



A câmara de nuvens como estratégia pedagógica para o ensino de raios cósmicos

The cloud chamber as a pedagogical strategy for teaching cosmic rays

Raphaella Bahia Soares Cabral^{*1} , Giovana Cougo Ferreira¹,
João Guidugli de Mendonça¹, Sarah El Haouche Teixeira de Souza¹

¹Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Varginha, MG, Brasil.

Recebido em 11 de novembro de 2021. Revisado em 18 de março de 2022. Aceito em 22 de março de 2022.

Os raios cósmicos são partículas ultrapenetrantes advindas de eventos cósmicos diversos que atravessam a atmosfera e atingem a superfície terrestre. Neste trabalho, pretendemos explicar o que são raios cósmicos, sua detecção e a construção de uma câmara de nuvens. Esperamos, ainda, propor uma metodologia de ensino-aprendizagem dos conhecimentos e saberes pertinentes aos fenômenos físicos envolvendo raios cósmicos por meio da aprendizagem baseada em projetos. Nessa perspectiva, os estudantes desenvolveram um projeto de construção de uma câmara de nuvens e registraram a detecção desses raios na câmara.

Palavras-chave: Câmara de nuvens, Raios cósmicos, Ensino de Física.

The cosmic rays are ultra-penetrating particles which come from different events in the universe passing through the atmosphere and reaching the earth's surface. In this work, we aim to explain what cosmic rays are, their detection and how we build a cloud chamber. We also intend to propose a teaching-learning methodology of knowledge relevant to physical phenomena involving cosmic rays through project-based learning. From this perspective, the students developed a project to build a cloud chamber and recorded the detection of these rays in the chamber.

Keywords: Cloud chamber, Cosmics rays, Physics teaching.

1. Introdução

A descoberta dos raios cósmicos não é nada recente. Desde o século XIX, cientistas e físicos estudam a origem de uma radiação que provoca a ionização do ar. Através de experimentos com balões, notou-se que o fluxo dessa radiação ionizante se intensificava com o aumento da altitude, o que levou a descoberta que essa provinha de uma fonte fora da Terra [1]. Mas o que é essa radiação ionizante extraterrestre, ou melhor, o que são esses raios cósmicos? De onde vieram? É possível detectar e visualizar esses raios ou seus produtos? E por fim, quais são suas interações com o planeta? Estas são algumas das perguntas que norteiam este trabalho. Para entender melhor do que são formados os raios cósmicos, os fenômenos físicos que ocorrem até sua detecção e a sua detecção por meio da câmara de nuvens, apresentaremos o projeto de construção da câmara de nuvens e da detecção de raios cósmicos por meio desta câmara.

2. Objetivo

Com o desenvolvimento desse trabalho, esperamos que estudantes do ensino médio sejam capazes de compreender melhor o estudo de raios cósmicos, por meio da

construção de uma câmara de nuvens e sua utilização para detecção de raios cósmicos. Desta forma, esperamos observar se esta metodologia é viável para uma abordagem com estudantes de nível médio. Para isto, consideramos as concepções de metodologias ativas, em especial, a aprendizagem baseada em projetos.

3. Referencial Teórico

O modelo tradicional de ensino-aprendizagem, praticado pelas instituições de ensino ao longo dos últimos séculos, pode ser considerado um modelo passivo de aprendizagem. Uma vez que os estudantes assumem papel de espectadores do próprio aprendizado. O protagonismo é do professor, que detém o conhecimento e a responsabilidade de transmiti-lo aos aprendizes. O que acontece, muitas vezes, por meio de métodos mecanicistas de ensino: aulas expositivas, resolução de exemplos e exercícios e avaliação em testes.

Para Oliveira (2006), a educação tradicional assume a possibilidade de transferência de conhecimento, onde o professor é capaz de transferir seu conhecimento e suas inteligências aos estudantes em sua aula [2]. Nessa perspectiva, as metodologias tradicionais de ensino-aprendizagem ignoram a necessidade do desenvolvimento e do aperfeiçoamento de habilidades

* Endereço de correspondência: raphaella@cefetmg.br

e competências demandadas pela sociedade contemporânea, como: autonomia, criatividade, proatividade, capacidade de administrar e resolver problemas. Na educação tradicional, os estudantes acumulam saberes, são muitas vezes bem avaliados em testes regulares, mas mesmo assim encontram dificuldades em utilizar o conhecimento adquirido para a solução de problemas em situações reais ou simplesmente relaciona-lo com situações reais do seu cotidiano.

Dewey, em 1959, já defendia a educação como processo ativo e construtor do conhecimento e da aprendizagem [3, 4]. “Que a educação não consiste unicamente em ‘falar’ e ‘ouvir’, e sim um processo ativo construtor, é princípio quase tão geralmente violado na prática como admitido na teoria.” (DEWEY, 1959).

Ainda entre o final do século XIX e início do século XX, as metodologias ativas de aprendizagem surgiram, se contrapondo ao modelo tradicional e propondo que os estudantes assumam o protagonismo do seu próprio aprendizado. Neste processo, o professor assume o papel de mediador e facilitador do aprendizado. Vale ressaltar que o papel do professor é primordial no processo; as mediações, questionamentos e direcionamentos serão fundamentais para que o estudante tenha condições de construir seu aprendizado de forma bem sucedida.

A aprendizagem baseada em projetos é um tipo de metodologia de aprendizagem ativa, baseada na problematização. Desta forma, os estudantes se propõem a resolver um problema. Então, precisam buscar e tratar informações, relacionar diferentes conteúdos para criar hipóteses de soluções.

Esta metodologia tem caráter investigativo, troca a visão empirista da educação pela visão construtivista de solução de problemas. O desenvolvimento do projeto favorece a autonomia, a interatividade, a análise crítica e a implementação do método científico.

Para Hernández (1998), ao prosseguir com projetos, os estudantes aprimoram a habilidade de resolver problemas, articular saberes adquiridos, agir com autonomia, aprimorar a criatividade e aprender a colaborar entre os pares para a solução de problemas. Portanto, contribuindo para a formação crítica, contextualizada e eficiente de um ser atuante na sociedade em que está inserido [5, 6].

4. Metodologia

Por meio da metodologia de aprendizagem baseada em projetos, os estudantes envolvidos neste trabalho deveriam construir uma câmara de nuvens para a detecção de raios cósmicos. Então, eles realizaram um estudo bibliográfico a partir de artigos que permitiram a compreensão do que são os raios cósmicos, quais os métodos de detecção e as suas implicações no nosso conhecimento do universo. Desse modo, construíram um detector de raios cósmicos de baixo custo, para melhor entendimento da teoria estudada. Após a execução do

experimento e através de pesquisa prévia, registraram e analisaram os dados obtidos. Todo o desenvolvimento do trabalho foi acompanhado pela professora, em reuniões quinzenais, e os resultados foram discutidos e apresentados em um evento científico local, para uma banca de professores da Física e áreas afins. Estes resultados estão apresentados neste artigo e foram obtidos pelos estudantes que desenvolveram o projeto.

5. Raios Cósmicos: História, Origem e Detecção

5.1. História dos raios cósmicos

No século XIX, cientistas e físicos estudavam a origem de uma radiação recém-detectada que provocava a ionização do ar e gerava novas partículas. Essa radiação foi inicialmente chamada de “radiação ultrapenetrante”, porque ela podia atravessar uma grande massa de matéria sem interagir significativamente. A ionização do ar, como assinalaria anos depois pelo francês Pierre Auger, era um fenômeno impossível de anular em um espaço fechado.

Hipóteses sobre a fonte dessa radiação logo começaram a emergir [7]. Charles Thomson Rees Wilson propôs que sua origem poderia ser extraterrestre. Mais tarde, um cientista chamado Victor Hess, em um experimento com balões, notou que o fluxo dessa radiação se intensificava com o aumento da altitude, o que só poderia ser explicado pela penetração desses raios nas camadas atmosféricas e nelas a produção de uma quantidade de ionização e a conseqüente formação de subpartículas. Concluiu-se então que a fonte dessa radiação era realmente originada do meio cósmico. A partir disso, deu-se início à novas pesquisas na física de partículas, e assim, foram descobertas novas partículas subatômicas a partir da interação dos raios cósmicos com a atmosfera.

5.2. O Que São Raios Cósmicos?

Os raios cósmicos são compostos 90% por prótons, 9% por partículas alfa, constituídas de dois prótons e dois nêutrons, que formam um núcleo de Hélio (4He), e 1% por núcleos de elementos pesados que produzem novas partículas subatômicas ao interagirem com a atmosfera. Após a descoberta desses raios, foi constatado que eles se movem com velocidade, aproximadamente, igual à velocidade da luz, percorrem trajetórias aleatórias e são detectados com energia da ordem de até 10^{20} eV. A partir da análise da quantidade de energia das partículas é impossível determinar a origem dos raios cósmicos, devido ao seu movimento aleatório. Porém, sabe-se que o fluxo de partículas com energias até 10^9 eV pode ser explicado por fenômenos de origem solar e, portanto, são denominados raios cósmicos solares e que partículas não aceleradas pelos mesmos processos são denominados raios cósmicos anômalos. Os raios cósmicos anômalos são partículas neutras de gás interestelar que adentram na heliosfera e, assim, tornam-se ionizadas.

Existe uma diferença entre raios cósmicos interplanetários e os observados em detectores na superfície da Terra. Nos meios interplanetários, as partículas transportadas são raios cósmicos primários. Essas não conseguem chegar à superfície, pois interagem com elétrons, núcleos de átomos e moléculas que constituem a atmosfera, e com isso sofrem perda de energia.

Os prótons ao interagirem fortemente e colidirem com núcleos atmosféricos, formam o chuva de partículas. Esse chuva resulta nas partículas secundárias, como o méson, elétrons, múons, píons e alguns poucos prótons, e a partir da detecção delas é possível reproduzir o fluxo de raios cósmicos primários e inferir as condições interplanetárias. No chuva de raios cósmicos, um próton primário sofre em média 12 interações até chegar ao nível do mar [8].

5.3. Hipóteses Sobre a Origem

Suspeita-se que, para partículas com energia de até 10^{16} eV, o mecanismo de aceleração seja a explosão de algumas estrelas no final da vida, fenômeno denominado supernova. Acima desse patamar, o cenário é nebuloso. As hipóteses sobre as possíveis fontes que imprimem tamanha energia a uma partícula aumentam na mesma proporção em que faltam evidências experimentais para baseá-las.

Cálculos teóricos indicam que raios cósmicos que chegam à atmosfera terrestre com energia acima de 5×10^{18} eV devem vir de perto, não mais do que 150 milhões de anos-luz. Parece muito, mas, em termos astronômicos, é mais ou menos como se fosse a vizinhança da Terra. Porém, nesse raio, não se conhece mecanismo no aglomerado local de galáxias – ao qual pertence a via láctea – capaz de imprimir tanta energia a uma partícula.

Ao longo das últimas décadas, surgiram várias hipóteses para explicar a origem dessas partículas ultra-energéticas, são elas:

- I. *Núcleos ativos de galáxias* – Geralmente, esses corpos celestes escondem em seu interior um buraco negro supermaciço, que suga matéria de estrelas destruídas pela gravitação intensa em sua vizinhança, produzindo radiação e jatos de matéria que se estendem por centenas de milhares de anos-luz.
- II. *Explosões de raios gama* – Este tipo de radiação muito energética é produzido em fenômenos astrofísicos de grande violência, provavelmente causados pelo nascimento de buracos negros nos núcleos de estrelas de grande massa.
- III. *Objetos da Via Láctea* – são objetos em nossa galáxia, como estrelas de nêutrons, que são as menores e mais densas estrelas que se tem conhecimento, formada pelo núcleo remanescente de uma supernova, ou até mesmo o buraco negro que habita o centro da Via Láctea;

5.4. Câmara de Nuvens/Wilson

Inventada por Charles Wilson em 1911, a câmara de nuvens foi o primeiro detector capaz de mostrar traços produzidos por partículas subatômicas. A câmara de Wilson é frequente nos estudos sobre partículas elementares e, entre suas contribuições, pode-se citar a descoberta do pósitron por Carl D. Anderson em 1932.

A câmara de nuvens é formada basicamente por um recipiente transparente, contendo uma mistura de álcool comum e gelo seco armazenada em um recipiente mau condutor de calor. Um reservatório mantém um papel fixo na parte superior interna do recipiente transparente permanentemente embebido em álcool isopropílico [9].

O álcool presente no papel, que está à temperatura ambiente, evapora e preenche o recipiente do vidro. A parte do vapor que se encontra mais próxima à placa metálica se resfria por estar em contato com o gelo seco a, aproximadamente, -78°C . Com o resfriamento, o vapor se torna mais denso e condensa sobre a placa, simultaneamente, o vapor presente na parte inferior da câmara se resfria. Esse processo inicia um ciclo de convecção, em que o álcool evapora na parte superior da câmara e se condensa sobre a placa metálica na parte inferior.

Ressalta-se que o estado de vapor imediatamente acima da placa (até uma altura de, aproximadamente, 1 cm) é supersaturado, ou seja, o vapor do composto tem uma pressão maior (parcial) do que a sua pressão comum, e, quando uma partícula carregada passa pelo vapor supersaturado de álcool, ela ioniza as moléculas que estão no caminho. Essa ionização induz a condensação das gotículas de álcool, formando um traço que, ao ser iluminado, pode ser observado a olho nu.

O tempo de duração de um traço é muito curto (cerca de 1s), por isso uma câmara de vídeo digital foi usada para registrar os eventos e, posteriormente, as imagens são analisadas.

5.5. Construção da Câmara de Nuvens/Wilson

Para a construção da câmara de nuvens, adotamos um modelo ideal e de baixo custo proposto por Laganá (2011) Figura 1, que conta com um aquário (A) apoiado sobre uma placa metálica (F) parcialmente submersa numa mistura de álcool comum e gelo seco (G) Figura 2, que se encontra armazenada em um recipiente de isopor (H). Um reservatório (D) mantém um pedaço de papel (B) afixado na parte superior interna do vidro constantemente embebido em álcool isopropílico (C) [9].

A partir desse modelo adaptamos conforme a disponibilidade de materiais e nossa necessidade Figura 3, tendo por fim os seguintes materiais:

- I. Álcool isopropílico;
- II. Feltro;
- III. Aquário;
- IV. Dissipador;

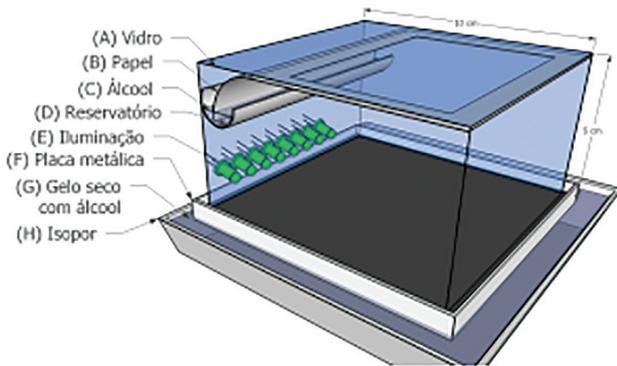


Figura 1: Câmara de nuvens ideal e de baixo custo [9].



Figura 2: Gelo seco e dissipadores.

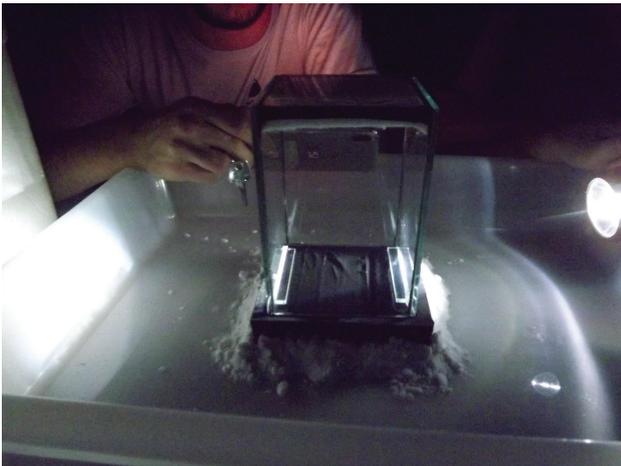


Figura 3: Câmara de nuvens construída.

- V. Gelo seco;
- VI. Vasilha para a câmara;
- VII. Lanterna.

A câmara de nuvens/Wilson tem como fator primordial de funcionamento a supersaturação do vapor do

álcool no interior do aquário. Esse fenômeno se dá devido à diferença de temperatura entre a base e o topo da câmara, onde neste há o feltro em temperatura ambiente, e na base, a superfície dos dissipadores a uma temperatura aproximada de $-78,5^{\circ}\text{C}$. Desse modo, o álcool começou a evaporar e ao entrar em contato com a superfície de menor temperatura teve sua densidade aumentada e condensou, começando assim, um ciclo de convecção, devido a constante evaporação e condensação do álcool.

Por isso, quando uma partícula energética atravessa o vapor supersaturado, as moléculas contidas no seu caminho são ionizadas. Essa ionização leva a uma condensação das partículas de álcool, formando, assim, um traço que, ao ser iluminado pela lanterna, é possível de se observar a olho nu.

Devido à dificuldade de obtenção do gelo seco, escolhemos uma solução alternativa: utilizamos um extintor de incêndio de CO_2 , onde há um reservatório que contém o dióxido de carbono líquido, altamente pressurizado, chegando a 250 kgf/cm^2 .

Quando acionamos o extintor, parte do CO_2 saiu na forma de gás, mas devido à queda de temperatura na depressurização, uma parte saiu como gelo seco.

Para conseguirmos extrair a maior quantidade possível de gelo seco, utilizamos de um tecido de algodão para fechar a boca do extintor, que permitiu a saída do gás, mas conteve o substrato sólido.

6. Resultados e Análises

Utilizamos uma câmera fotográfica e um celular para a gravação dos traços de raios cósmicos no vapor supersaturado durante o experimento. Para uma melhor visualização e análise das partículas, utilizamos o *software* MAGIX Vegas Pro 16 para edição das imagens, onde as cores foram invertidas e, conforme a necessidade de cada filmagem, alternamos entre o realce do brilho, saturação e contraste. Para separação das imagens capturadas das partículas, visualizamos as imagens quadro por quadro, selecionando aquelas que apresentavam a melhor qualidade. Com esse conteúdo, obtivemos imagens de partículas de baixa e alta energia, elétrons de ionização e prótons.

6.1. Partículas de Baixa Energia

As partículas de baixa energia Figuras 4 e 5 tiveram uma incidência considerável durante o experimento. As mesmas possuem energia da ordem de 0.05 MeV e podem ser identificadas através da grande quantidade de desvios em sua trajetória. Isso se deve ao fato de que, quanto menor a energia da partícula, maiores as chances de ocorrerem colisões, causando os desvios que podem ser observados nas imagens abaixo.

Vale ressaltar que não necessariamente as partículas de baixa energia que foram detectadas podem ser classificadas como raios cósmicos, pois sabe-se que até cerca



Figura 4: Partícula de baixa energia.

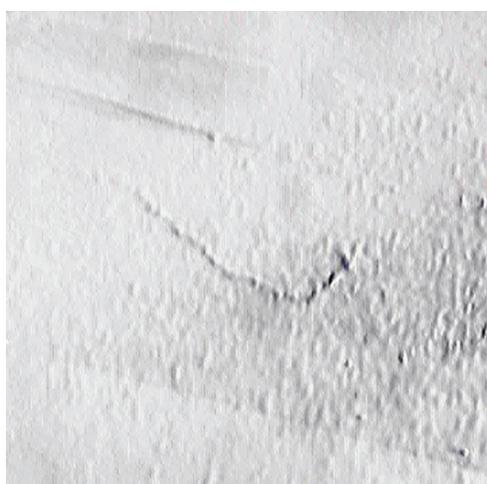


Figura 5: Partícula de baixa energia.

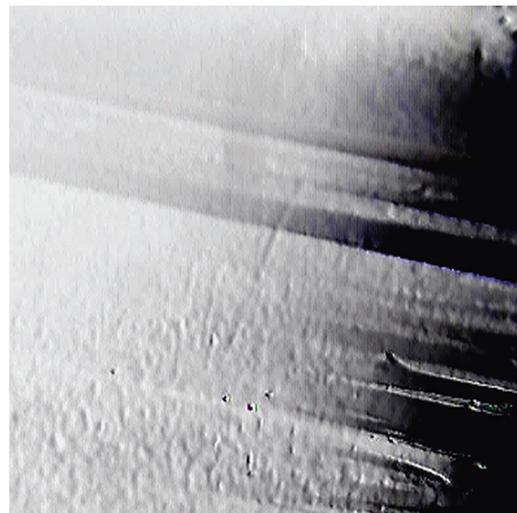


Figura 6: Partícula de alta energia.



Figura 7: Partícula de alta energia.



Figura 8: Partícula de alta energia.

de 500 metros de altitude a radiação detectada pode ter interferência da radiação do solo. A partir dessa altitude o aumento da radiação pode ser explicado pelos raios cósmicos [7].

6.2. Partículas de Alta Energia

As partículas de alta energia Figuras 6, 7 e 8 são mais fáceis de detectar, pois seu traço é forte e comprido. Essa característica se dá pelo fato de dificilmente se colidirem com as moléculas do vapor do álcool.

Estas são de difícil fabricação em laboratórios e aceleradores devido a sua potência energética, entretanto estão em abundância na detecção dos raios cósmicos.

6.3. Elétrons de Ionização

A identificação de um elétron de ionização Figura 9 se dá ao observar-se um traço bifurcado. Essa divisão de trajetória ocorre quando uma partícula energética tem um dos seus elétrons tomado por uma molécula.

Em nosso experimento, esse tipo de ocorrência foi a mais rara, levando a obtenção de apenas um frame.

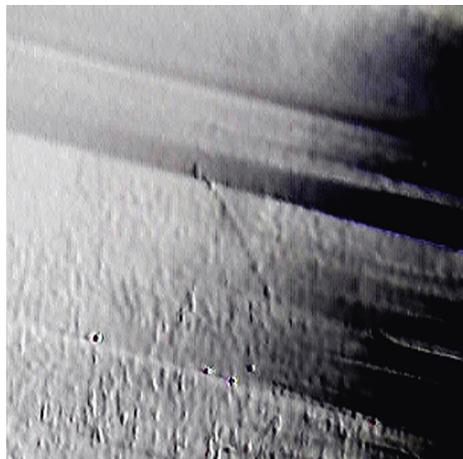


Figura 9: Elétron de ionização.

6.4. Prótons

Alguns prótons produzidos nos chuveiros de partículas atingem o nível do mar, podendo ser observados na câmara de nuvens. Tais partículas possuem um traço bem característico: reto e extremamente forte Figuras 10, 11, 12 e 13.

A explicação para esse traço característico deixado pelo próton vem da interação de partículas carregadas com a matéria. Por terem uma massa maior, prótons depositam muito mais energia no vapor de álcool do que os demais, portanto ionizam mais moléculas, deixando um traço mais espesso [10].



Figura 10: Prótons.

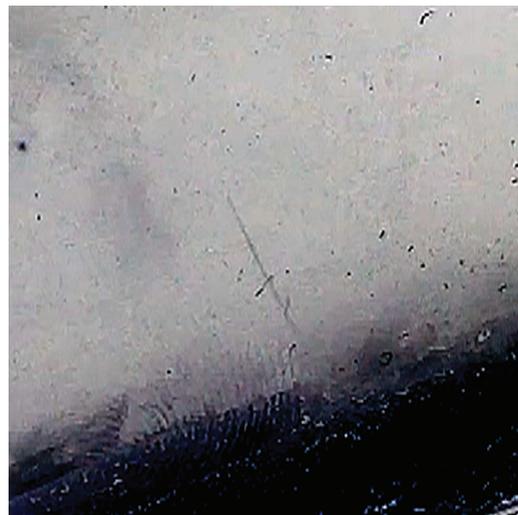


Figura 11: Prótons.

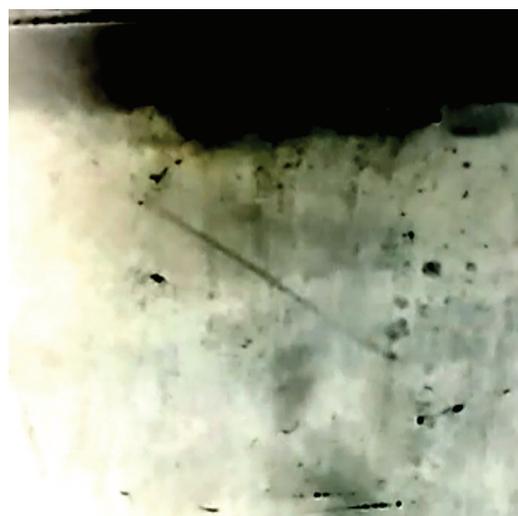


Figura 12: Prótons.



Figura 13: Prótons.

7. Considerações Finais

Os resultados apresentados neste trabalho foram obtidos por estudantes de nível técnico médio do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – campus Varginha – durante um projeto de iniciação científica júnior. A professora orientadora do projeto e autora deste artigo apresentou as referências bibliográficas básicas sobre o tema para os estudantes, bem como os objetivos do projeto. Os estudantes, e também coautores, estudaram autonomamente o tema, construíram a câmara de nuvens, registraram a detecção dos raios cósmicos e analisaram os resultados, da forma como foi detalhadamente explicada ao longo desse texto. O desenvolvimento do projeto e a evolução dos estudantes envolvidos foram acompanhados pela orientadora por reuniões quinzenais. Sempre que um desafio surgia, a orientadora questionava ao grupo sobre possíveis soluções para cada situação. Assim os estudantes buscavam em grupo discutir as possibilidades e superar as dificuldades inerentes à prática experimental e ao processo de aprendizagem de um assunto novo. Bem como pode ser percebido na solução encontrada para a falta de acesso ao gelo seco. Ao se deparar com essa dificuldade, os estudantes buscaram uma possibilidade de solução que se mostrou muito bem sucedida. Após a conclusão do projeto, os resultados foram apresentados em um evento científico local e a excelente avaliação e repercussão deixou evidente o impacto do trabalho na aprendizagem dos estudantes envolvidos.

Desta forma, considerando que todo projeto foi desenvolvido pelos estudantes de nível médio e o sucesso na aprendizagem e no desenvolvimento acadêmico-científico dos estudantes, percebemos que a metodologia é viável para uma abordagem com esse público, desde que utilizada para pequenos grupos de estudantes. O que se mostra muito promissor, sendo que vários fenômenos naturais podem ser observados de forma bastante prática e interdisciplinar, como os estados da matéria, os processos de transmissão de calor, a física de partículas e a astronomia. Além disso, a metodologia permitiu que os estudantes tivessem contato com o método científico e seus percalços, como a dificuldade de acesso ao gelo seco e, assim com a solução de problemas reais. Então, qualitativamente podemos perceber que a aprendizagem baseada em projetos foi eficiente para aprendizagem e letramento científico dos estudantes envolvidos no desenvolvimento do projeto. Além de contribuir para aprimoramento de habilidades subjacentes que são fundamentais para a formação crítica dos estudantes.

Referências

- [1] J.C.C. Anjos e C.L. Vieira, em: *Um olhar para o futuro: Desafios da física para o século 21* (Vieira & lent, Rio de Janeiro, 2008), 1 ed., p. 74.
- [2] C.L. Oliveira, *Significado e contribuições da afetividade, no contexto da Metodologia de Projetos, na Educação*

Básica. Dissertação de Mestrado, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte (2006).

- [3] J. Dewey, *Vida e Educação* (Melhoramentos, São Paulo, 1967), 6. ed.
- [4] J. Dewey, *Democracia e Educação* (Companhia Editora Nacional, São Paulo, 1959), 3. ed.
- [5] F. Hernández, *Transgressão e mudança na educação: os projetos de trabalho* (Artmed, Porto Alegre, 1998).
- [6] F. Hernández e M. Ventura, *A organização do currículo por projetos de trabalho: o conhecimento é um caleidoscópio* (Artmed, Porto Alegre, 1998).
- [7] M.C. Bustamante, *Rev. Bras. Ensino Fís.* **35**, 2603 (2013).
- [8] P.K.F. Grieder, *Cosmic Rays at Earth: Reseracher's Reference Manual and Data Book* (Amsterdam, Elsevier Science, 2001).
- [9] C. Lagana, *Rev. Bras. Ensino Fís.* **33**, 3302 (2011).
- [10] A.C. Trindade, *Reconhecimento de padrões de imagens de traços nucleares produzidos por partículas alfa em detectores de estado sólido*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos (2010).