of the experimental class for the teaching of Sciences, and in particular for the teaching of Physics, is due to the fact that it is a discipline where there are many formulas, in which the students present very difficult to assimilate the contents, and if the teacher is only based on the chalkboard and the textbooks, they will become monotonous and unattractive, so that the students will not be able to associate the contents with everyday life. In order to reduce these shortcomings, using an experiment would help in understanding the content. Thus, this work aims to build a model of a Wilson Chamber using low cost materials in order to show the trajectories of the fundamental particles in the classroom, a subject that is part of the content of Modern Physics. This experiment focuses on observing the emission of radiation by radioactive material through the condensation of the existing vapor within an environment. For the accomplishment of this work a review of the existing practices in the literature in the Internet was made. In spite of the apparent simplicity of the experiment, it is concluded that it is difficult to perform it, as already indicated in the bibliographical review, and also because of the problem in obtaining radioactive sources for its execution. However, the aim of this work is to discuss the importance of the demonstration of the fundamental particles by means of the Wilson Chamber for the teaching of Modern Physics and for the improvement of the practice with the use of low cost materials.

Keywords: Wilson Chamber, Particle Physics, Science Teaching

LISTA DE TABELAS E FIGURAS

Tabela 1	Resumo das Partículas Fundamentais	21
Figura 1	Os Raios Cósmicos	23
Figura 2	Imagem do <i>Bronckenspectre</i>	24
Figura 3	Câmara de Nevoeiro de Wilson	25
Figura 4	Os Raios Cósmicos Secundários	26
Figura 5	Esquema da Câmara de Wilson	27
Figura 6	Partícula α emitida pelo Radio	27
Figura 7	Partícula α e β emitida pelo Radio	28
Figura 8	Raio-X	28
Figura 9	Traços Observados para a Emissão de partículas α	29
Figura 10	Traços Observados para a Emissão de Muões	30
Figura 11	Traços Observados para a Emissão de Pósitrons	30
Figura 12	Traços Observados para a Emissão de Raios Cósmicos	31
Figura 13	Modelo Proposto	34
Figura 14	Modelo 1	36
Figura 15	Modelo 2	37
Figura 16	Modelo 3	38
Figura 17	Modelo 4	40
Figura 18	Fontes Encontradas na <i>Internet</i>	41
Figura 19	Material educativo para a Construção de uma Câmara de Nevoeiro	42
Figura 20	“Atomic EnergyLAB”	42
Figura 21	Requisição de pedido	43

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. Apresentação	11
1.2. Referencial Teórico – A Importância da Experimentação no Ensino de Física	12
1.3. Laboratórios Didáticos	14
1.3.1. Laboratório de Demonstração ou Experiência de Cátedra	15
1.3.2. Laboratório Tradicional ou Convencional	15
1.3.3. Laboratório Divergente	16
1.3.4. Laboratório de Projetos	17
1.3.5. Laboratório Biblioteca	17
1.4. Partículas Fundamentais	17
1.4.1. Elétron ou Negatron	18
1.4.2. Próton	18
1.4.3. Nêutron	18
1.4.4. Pósitron ou Elétron Positivo	19
1.4.5. Neutrino	19
1.4.6. Fóton	20
1.4.7. Méson (ou Múon)	20
1.4.7.1. Mésons Leves ou Mésons Mu	20
1.4.7.2. Mésons pesados ou Mesons η	20
1.4.7.3. Mésons Neutros	21
2. OBJETIVOS	21
2.1. Objetivos Gerais	21
2.2. Objetivos Específicos	22
3. METODOLOGIA	22
4. RESULTADOS	22
4.1. A História da Câmara de Neveiro e de Wilson	22
4.1.1. Definição	22
4.1.2. A Câmara de Wilson	24
4.2. Construção da Câmara Utilizando Material de Baixo Custo	28
4.2.1. Aspectos Teóricos – Traços Observados	29
4.2.2. Revisão da Prática	31
4.2.3. Modelos Propostos da Câmara Utilizando Material de Baixo Custo	32
4.2.3.1. Montagem da Câmara	34
4.2.3.2. Modelos	34
4.2.3.2.1. Modelo 1	34
4.2.3.2.2. Modelo 2	36

4.2.3.2.3. Modelo 3	37
4.2.3.2.4. Modelo 4	38
4.3. Curiosidades	40
4.3.1. Fontes Radioativas Encontradas na <i>Internet</i>	40
4.3.2. Brinquedos Radioativos	41
5. ANÁLISE E DISCUSSÃO	44
6. CONCLUSÃO	44
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1. INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação

Pode-se dizer, conforme será apresentado posteriormente, que a maioria dos professores de Física não se interessa em desenvolver alguma atividade experimental para seus alunos no laboratório. Os motivos para isso são os mais variados, indo desde a dificuldade na montagem até a execução do experimento.

Nesse sentido, a utilização de materiais de baixo custo para a realização de aulas práticas torna-se um possível instrumento a ser utilizado em sala de aula. No caso deste trabalho, propõe-se a montagem de uma Câmara de Wilson, utilizando materiais do cotidiano, para o entendimento das partículas fundamentais e radiações na disciplina Física Moderna, trabalhada durante o Ensino Médio nas escolas.

Vale destacar, com relação à Física Moderna, que ela está presente no cotidiano das pessoas sem que as mesmas percebam a sua presença, como por exemplo, nos aspectos físicos da radioatividade. Assim,

A influência crescente dos conteúdos de Física Moderna e Contemporânea para o entendimento do mundo criado pelo homem atual, bem como a inserção consciente, participativa e modificadora do cidadão neste mesmo mundo, define, por si só, a necessidade de debatermos e estabelecermos as formas de abordar tais conteúdos na escola de 2º grau (TERRAZZAN, 1992, p. 210).

A motivação para se desenvolver este trabalho ocorreu no início das aulas da Pós-Graduação *Lato Sensu* – Especialização em Proteção Radiológica e Segurança de Fontes Radioativas, oferecido conjuntamente pelo Instituto de radioproteção e Dosimetria (IRD) e pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), quando a turma foi dividida em duplas para a apresentação de um capítulo do livro “Física em Medicina Nuclear Temas e Aplicações”, de João José Pedroso de Lima, como trabalho final para o “Módulo 0 - Revisão de Matemática”, oferecida pelo Prof. Fernando Razuck. Coube à dupla composta pelo autor deste trabalho desenvolver e apresentar o capítulo três do livro, que tem por título “Física do Positrão”.

No subtítulo “História e conceito gerais” encontra-se escrito “Depois disso, as primeiras indicações experimentais do positrão foram observadas em 1932 por Anderson através de fotografias de raios cósmicos numa *Câmara de Neveiro*” (DE

LIMA, 2008, p. 77), o que despertou o interesse de introduzir esse experimento no estudo de partículas fundamentais na disciplina Física Moderna como um auxílio à compreensão do conteúdo, pelo fato do autor ser professor da rede pública e particular de ensino, e saber da dificuldade de se abordar o tema em sala de aula.

Outros fatores que contribuíram para a realização deste trabalho foram os obstáculos relatados para a não execução de atividades práticas por vários professores e pesquisadores, conforme observado durante a experiência como professor, pelo autor. Cabe ressaltar que houve melhorias nesses últimos anos, mas a realidade que se presencia hoje ainda está muito longe de acontecer; a teoria e a prática ainda percorrerão um longo caminho até se tornarem complementares entre si.

Assim, neste trabalho serão apresentados os conceitos a respeito das partículas fundamentais, uma revisão das propostas de Câmara de Wilson e Nevoeiro por vários professores, pesquisadores e físicos, uma proposta de construção de uma câmara com a utilização de materiais de baixo custo a ser utilizada em sala de aula, e por fim, as conclusões a respeito desta prática.

1.2. Referencial Teórico – A Importância da Experimentação no Ensino de Física

Partindo-se das observações do autor deste trabalho como professor do Ensino Médio, pode-se dizer que o ensino de Física, por ser uma disciplina predominantemente teórica e as aulas serem principalmente expositivas, leva os alunos à apresentarem dificuldades em compreendê-la, o que remete a um grande desinteresse pelas aulas. Nesse sentido, as aulas experimentais possuem um grande valor didático, tendo em vista a necessidade de se demonstrar a aplicação prática daquilo que é discutido em sala de aula.

Cabe ressaltar que em certas escolas os professores que ministram as aulas de Física não possuem formação específica na área, por isso alguns nunca vivenciaram uma atividade experimental durante a sua formação.

A estrutura das escolas é outro empecilho à prática experimental, pois muitos desses laboratórios são utilizados como laboratório de Ciências, compartilhando o espaço com a Biologia e a Química.

Com o objetivo de tornar as aulas mais atraentes para os alunos há a necessidade de se trazer objetos de estudos diferentes para dentro da sala de aula, com o intuito de obter uma maior participação dos alunos. Então, o uso da experimentação torna-se um recurso auxiliar no ensino a ser aplicado nas aulas, uma vez que, utilizando a experimentação, o aluno observa o fenômeno físico, comprova as teorias que o envolve, despertando assim o interesse pelo tema.

Os professores de Física têm conhecimento que qualquer aula prática introduzida na sala de aula desperta um forte interesse dos alunos em diversos níveis de escolaridade. A experimentação produz um caráter motivador para o aluno, aumenta a capacidade de aprendizado e é um meio de envolver o aluno nos temas que estão em pauta.

Apesar disso, há mais de 2300 anos, Aristóteles defendia a experiência quando afirmava que "quem possua a noção sem a experiência, e conheça o universo ignorando o particular nele contido, enganar-se-á muitas vezes no tratamento" (*Aristóteles, 1979*). Assim, a experiência já era um método imprescindível para atingir o conhecimento.

De acordo com Gomes *et al.* (2008), o ensino e a aprendizagem de Ciências, por meio de atividades práticas investigativas, vêm ganhando espaço e importância por serem atividades prático-experimentais propostas aos estudantes e que envolvem a resolução de problemas mal definidos e pouco estruturados, onde os alunos são desafiados a coletar dados e informações que os levem a propor soluções razoáveis.

Ainda segundo Gomes *et al.* (2008), as investigações são atividades educacionais em que os estudantes investigam um conjunto de fenômenos, e a partir da realização de observações e experimentos, propõem conclusões e inferências.

Assim, as atividades práticas baseadas em investigações são atividades

[...] nas quais os estudantes utilizam os processos e métodos da Ciência para investigar fenômenos e resolver problemas como meios de aumentar e

desenvolver seus conhecimentos, e fornecem um elemento integrador poderoso para o currículo. Ao mesmo tempo, os estudantes adquirem uma compreensão mais profunda da atividade científica, e as investigações tornam-se um método tanto para aprender Ciência como aprender sobre a Ciência (HODSON, 1992, p. 549).

Por serem as aulas teóricas mal ministradas, acaba-se por torná-las desmotivantes. Logo, a atividade experimental pode ser uma facilitadora para um conhecimento mais aprofundado sobre o conteúdo, uma vez que

as atividades experimentais permitem aos alunos o contato com o objeto concreto, tirando-os da zona de equilíbrio e colocando-os em zona de conflito, construindo mais conhecimentos e posteriormente retornando a zona de equilíbrio (CAMPOS *et al.*, 2012, p. 5).

Segundo Araújo e Abib (2003), a experimentação tem a capacidade de estimular a participação ativa dos estudantes, despertando sua curiosidade, propiciando a construção de um ambiente motivador, o que aumenta a probabilidade de elaboração de conhecimentos no desenvolvimento de habilidades, atitudes e competências.

Porém, para que a experimentação proporcione a aprendizagem, estas devem ter um enfoque investigativo, de forma que os estudantes participem ativamente de todos os processos da experimentação, de maneira que a aprendizagem sirva para a vida do estudante como um todo (CARRASCOSA *et al.*, 2006).

Portanto, de acordo com Alves Filho (2000), a Física sempre esteve muito ligada aos procedimentos e práticas experimentais, tanto que, dentre as Ciências Naturais, sempre foi aquela que tem uma relação bastante estreita com atividades ligadas ao laboratório. Assim, a introdução do laboratório didático no processo de ensino ocorreu naturalmente, vinculando o laboratório didático ao processo ensino-aprendizagem.

Alves Filho (2000) realizou então uma revisão de propostas assumidas para um laboratório didático, conforme mostrado abaixo.

1.3. Laboratórios Didáticos

Os experimentos didáticos, como prática educacional, podem ser realizados tanto em sala de aula como em laboratórios tradicionais. Entretanto, existem diferenças de enfoques ou abordagens nas aulas práticas, propiciando aos alunos uma vivência e manuseio de instrumentos que lhes permitem conhecer diversas atividades, estimulando a curiosidade e a vontade em aprender a vivenciar ciência, sendo incentivados a conhecer e aprender a aplicar a teoria na prática.

Com o laboratório pode-se desenvolver o trabalho em grupo, favorecendo assim, a discussão, o desenvolvimento e a prática de habilidades intelectuais, a conceituação e o aprofundamento da compreensão dos alunos. Essa forma de trabalho permite ainda a discussão e busca de soluções para problemas variados.

Assim, os tipos de laboratórios podem ser divididos em laboratório de: demonstrações (ou experiência de cátedra), tradicionais (ou convencional), divergente, projetos e biblioteca.

1.3.1. Laboratório de Demonstrações ou Experiência de Cátedra

Nesse tipo de laboratório, o papel ativo é do professor, enquanto ao aluno cabe a atribuição de mero espectador. A função básica destas atividades é ilustrar tópicos trabalhados em sala de aula. Envolve atividades como complementar conteúdos tratados em aulas teóricas; facilitar a compreensão; tornar o conteúdo agradável e interessante; auxiliar o aluno a desenvolver habilidades de observação e reflexão e apresentar fenômenos físicos.

Já segundo Gaspar e Monteiro (2005), as atividades experimentais de demonstrações dessa natureza não se restringem somente à sala de aula, sendo apresentada em outros ambientes como em conferências, palestras, museus e centros de ciências.

1.3.2. Laboratório Tradicional ou Convencional

Aqui, a atribuição de manipular os equipamentos e realizar a experiência é do aluno. A atividade geralmente é acompanhada por um texto-guia, estruturado e organizado, que serve de roteiro para o aluno. Porém, mesmo tendo uma

participação ativa, a liberdade de ação do aluno é limitada, assim como o seu poder de decisão, seguindo às restrições estabelecidas no roteiro, impossibilitado de modificar a montagem experimental.

Neste tipo de laboratório os experimentos são estruturados. Com isso reduz-se o tempo de reflexão do aluno, assim como a decisão a ser tomada para o próximo passo experimental. É um laboratório tipo receita de bolo, onde estão descritas as variáveis a serem observadas, o que medir e como medir, não proporcionando ao aluno decidir. Tudo é dirigido para a tomada dos dados, elaboração de gráficos, análise dos resultados e comentários sobre erros experimentais.

1.3.3. Laboratório Divergente

O laboratório divergente foi uma proposta que veio de encontro ao laboratório tradicional (ou convencional), pois não apresenta a rigidez organizacional deste. Sua dinâmica de trabalho possibilita ao estudante trabalhar com sistemas físicos reais, oportunizando a resolução de problemas cujas respostas não são pré-concebidas, adicionado ao fato de poder decidir quanto ao esquema e ao procedimento experimental a ser adotado.

Esse enfoque prevê dois momentos: o primeiro é denominado de “exercícios”, em que os estudantes devem cumprir uma série de etapas comuns a todos; prevê a descrição detalhada dos experimentos, os procedimentos a serem adotados, as medidas a serem tomadas e o funcionamento dos instrumentos de medida, com o objetivo de familiarizar os alunos com os equipamentos e técnicas de medida, visando o treino e ambientação do aluno, preparando-o para a segunda fase. A segunda fase é denominada de “experimentação”, onde caberá ao aluno decidir qual atividade realizará, quais seus objetivos, que hipóteses serão testadas e como realizará as medidas.

Após o planejamento, o aluno estabelecerá uma discussão com o professor, com o intuito de realizar eventuais correções e, principalmente, de viabilizar a atividade com o material disponível e dentro do prazo previsto.

1.3.4. Laboratório de Projetos

Está mais vinculado ao treinamento de uma futura profissão, no caso, a de físico, do que ao ensino de modo geral. Entusiasmo pela sua ampla liberdade de ação por parte do estudante, traz consigo um conjunto de infraestrutura necessária e relativo grau de recursos financeiros.

O laboratório de projetos, via de regra, é oferecido aos estudantes de cursos de graduação, nos últimos estágios do curso de formação, pois é necessário que o aluno tenha passado por um treinamento anterior em laboratório do tipo tradicional ou divergente.

Este laboratório tem como objetivo um ensaio experimental novo que, em última instância, oportunizaria um relatório experimental próximo a um trabalho a ser publicado.

1.3.5. Laboratório Biblioteca

Consiste em experimentos de rápida execução, permanentemente montados e à disposição dos alunos, tal como os livros de uma biblioteca. O material oferecido tem como característica o fácil manuseio, de modo a permitir aos alunos a realização de dois ou mais experimentos no período reservado para a aula de laboratório.

Não foge muito do tradicional, apenas a quantidade de medidas realizadas, dados tabulados e gráficos solicitados, aqui é menor. O roteiro é estruturado e pouco flexível, somente reduzido na quantidade de registros solicitados.

Após essa revisão da classificação dos laboratórios de ensino, serão apresentadas as partículas fundamentais que podem ser detectadas pela Câmara de Wilson.

1.4. Partículas Fundamentais

Chamam-se partículas fundamentais as partículas constituintes do átomo (antigamente eram chamadas partículas elementares; mas, depois se descobriu que várias delas podem se desdobrar em duas ou mais partículas, isto é, não são

elementares). Atualmente são conhecidas onze partículas fundamentais cuja existência está definitivamente comprovada.

Além dessas, há várias que foram descobertas recentemente e cujas propriedades são pouco conhecidas. As onze partículas são: Elétrons ou Negatron; Próton; Nêutron; Pósitron ou Elétron Positivo; Neutrino; Méson Leve Positivo; Méson Leve Negativo; Méson Pesado Positivo; Méson Pesado Negativo; Méson Pesado Neutro; e Fóton.

Essas partículas serão apresentadas agora, baseado em USP (2017).

1.4.1. Elétron ou Negatron (ē)

Os elétrons são partículas fundamentais estáveis, carregadas negativamente e jamais se desintegram em outras partículas. Sua existência foi definitivamente comprovada em 1897, por J.J. Thomson. Os elétrons podem ser emitidos pelas substâncias radioativas e nesse caso são chamados de partícula beta (β). Possui massa ($9,109 \times 10^{-31}$ Kg) e carga elétrica igual a $-1,602 \times 10^{-19}$ C.

1.4.2. Próton (p)

Os prótons são partículas fundamentais estáveis, carregadas positivamente e, como o elétron, jamais se desintegra em outras partículas. Foi evidenciada pela primeira vez por Goldstein, em 1886, e mais tarde, em 1919, Rutherford obteve a prova definitiva da sua existência. O próton é o núcleo do átomo de hidrogênio. Possui massa ($1,673 \times 10^{-17}$ Kg) e carga ($+1,602 \times 10^{-27}$ C). É cerca de 1837 vezes mais pesado que o elétron.

1.4.3. Nêutron (n)

Foi descoberto por Chadwick, em 1932, com apoio dos trabalhos dos físicos Bothe, Becker e do casal Irene Curie – Frederic Joliot. É uma partícula neutra, não possui carga, não é desviada nem pelo campo elétrico e magnético. Por não possuir carga elétrica penetra na matéria com facilidade e por ser neutro não é repelido pelas cargas elétricas do material em que está penetrando, por isso é usado no

bombardeio dos átomos. Possui massa ($1,675 \times 10^{-27}$ kg) e carga zero. A massa do nêutron é maior que a soma das massas do próton e do elétron.

1.4.4. Pósitron ou Elétron Positivo (β^+ ; e^+)

O pósitron foi previsto por Dirac, em 1928, como uma anti-partícula do elétron. Depois disso, as primeiras indicações experimentais do pósitron foram observadas em 1932 por Anderson através de fotografias de raios cósmicos numa Câmara de Neveiro. DeBenedetti descobriu, em 1946, que o pósitron se aniquila com o elétron da matéria, produzindo a emissão de dois raios gama não colineares.

Esse fato foi interpretado como sendo devido à quantidade de movimento do elétron, concluindo que a conservação da quantidade de movimento e da energia do par de elétron – pósitron pode ser utilizada no estudo das propriedades da matéria.

O pósitron é um elétron positivo, isto é, possui massa ($9,109 \times 10^{-31}$ Kg) e carga elétrica igual a $1,602 \times 10^{-19}$ C. Por possuir carga elétrica é desviado na presença de campos elétricos e magnéticos; por ser positivo, desvia sempre no sentido oposto do elétron. O pósitron é uma partícula que é criada e destruída constantemente nos átomos, e por possuir vida muito curta é muito difícil sua observação.

1.4.5. Neutrino (ν^0)

As substâncias radioativas emitem partículas beta que são os elétrons. Os físicos estudando matematicamente essa emissão chegaram a um resultado que não puderam aceitar, verificaram que violava o princípio da conservação da energia, princípio válido para todos os fenômenos físicos.

Para manter o princípio da conservação da energia, quando da emissão de uma partícula beta, haveria a necessidade de que fosse emitida uma partícula neutra e de massa menor que a do elétron; então foi chamado de neutrino. O neutrino nunca foi observado pelo fato de possuir pequena massa e ausência de carga.

1.4.6. Fóton (γ)

Em 1905, Albert Einstein, estudando certos fenômenos em que intervém a luz, concluiu que para explicá-los não bastava considerar a luz como ondas eletromagnéticas. Além disso, era preciso admitir que essas ondas eletromagnéticas se propagassem por grupos, isto é, por pacotes. Esses pacotes de onda se comportavam como se fossem partículas materiais, que agora são chamados por fótons.

1.4.7. Méson (ou Múon)

1.4.7.1. Mésons Leves ou Mésons Mu (μ)

Em 1935, o físico Yukawa, estudando matematicamente o processo do equilíbrio entre os nêutrons e os prótons no núcleo dos átomos, concluiu o seguinte: para explicar esse equilíbrio, deve-se admitir a existência de uma outra partícula.

Concluiu matematicamente que essa partícula deve ter carga elétrica, e deve ter massa intermediária entre a do próton e a do elétron (daí o nome méson). No ano seguinte os físicos Carl D. Anderson e Neddermeyer comprovaram experimentalmente a existência da partícula, e verificaram o seguinte:

- 1) que esses mésons têm massa aproximadamente igual a 212 vezes a massa do elétron;
- 2) que têm carga elétrica de valor absoluto igual à do elétron;
- 3) que existem dois mésons com essa massa: um com carga positiva $+e$, outro com carga negativa $-e$.

Esses mésons são chamados mésons leves: o méson leve positivo e o méson leve negativo.

1.4.7.2. Mésons Pesados ou Mésons Pi (π)

Em 1947 os físicos Cesar Lattes, Ochialini e Powell descobriram mais dois mésons. São partículas que têm as seguintes características:

- 1) massa aproximadamente igual a 300 vezes a massa do elétron (daí o nome de mésons pesados, porque são mais pesados que os descobertos por Anderson e Neddermeyer);
- 2) um tem carga elétrica +e , outro têm –e.

Até 1948 esses quatro mésons só eram observados em raios cósmicos, isto é, chegados à superfície da Terra através da atmosfera. Nesse ano, o físico brasileiro Cesar Lattes, juntamente com o americano Eugene Gardner, conseguiu pela primeira vez produzir mésons no laboratório; isto é, conseguiu produção artificial de mésons.

1.4.7.3. Mésons Neutros

Tem massa de mesma ordem de grandeza que a dos mésons pesados, e não tem carga elétrica. Suas propriedades são muito pouco conhecidas.

As propriedades das partículas fundamentais estão resumidamente apresentadas na tabela 1.

Partícula	Símbolo	Carga C	Massa Kg
Elétron ou negatron	\bar{e}	$-1,602 \times 10^{-19}$	$9,1 \times 10^{-31}$
Próton	p	+e	$1,672 \times 10^{-27}$
Nêutron	n	0	$1,674 \times 10^{-27}$
Pósitron, elétron positivo	$\beta^+ e^+$	+e	$9,1 \times 10^{-31}$
Neutrino	$0\eta 0$	0	Insignificante
Fóton	γ	0	0
Méson leve positivo	μ	+e	212 vezes à do elétron
Méson leve negativo	μ	-e	212 vezes à do elétron
Méson pesado positivo	π	+e	300 vezes à do elétron
Méson pesado neutro		Não tem	300 vezes à do elétron

Tabela 1. Resumo das Partículas Fundamentais.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivos Gerais

Este trabalho tem por objetivo a construção de uma Câmara de Wilson utilizando materiais de baixo custo para ser utilizada em aulas experimentais da disciplina Física, mais especificamente, Física Moderna.

2.2. Objetivos Específicos

Visualizar os traços produzidos quando partícula carregada e radiação ionizante atravessam o ambiente da Câmara de Wilson.

3. METODOLOGIA

Foi realizada, inicialmente, uma revisão bibliográfica, por meio de artigos, vídeos e páginas da *internet* a respeito da construção da Câmara de Wilson e a utilização da mesma na sala de aula. Após essa busca, utilizou-se de materiais de baixo custo para a construção de um modelo a ser utilizado em aulas práticas.

4. RESULTADOS

Serão apresentados agora os resultados com relação à pesquisa bibliográfica, como os modelos de Câmara existentes e de curiosidade, como jogos baseados na Câmara e de fontes radioativas encontradas comercialmente. Por fim, serão apresentados os modelos desenvolvidos na tentativa de construção da Câmara.

4.1. A História das Câmaras de Neveiro e Wilson

4.1.1. Definição

De acordo com alguns autores (BOWLER, 2012; D'ANDREA, 2014; NOBELPRIZE.ORG, 2017; PINHEIRO, 2015) a Câmara de Neveiro, também chamada de Câmara de Wilson, trata-se de um detector de partículas inventado pelo físico escocês Charles Thomson Rees Wilson, em 1911, na Universidade de Cambridge, quando estudava o fenômeno de formação das nuvens.

Ela é basicamente um recipiente estanque contendo ar expandido que se torna supersaturado. A câmara contém uma mistura de ar e vapor de álcool, de forma que a condensação do vapor ocorrerá quando entrar em contato com uma partícula carregada com energia suficiente para ionizar os átomos em seu trajeto, deixando um traço característico. Esta Câmara tem sido objeto de estudo e pesquisa nas áreas de física nuclear e de partículas, sendo um instrumento capaz de mostrar traços produzidos pelas partículas elementares, quando atravessam esse ambiente.

Inclusive, uma das descobertas utilizando a Câmara de Neveiro foi o pósitron pelo físico americano Carl David Anderson, no Instituto de Tecnologia da Califórnia, em 1932, que dividiu o Prêmio Nobel de Física com Victor Franz Hess, que estudava a descarga dos eletroscópios carregados de eletricidade e que descarregavam sem que nenhuma carga se aproximasse dele. As primeiras conclusões na época foram que a velocidade de descarga aumentava conforme se distanciava da terra.

Em 1910, Albert Gockel realizou um vôo de balão e obteve conclusão contrária; então, Victor Franz Hess realizou o mesmo vôo e repetiu o experimento levando consigo uma Câmara de Ionização, registrando abaixo de 2000 metros poucas partículas, acima um número maior e na altitude de 5350 metros o aumento de partículas mais intenso.

Concluiu então que esse aumento era devido à radiação denominada como cósmica (que são geralmente prótons, elétrons, fótons, nêutrons, mésons, etc.), que são proveniente da Via Láctea. A Câmara de Neveiro foi um importante instrumento na investigação da radiação e partículas elementares, de forma que com ela, em 1912, Victor Hess identificou os raios cósmicos.

Abaixo uma figura onde observa-se o decaimento dos raios cósmicos na atmosfera terrestre (figura 1).

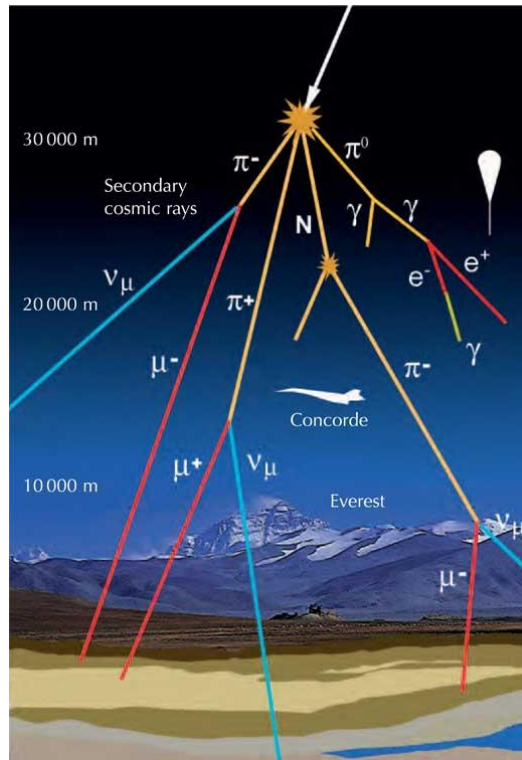


Figura 1: Os Raios C3smicos. Fonte: <http://www.scienceinschool.org/pt/2010/issue14/cloud>

4.1.2. A C3mara de Wilson

Segundo Bowler (2012), D'andrea (2014), Nobelprize.org (2017) e Pinheiro (2015), Wilson, que 3 a 3poca era pesquisador do laborat3rio Cavendish em Cambridge, visitou o Laborat3rio Bem Nevis, onde seu interesse pela forma3o das nuvens foi despertado. Durante a visita, Wilson observou um fen3meno conhecido como *Brockenspectre*, que 3 o efeito de arco-3ris dos raios do sol sobre as nuvens, em torno da sombra do observador (figura 2).



Figura 2: Imagem do *Brockenspectre*. Fonte: <https://commons.wikimedia.org/>;
<https://www.metoffice.gov.uk/learning/>;
http://i.telegraph.co.uk/multimedia/archive/01734/brocken-spectre_1734766i.jpg

Durante sua estadia no observatório, Wilson conheceu vários instrumentos existentes. Porém, o que lhe chamou mais atenção foi o aparelho de Aitken Dustcounter, usado para investigar a condensação do vapor de água em torno da partícula de poeira, no qual uma quantidade de ar livre de poeira contendo vapor de água é misturada com certa quantidade de ar de amostra, numa câmara de expansão; e durante uma rápida expansão gotículas de ar se formam em torno da poeira permitindo que sejam contados os núcleos de condensação. Inspirado nesse equipamento, Wilson desenvolveu sua própria Câmara de Nevoeiro (figura 3).



Figura 3: Câmara de Nevoeiro de Wilson. Fonte: Museu Laboratório Cavendish Cambridge.

O funcionamento da câmara é semelhante ao instrumento Aitken Dustcounter. Quando ocorre uma expansão, gotículas de água se formam ao redor de partículas de poeira no seu interior e por gravidade depositam-se no fundo.

Quando Wilson realizava suas experiências com a câmara, percebeu que na mesma, com a ausência de partículas em seu interior, ainda ocorria a formação de condensações. Wilson então encerrou o interior da câmara com gelatina e no fundo com gelatina enegrecida com tinta e estabeleceu uma diferença de potencial elétrico entre o fundo e a tampa de maneira que qualquer partícula de poeira carregada fosse deslocada para cima ou para baixo.

Wilson também percebeu que, independente da expansão dentro da câmara, ocorria a formação de condensação em torno de um ponto denominado “núcleo invisível” que pareciam partículas carregadas. Mais experiências posteriores comprovaram que Wilson estava vendo, na verdade, raios cósmicos secundários (figura 4).

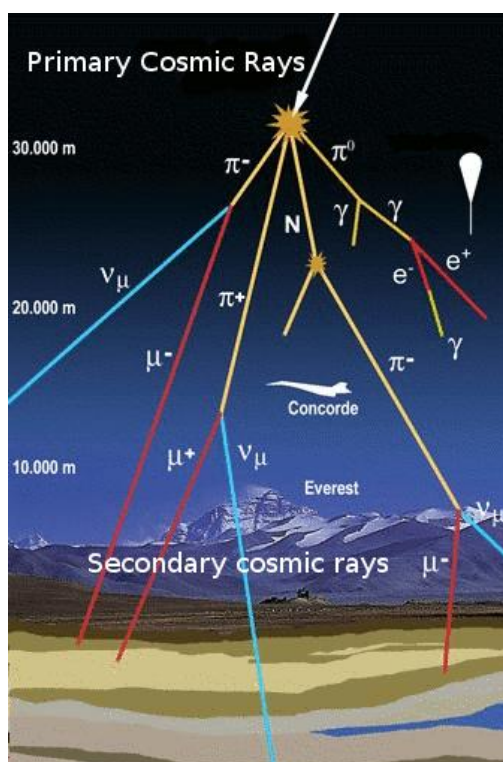


Figura 4: Os raios Cósmicos Secundários. Fonte: Solas (2007).

Porém, somente ao começar a trabalhar com fontes radioativas e expondo a Câmara aos raios de “Roentgen”, que foi possível utilizá-la para estudos de atomística, a ponto de Ernest Rutherford ter se referido à Câmara como “the most original and wonderful instrument in scientific history” (BOWLER, 2012, p. 1).

O próprio Wilson publicou dois artigos (WILSON, 1933; WILSON; WILSON, 1935) demonstrando a construção da sua Câmara (figura 5), bem como fotografias com os resultados da mesma (figuras 6, 7 e 8).

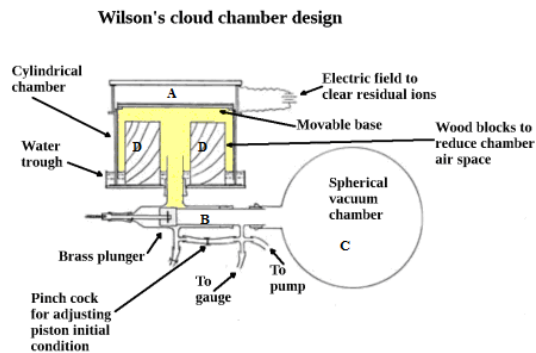


Figura 5: Esquema da Câmara de Wilson. Fonte: <http://rspa.royalsocietypublishing.org/content/87/595/277/full.pdf> - adaptado.



Figura 6: Partícula α emitida pelo Rádio. Fonte:
<http://rspa.royalsocietypublishing.org/content/87/595/277/full.pdf>.



Figura 7: Partículas α e β emitidas pelo Rádio. Fonte:
<http://rspa.royalsocietypublishing.org/content/87/595/277/full.pdf>.

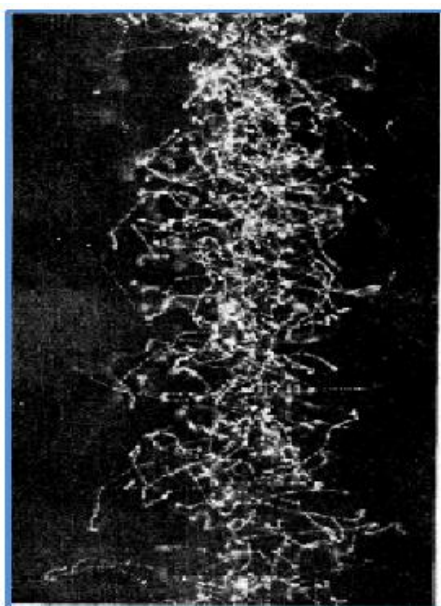


Figura 8: Raio-X. Fonte: <http://rspa.royalsocietypublishing.org/content/87/595/277/full.pdf>.

4.2. Construção da Câmara de Wilson Utilizando Materiais de Baixo Custo

Antes da apresentação do modelo adotado para a construção da Câmara de Wilson utilizando material de baixo custo, serão mostrados, inicialmente, aspectos teóricos sobre a caracterização das emissões radioativas; depois, uma revisão dos modelos existentes e, posteriormente, curiosidades encontradas durante a busca, como brinquedos vendidos utilizando a câmara e a venda de fontes radioativas na *internet*.

4.2.1. Aspectos Teóricos - Traços Observados

De acordo com USP (2017), quando uma partícula carregada atravessa uma Câmara de Neveiro, observam-se traços descrevendo diversos trajetos como representados a seguir.

Vale ressaltar, inicialmente, que não se trata de raios cósmicos. Quando observam-se trilhas curtas e grossas, é sinal que se está diante de um átomo de radônio atmosférico emitindo partícula alfa (dois prótons e dois nêutrons). O radônio é um elemento radioativo de ocorrência natural, mas existe em baixas concentrações no ar. As partículas alfas emitidas por átomos de radônio são volumosas e de baixa energia, descrevendo essas trilhas (figura 9).



Figura 9: Traços observados para a emissão de partículas alfa. Fonte: https://www.symmetrymagazine.org/sites/default/files/images/standard/CC_trail1.jpg

Os muões são os primos mais pesados do elétrons e são produzidos quando um raio cósmico se solta de uma molécula atmosférica na estratosfera. São maciços e quando atravessam o vapor deixam traços na forma de retas (figura 10).



Figura 10: Traços observados para a emissão de múons. Fonte: https://www.symmetrymagazine.org/sites/default/files/images/standard/CC_trail2_0.jpg

Quando observa-se curvas com ziguezague, se está olhando para um elétron ou pósitron (antipartícula do elétron). Os elétrons e os pósitrons são criados quando um raio cósmico interage com as moléculas atmosféricas. Os elétrons e os pósitrons são partículas leves e saltam quando atingem as moléculas de ar, deixando ziguezagues e pistas curvas (figura 11).



Figura 11: Traços observados para a emissão de pósitrons. Fonte: https://www.symmetrymagazine.org/sites/default/files/images/standard/CC_trail3_v3.jpg

Caso a trilha se divida (bifurcada), é sinal que houve um decaimento de uma partícula (raios cósmicos ou múons). Muitas partículas são instáveis e se desintegram em partículas mais estáveis, na forma de garfo (figura 12).



Figura 12: Traços observados para a emissão raios cósmicos.

https://www.symmetrymagazine.org/sites/default/files/images/standard/CC_trail4_0.jpg

4.2.2. Revisão da Prática

Alguns modelos da Câmara de Nevoeiro de Wilson podem ser encontrados em artigos, dissertações, páginas da *internet* e em vídeos do *youtube*.

Com relação à Câmara de Nevoeiro, Zeze *et al.* (2012), Pinheiro (2015) e Souza (2017), para a visualização de raios cósmicos, utilizaram uma caixa de vidro para a montagem do modelo e lanterna ou projetor de *datashow* para projeção da luz a fim de se visualizar o fenômeno.

Sobre a montagem para a verificação das emissões radioativas, D'andrea (2014) montou uma Câmara eletrônica, inspirada na Câmara de Nevoeiro e na Câmara de Langsdorf. Neste modelo, ao invés de utilizar dióxido de carbono sólido (gelo seco) para a formação de gradiente de temperatura da Câmara, aplicou o conceito de resfriamento por estado sólido eletrônico com módulos termoelétricos (efeito Peltier), utilizando fontes alfa e beta comercializadas na *internet* (amerício 241 oriundo de detectores de fumaça, urânio oriundo de cerâmicas e radio oriundo de ponta de relógio). Laganá (2011) também utilizou uma fonte alfa de Amerício 241 oriunda de detector de fumaça, em um circuito elétrico. Manoel (2004) construiu uma câmara utilizando garrafa térmica uma fonte radioativa de Tório 232. Já Solas (2007), utilizou um circuito elétrico para demonstrar os raios cósmicos.

Várias páginas da *internet* também demonstram a construção da Câmara de Nevoeiro, seja para os raios cósmicos, seja para a visualização dos traços radiativos.

Por exemplo, em artigo publicado pela Scientific American Brasil, no portal http://www2.uol.com.br/sciam/noticias/construa_o_mais_simples_detector_de_partic

[ulas do mundo.html](#), “Construa o mais simples detector de partículas do mundo”, demonstra-se a utilização de materiais de baixo custo, modelo esse que se aproxima da proposta deste trabalho em produzir um experimento que possa ser utilizado dentro de uma sala de aula, onde os próprios alunos podem montar e construir a Câmara de Nevoeiro.

Já o modelo de câmara sugerido pela Seara da Ciência, da Universidade Federal do Ceará, no portal www.seara.ufc.br, utiliza como câmara um pote grande de geléia de vidro com tampa, de preferência que esta tampa seja metálica, quando resfriada a sua base (tampa) o álcool dentro do vidro esfria bastante, ficando em um estado supersaturado, nesse estado qualquer perturbação pode condensar o álcool vaporizado. O diferencial dessa câmara das demais acima é a utilização de álcool anidro e não o álcool isopropílico para a produção do vapor resfriado dentro da câmara. Utiliza ainda como emissor **uma fonte radioativa** e quanto aos procedimentos para a obtenção do trajeto das partículas é o mesmo já mencionado.

Em publicação contida no site <https://www.sciencefriday.com/educational-resources/build-a-cloud-chamber/>, é proposta a construção de uma câmara utilizando um pote de manteiga de amendoim ou um recipiente de *delicatessen*, só que este recipiente a tampa não é rosqueada e sim de pressão, além do gelo seco na base utiliza uma tigela com água morna colocada em cima do recipiente de plástico que funcionará como câmara, este dispositivo aquece o álcool isopropílico fazendo com que a câmara enche de vapor mais rapidamente.

Na página da “Science Friday” (<https://www.sciencefriday.com/educational-resources/build-a-cloud-chamber/>) é possível encontrar um modelo utilizando materiais de baixo custo para a Câmara de Nevoeiro.

Por fim, o Departamento de Física da University of Oxford, propõe uma Câmara de Nevoeiro mais simples das **que** foram apresentadas acima. Utiliza como câmara um copo de um litro ou copo de pipoca de cinema transparente. Para evitar o vazamento de vapor na câmara, foi utilizado massa de modelar em torno da borda do copo com a chapa metálica (<https://www.youtube.com/watch?v=400xfGmSlqQ>).

4.2.3 Modelos Propostos da Câmara Utilizando Materiais e Métodos de Baixo Custo

A Câmara de Wilson, proposta neste trabalho, constitui de um recipiente estanque (figura 13) que pode ser de vidro ou plástico (A). Dentro desse recipiente contém uma mistura de ar com vapor de álcool isopropílico, que está apoiado sobre uma placa metálica (B), que na parte inferior possui gelo seco (C). Essa estrutura é colocada dentro de uma bandeja (D). Na parte superior da câmara coloca-se um feltro saturado com álcool isopropílico (E), e na parte inferior, placa metálica ou tampa da câmara um tecido ou papel da cor preta para funcionar como contraste quando da formação de condensação (F).

Como o feltro está embebido com álcool, o álcool contido nele evapora e difunde-se pelo ar do topo para a base da câmara, ocupando todo o ambiente da câmara. O vapor mais próximo a base da câmara se resfria, devido ao contato com o gelo seco, a cerca de -80°C . Com o resfriamento, a densidade do vapor aumenta, originando um forte gradiente vertical de temperatura. Forma-se perto da base uma camada de vapor de álcool supersaturada, camada instável. Como o vapor se encontra supersaturado, uma partícula carregada ao passar pelo vapor supersaturado de álcool ionizará as moléculas que estão no seu caminho. Ao ionizar ocorrerá a condensação do vapor de álcool, que formará um traço que pode ser observado quando iluminado por uma lâmpada de alta intensidade (G). A duração desse traço é de poucos segundos.

Inicialmente corta-se um pedaço de feltro de forma circular igual ao fundo do pote e fixamos no fundo com fita adesiva ou outro fixador, corta-se também uma cartolina ou papel mata borrão na cor preta de forma circular igual a tampa do pote, no feltro e no mata borrão embebe-se com álcool isopropílico deixando-os saturados. Feito essa etapa, fecha-se o pote com a tampa e temos aí a câmara estanque. Pega-se o prato retentor de água de vaso de planta e coloca gelo seco dentro e posteriormente a câmara fechada em cima do gelo seco. Espera-se aproximadamente dez minutos até o ambiente dentro da câmara seja todo preenchido com vapor de álcool e ar. Após essa etapa, é ter paciência e esperar que partículas carregadas condensam o vapor de álcool descrevendo assim traços na câmara.

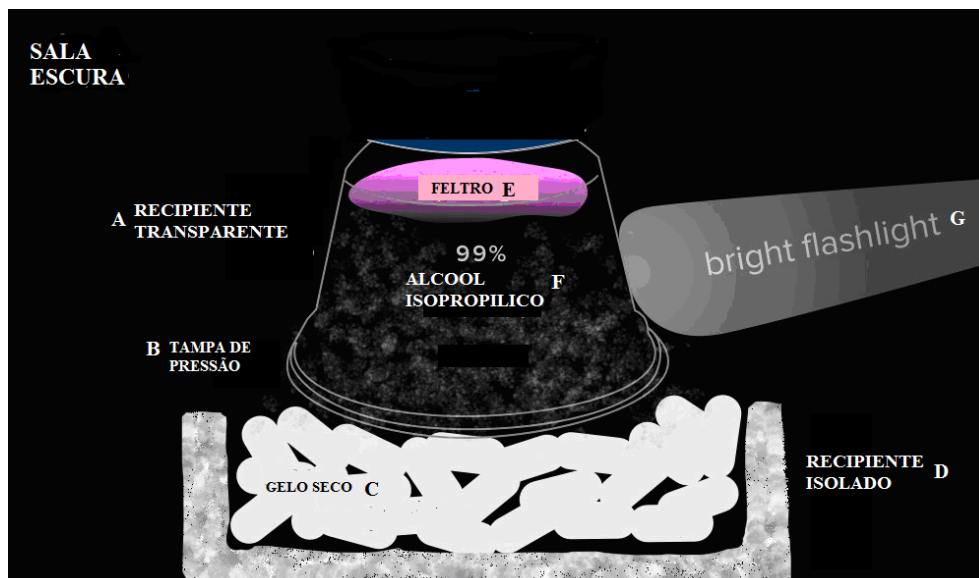


Figura 13: Modelo proposto. Fonte: <https://www.sciencefriday.com/educational-resources/build-a-cloud-chamber/>

4.2.3.1. Montagem da Câmara

4.2.3.2. Modelos











4.2.3.2.1. Modelo 1

Nesta experiência (figura 14), a câmara foi construída utilizando os seguintes materiais: pote de doce com 17cm de altura, fundo de forma circular de diâmetro 11,5cm e com tampa de pressão com 14,5cm de diâmetro (esse conjunto foi denominado câmara alta); prato de retenção de água de vaso de planta de 14,5cm de diâmetro; feltro branco de forma circular com diâmetro de 11cm; feltro preto de forma circular com diâmetro de 13,5cm; fita adesiva resistente ao álcool; lanterna de led; álcool isopropílico; e gelo seco.

A montagem constituiu em se fixar no fundo do pote o feltro branco e na tampa o feltro preto para funcionar como contraste, derramando **no feltro colocado no fundo** álcool isopropílico. Tampa-se o pote e colocou-o de cabeça para baixo sobre o prato de vaso de planta contendo gelo seco. Cortou-se um pedaço de feltro de forma circular igual ao fundo do pote e fixou-se no fundo com fita adesiva ou

outro fixador. Cortou-se também uma cartolina ou papel mata borrão na cor preta de forma circular igual a tampa do pote, no feltro e no mata borrão. Embebeu-se com álcool isopropílico deixando-os saturado. Feito essa etapa, fechou-se o pote com a tampa para se ter a câmara estanque.

Pegou-se o prato retentor de agua de vaso de planta e colocou-se gelo seco dentro, e posteriormente, a câmara fechada em cima do gelo seco. Esperou-se aproximadamente dez minutos até o ambiente dentro da câmara estivesse todo preenchido com vapor de álcool e ar. Após essa etapa é ter paciência e esperar que algum raio cósmico seja captado pela câmara.

	Pote de 2 litros		Tampa do pote
	Pano para contraste		Pano para contraste fixo na tampa
	Lanternas		Fita adesiva e álcool isopropílico
	Feltro		Feltro colocado no fundo do pote
	Câmara montada		Câmara montada em funcionamento





	<p>Gelo seco</p>		<p>As câmaras em funcionamento</p>
---	------------------	--	------------------------------------

Figura 14: Modelo 1.

4.2.3.2.2. Modelo 2

Nesta experiência (figura 15) foi utilizada a câmara alta da experiência I e o pote de doce com 9cm de altura, fundo de forma circular de diâmetro 16,5cm e com tampa de pressão com 19cm de diâmetro denominado câmara baixa; prato de retenção de água de vaso de planta de 18cm de diâmetro; feltro branco de forma circular com diâmetro de 16cm; feltro preto de forma circular com diâmetro de 16,5cm; fita adesiva resistente ao álcool; lanterna de led; álcool isopropílico; e gelo seco.

Foram testadas duas fontes de Césio 137, **emissor gama, com energia 0,662MeV e tempo de meia vida de 30 anos**, a montagem da câmara foi realizada no depósito de materiais da emergência, cujo local é refrigerado para manter as características dos materiais ali armazenados, por ser refrigerado interferiu na experiência e o gelo seco **nessa experiência teve dupla função, dissipou** o calor da mesa e **da** câmara.

	<p>Fonte de teste de Césio 137</p>		<p>Câmara alta com a fonte de Césio 137</p>
---	------------------------------------	--	---





	Câmara baixa com a fonte de Césio 137		Câmara baixa com a fonte de Césio 137
	Câmara baixa com fonte de teste de Césio 137		Gelo seco

Figura 15: Modelo 2.

4.2.3.2.3. Modelo 3

Nesta experiência (figura 16) foi utilizada a câmara alta e a baixa com feltro preto de forma circular, com diâmetro de acordo com cada câmara, fita adesiva resistente ao álcool, lanterna de led, álcool isopropílico; gelo seco e foram usadas a fonte de Tório 230, série 11766, $35,4\alpha/s/2\pi$ e a fonte de Tório 230, Série 11761, $354000\text{cpm}/2\pi$, emissoras alfa. A experiência foi realizada na sala de aerossol do setor ambiental.

A sala de aerossol não é uma sala escura assim como a do setor de emergência, nesta sala para torna-la escura foram colocadas nas janelas papel alumínio, a luz espalhada era refletida pelo papel alumínio e também pelas paredes brancas, tornando a sala um pouco clara.

Nesta experiência foi utilizado uma prancha de madeira para isolar a câmara da mesa para não ocorrer o que aconteceu na experiência anterior, onde o gelo seco dissipou o calor da mesa e da câmara.

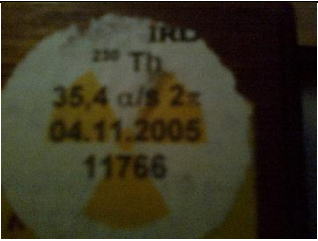
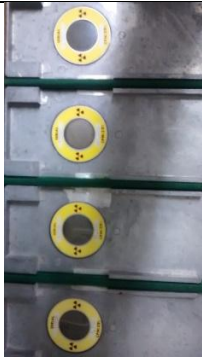


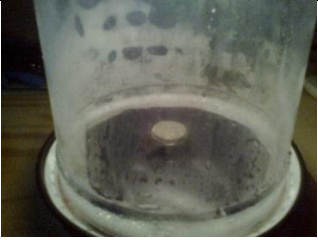
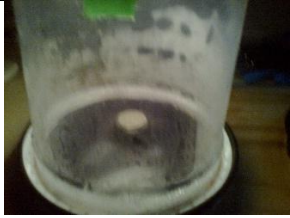
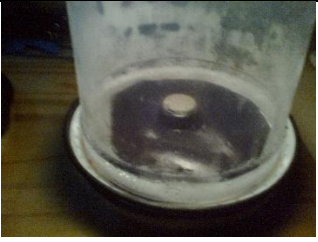


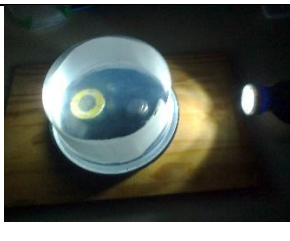









	Fonte de Tório 230 35,4 α /s/2 π 04/11/05 Série 11766		Fontes de Tório 230 Série 11761 354000cpm/2 π Série 11760 101000cpm/2 π Série 11759 12200cpm/2 π Série 11758 11100cpm/2 π
	Fontes de Tório 230 Série 11761 354000cpm/2 π		Fontes de Tório 230 Série 11761 35400cpm/2 π
	Fonte de Tório 230 35,4 α /s/2 π 04/11/05 Série 11766		Fonte de Tório 230 35,4 α /s/2 π 04/11/05 Série 11766
	Fonte de Tório 230 35,4 α /s/2 π 04/11/05 Série 11766		Fontes de Tório 230 Série 11761 35400cpm/2 π
	As duas fontes na câmara de baixa altura		As duas fontes na câmara de baixa altura
	As duas fontes na câmara de baixa altura		

Figura 16: Modelo 3.

4.2.3.2.4. Modelo 4

Nesta experiência (figura 17) foram utilizados as duas câmaras, com uma nova estrutura de refrigeração da base constituída por um anel de papelão para conter o gelo seco e uma esponja para pressionar o gelo contra a base da câmara. O anel de papelão foi construído um deles envolvendo a base da câmara externamente e o outro encaixado no ressalto da tampa, todos contendo a esponja como êmbolo pressionador.

Não foi observado os traços dos raios cósmicos quando do funcionamento dessa experiência.

	<p>Primeira tentativa com o modelo da câmara alta nesta experiência não funcionou a vedação.</p>		<p>Primeira tentativa com o modelo da câmara alta nesta experiência não funcionou a vedação.</p>
	<p>Primeira tentativa com o modelo da câmara alta nesta experiência não funcionou a vedação.</p>		<p>Primeira tentativa com o modelo da câmara alta nesta experiência não funcionou a vedação.</p>
	<p>Câmara montada uma com anel externo e a outra com anel interno.</p>		<p>Câmara com o anel externo.</p>
	<p>O feltro descola do fundo.</p>		<p>O feltro descola do fundo.</p>







	Gelo seco		Prato
	Esponja		Feltro preto
	Anel de 19cm de papelão com esponja		Anel de 13cm de papelão com esponja

Figura 17: Modelo 4.

4.3. Curiosidades

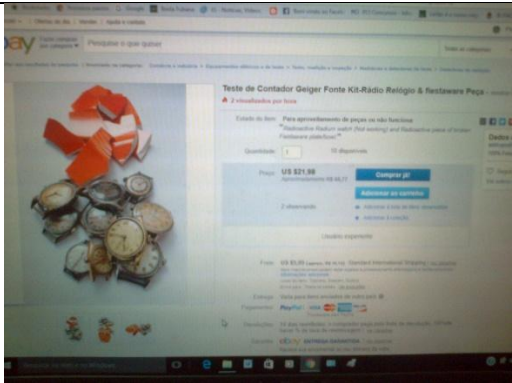
4.3.1. Fontes Radioativas

A fonte radioativa é o ponto crítico da experiência. Encontrar uma fonte radioativa suficientemente intensa para que a câmara de Wilson funcione e suficientemente fraca para não ser perigosa é um grande problema. **Pode por exemplo utilizar como fonte radioativa de baixo custo os seguintes materiais:** camisa de lampião de acampamento, material de relógio luminoso, detectores de fumaça (E-Bay), cerâmica radioativa (E-Bay), e para raio radioativo (E-Bay) (figura 18).

Na figura 18 possui também utensílios domésticos onde nos materiais de vidro são incorporados sais de urânio e nos de cerâmica pintura vermelha radioativa.



Detector de fumaça radioativo



Cerâmica radioativa e relógio luminoso



Cerâmica radioativa



Figura 18: Fontes encontradas na *internet*.

4.3.2. Brinquedos Radioativos

Nos anos 1950, no auge pelo interesse pela energia nuclear acreditava-se que ela ia proporcionar a humanidade um futuro estável, seguro e limpo. E na década de 50 foram criados brinquedos educativos equipados com detector Geiger Müller, que continham também amostras de fontes radioativas como urânio ou rádio (figura 19). O brinquedo foi produzido no ano de 1950 pela American Science Club. Em 1960 essa mesma empresa lançou no mercado o Laboratório de Energia Atômica (figura 20).



Figura 19: Material educativo para a Construção de uma Câmara de Nevoeiro

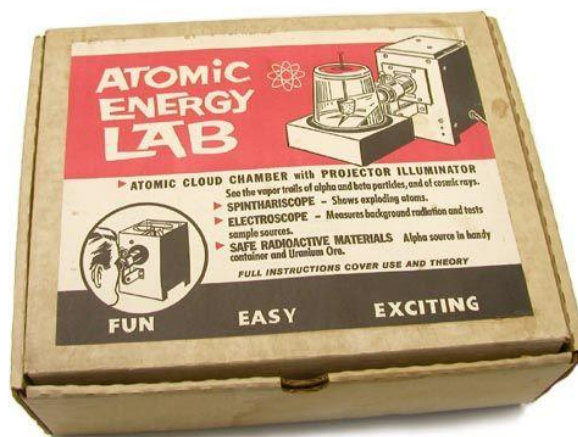


Figura 20: "Atomic Energy LAB".

Cabe ressaltar que as versões do brinquedo possuem modelos diferentes de Câmara de Nevoeiro como acessório. Nessa década o governo americano incentivou os amadores a procurar minério de urânio, oferecendo altas recompensas e criando a moda para esse tipo de atividade que durou vários anos a febre do urânio, então esse brinquedo era o mais procurado, mais quem poderia adquiri-lo só a população de grande poder aquisitivo.

Outra curiosidade do instrumento é que no fundo da caixa encontrava-se escrito "Gilbert é responsável por enviar novas amostras pelo correio, em caso de perda e desgaste da amostra original, você só precisa preencher o cupom (figura 21) e aguardar o pacote pelo correio.

RADIOACTIVE SOURCE REPLACEMENT

The radioactive sources in your Gilbert Atomic Energy Lab will, in a period ranging from 1 to 50 years, deteriorate with time. Therefore, when replacement of your Alpha, Beta, Gamma or Cloud Chamber sources is required (see inside back cover of this manual) fill in the coupon below and send it to The A. C. Gilbert Company. You will be notified as to cost and mailing.

IMPORTANT!

NO REQUEST FOR RADIOACTIVE SOURCE REPLACEMENT CAN BE HONORED BY THE A. C. GILBERT COMPANY UNLESS IT IS ACCOMPANIED BY THE COUPON BELOW. KEEP THIS SHEET IN A SAFE PLACE, PREFERABLY WITH THE MANUAL OR WITH THE ATOMIC ENERGY LAB ITSELF.

clip along dotted line
.....

The A. C. Gilbert Company
Erector Square
New Haven 6, Conn.

Gentlemen: I need replacements for the following radioactive sources, (check which): ALPHA _____
BETA _____ GAMMA _____ CLOUD CHAMBER _____
SOURCE _____.

Please notify me as to cost and date of mailing.

NAME _____
(please print)

STREET _____

CITY _____ ZONE _____ STATE _____

Figura 21: Requisição de Pedido.

O brinquedo era fornecido com quantidades mínimas de urânio e rádio, não eram os isótopos mais perigosos desses elementos, mas não há dúvidas que a exposição prolongada de um organismo jovem a doses de radiação adicionais poderia ter efeitos fatais. Felizmente, não há informações sobre alguns casos trágicos adivinhados das diferentes versões do Atomic Energy LAB. Eles foram vendidos por período curto. Era considerado um brinquedo “irresponsável”.

5. ANALISES E DISCUSSÃO

As câmaras apresentadas por alguns artigos e trabalhos possuem dimensões grandes, utilizam aquários ou recipiente de grandes dimensões, o que a tornam difíceis para manuseio pelo aluno em sala de aula, apesar que a maioria pode ser realizada em laboratório demonstrativo.

Há também modelos de câmara apresentados que utilizam materiais de baixo custo em parte de sua montagem; porém utilizam para o resfriamento ar comprimido e não gelo seco, material que aumentaria o custo da experiência.

Outras câmaras utilizam como emissor componentes eletrônicos, que possuem um custo e que requerem montagem por um profissional que entenda do assunto, ficando longe da proposta deste trabalho, que é um experimento simples a ser aplicado em sala de aula.

Observou-se que a câmara deve ser montada sobre uma mesa ou bancada que não seja condutora de calor, senão interagirá e o ambiente interno da câmara não se refrigerará.

O ambiente ideal seria uma sala escura com a pintura interna na cor preta, os ambientes onde foram montadas as câmaras são ambientes cuja as paredes refletiam a luz espalhada, tornando a sala um pouco clara.

6. CONCLUSÃO

Diante das dificuldades encontradas para ensinar Física no Ensino Médio, é preciso rever quais as melhores formas de ensiná-la, qual seria a proposta ou projeto que melhor se adéqua ao ensino aprendizagem do aluno e se essa trará uma melhora na compreensão dos conceitos aos mesmos.

A construção da Câmara de Wilson foi um grande desafio. A sua montagem requer paciência para a obtenção dos resultados.

A câmara de Wilson foi um experimento que contribuiu para o estudo e descobertas das partículas atômicas, sendo um experimento que requer paciência para quem estar operando, já que quando aparecem os traços são por poucos segundos.

A Câmara de Nevoeiro é um projeto um tanto elaborado, que exige boa dose de habilidade manual, paciência e criatividade.

As vezes a câmara não funciona por vários motivos. Caso a quantidade de vapor seja excessiva, ela fica enevoadada e opaca. Deve-se esperar por vários minutos até ela clarear. Uma das razões para o mau funcionamento da câmara é uma tampa que não a torne estanque. É essencial que o pote fique hermeticamente vedado. Por outro lado, a tampa deve ser metálica ou fina se for de outro material, se for muito espessa e de material termicamente isolante, o gelo seco não conseguirá resfriar o álcool e não resfriará o vapor de álcool, se não ocorrer o resfriamento não haverá a condensação. O ideal seria usar tampas metálicas finas ou, se necessário, lixe a que você tem até deixá-la bem fina.

Este trabalho defende que as atividades experimentais podem contribuir para o ensino aprendizagem dos alunos. A importância dessas atividades experimentais ajuda a compreender e explicar os conteúdos transmitidos em sala de aula, logo a Câmara de Nevoeiro pode contribuir para o entendimento da física das partículas na disciplina física moderna no ensino médio.

A aula experimental neste caso, pode ser desenvolvida em parte pelos alunos sozinhos (laboratório divergente), em parte pelos professores (laboratório de demonstração e tradicional) e em conjunto (laboratório de projetos).

A literatura indica a aplicação de radiação beta, principalmente daquelas oriundas de Amerício, Urânio ou Tório.

Por fim, entende-se que existem dois tipos de Câmara: de Nevoeiro e Wilson. A diferença é que de nevoeiro detectam-se raios cósmicos, enquanto a de Wilson partículas elementares, devido ao uso de fontes radioativas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES FILHO, J. P. **Atividades experimentais: do método à prática construtivista. Florianópolis.** Tese (Doutorado em Educação) – Centro de Ciências da Educação, UFSC, 2000.

ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 2, 2003.

ARISTÓTELES. **Metafísica, “Livro A, cap. I”.** Coleção Os Pensadores. Editora Abril, São Paulo, 1979 (orig. século IV a.c.).

BOWLER, S. C. T. R. Wilson, a great Scottish Physicist: His Life, Work and Legacy. **The Royal Society of Edinburgh Conference.** Edinburgh, [s/n], p. 3, 2012.

D'ANDREA, A. D. Q. **Câmara de Wilson eletrônica para o auxílio na aprendizagem de física moderna no ensino médio.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de São Carlos, 2014.

DE LIMA, J. J. P. **Física em medicina nuclear: temas e aplicações.** Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2008.

CAMPOS, B. S.; FERNANDES, S. A.; RAGNI, A. C. P. B.; SOUZA, N. F. Física para crianças: abordando conceitos físicos a partir de situações-problema. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 1, 2012.

CARRASCOSA, J. GIL-PÉREZ, D. y VILCHES, A. Papel de la actividad experimental en la educación científica. **Cad. Bras. Ens. Fis.**, 23, 157-18, 2006.

GASPAR, A.; MONTEIRO, I. C. C. Atividades experimentais de demonstração em sala de aula: uma análise segundo o referencia da teoria de Vigotsky. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.10, n.2, p. 227-254, 2005.

GOMES, A. D. T., BORGES, A. T., JUSTI, R. **Processos e conhecimentos envolvidos na realização de atividades Práticas: Revisão da literatura e implicações para a pesquisa.** UFMG. Belo Horizonte, MG, 2008.

HODSON, D. In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. **International Journal of Science Education**, v.14, n.5, p.541-562, 1992.

LAGANÁ, C., Estudo de raios cósmicos utilizando uma câmara de nuvens de baixo custo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 3, 3302, 2011.

MANOEL, J. P. P. **Construção e demonstração do funcionamento de uma câmara de neblinas simplificada.** Disponível em http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem2_2004/008948Joao_Shibuya_RF.pdf. Acesso em: 10/08/2017.

MORAES, J.U.P., JUNIOR, R.S.S. **Experimentos didáticos no ensino de física com foco na aprendizagem significativa.** Sergipe, 2014.

NOBELPRIZE.ORG. **The Official Web Site of the Nobel Prize. C. T. R. Wilson – Biographical.** Disponível em: https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1927/wilson-bio.html. Acesso em: 21 Ago. 2017.

PINHEIRO, L. A. A câmara de nuvens: uma abordagem integrada entre a Física Clássica e a Física Moderna. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 2, p. 517-528, ago. 2015.

SOLAS, F. B. Giving new life to old equipment. **Physics Education**, Vol. 42, No. 1, January, p. 9 – 11, 2007.

SOUZA, M. dos S. **Abordando os Raios Cósmicos no Ensino Médio: Uma proposta de Sequência de Ensino Investigativa.** Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física) – Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal da Grande Dourados, 2017.

TERRAZZAN, E. A. A Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino da Física na Escola de 2º Grau. **Cad.Cat.Ens.Fís.**, Florianópolis, v.9,n.3: p.209-214, dez.1992.

USP. Universidade de São Paulo. **Ensino de Física On-Line.** Disponível em: <http://efisica.if.usp.br/moderna/materia/particulas-fundamentais/>. Acesso em: 13 Ago. 2017.

WILSON, C. T. R ; WILSON, J. C. On the Falling Cloud-Chamber and on a Radial-Expansion Chamber. **Proc. Roy. Soc.** 148A, 523. Proc. Roy. Soc. on Web, 1935.

WILSON, C. T. R. On a new type of expansion apparatus. **Proc. Roy. Soc.** 142A, 88, Proc. Roy. Soc. on Web, 1933.

ZEZE, S.; AKIO, I.; AYU, O.; HARUKA, T. A sensitive cloud chamber without radioactive sources. **Physics Education**, Volume 47, Number 5, 2012.