



O ENSINO DE RAIOS CÓSMICOS NO ENSINO MÉDIO POR MEIO DOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

TEACHING COSMIC RAYS IN HIGH SCHOOL THROUGH THE THREE PEDAGOGICAL MOMENTS

MATHEUS DE SOUZA ABRANTES^{*1}, LUCAS DE SOUZA ABRANTES^{†2}, VITOR ACIOLY  ^{‡1}

¹Instituto de Física - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Mestrado Profissional em Ensino de Física.

²Instituto de Física - Universidade Federal Fluminense. Licenciatura em Física.

³Instituto de Física - Universidade Federal Fluminense. Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF). Programa de pós-graduação em Ensino de Ciências da Natureza (PPECN)

Resumo

Este trabalho é um recorte do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado Uma sequência didática de raios cósmicos utilizando os três momentos pedagógicos. O objetivo é apresentar uma proposta de atividade para o ensino médio que permita a inserção de conteúdos de física moderna e contemporânea, tendo os raios cósmicos como tema central. Por ser um assunto amplo, ele possibilita a conexão entre conceitos da física básica e da física moderna. Para a abordagem dos conteúdos, adotou-se como referencial teórico a teoria da transposição didática, elaborada por Chevallard, e como metodologia, os três momentos pedagógicos propostos por Delizoicov e Angotti. Esse método, baseado nas ideias de Paulo Freire, busca relacionar o conhecimento científico com situações do cotidiano por meio da problematização. Com base nesse referencial, a discussão sobre raios cósmicos no ensino médio envolve tópicos fundamentais como ordem de grandeza, modelos atômicos, cargas elétricas, além de conteúdos menos comuns, como a Radiação Cherenkov, permitindo a compreensão do funcionamento dos tanques de detecção do Observatório Pierre Auger. Ao final da sequência, os estudantes são estimulados a produzir apresentações, utilizando os conceitos explorados durante as atividades.

Palavras-chave: Três momentos pedagógicos. Ensino de física. Raios cósmicos.

*profmatheusabrantest@gmail.com

†lucasabrantest@id.uff.br

‡vitoracioly@id.uff.br

Abstract

This work is an excerpt from the Undergraduate Final Project entitled A Didactic Sequence on Cosmic Rays Using the Three Pedagogical Moments. Its objective is to present a teaching activity for high school that enables the inclusion of topics from modern and contemporary physics, using cosmic rays as the central theme. As a broad subject, it allows for connections between basic and modern physics concepts. To guide the content approach, Chevallards theory of didactic transposition was adopted as the theoretical framework, and the methodology was based on the three pedagogical moments proposed by Delizoicov and Angotti. This method, inspired by Paulo Freires ideas, seeks to relate scientific knowledge to everyday situations through problematization. Based on this framework, the discussion of cosmic rays in high school involves key topics such as order of magnitude, atomic models, and electric charges, along with less common content like Cherenkov Radiation, enabling an understanding of how the detection tanks at the Pierre Auger Observatory work. At the end of the sequence, students are encouraged to create presentations using the concepts explored throughout the activities.

Keywords: Three Pedagogical Moments. Physics Education. Cosmic Rays.

I. INTRODUÇÃO

A revolução tecnológica exerce um papel fundamental na vida contemporânea, porém o conhecimento sobre o funcionamento dos dispositivos eletrônicos e das máquinas que auxiliam em diversas atividades do cotidiano ainda é bastante limitado. Essa limitação está, em parte, relacionada à ausência de conteúdos específicos nas grades curriculares escolares, o que contribui para o distanciamento dos alunos em relação aos processos de fabricação, distribuição e às múltiplas etapas realizadas por diferentes profissionais até que tais produtos cheguem ao consumidor final.

Enquanto educadores, é inadmissível que o acesso dos alunos às informações de cunho científico ocorra apenas por meio dos canais de divulgação científica. Embora vivamos na chamada era da informação, este também é um tempo marcado pela desinformação, com os meios de comunicação frequentemente propagando notícias falsas. Nesse cenário, é responsabilidade do professor fomentar o pensamento crítico nos estudantes, capacitando-os a distinguir entre o que é verdadeiro e o que é falso, além de compreenderem a relevância das pesquisas científicas para a sociedade e o progresso da humanidade (Saran, 2012).

O ensino de Física, tal como ainda ocorre na educação contemporânea, tende a promover uma aprendizagem mecânica baseada em conteúdos desatualizados, com ênfase na figura do professor e na preparação para avaliações e vestibulares. Essa abordagem valoriza apenas a reprodução de respostas corretas, sem estimular o questionamento, retratando a Física como uma ciência fechada, tal como apresentada em livros didáticos e apostilas (Moreira, 2014).

Diante desse quadro, torna-se essencial adotar metodologias que promovam uma relação dialógica entre professor e aluno, oferecendo aulas mais dinâmicas, centradas na problematização e no diálogo, estabelecendo conexões entre o senso comum e o conhecimento

científico, e refletindo sobre como esses saberes se manifestam no cotidiano dos estudantes. Nesse sentido, a abordagem metodológica dos Três Momentos Pedagógicos se apresenta como uma ferramenta potente para o ensino e a aprendizagem da Física, promovendo maior engajamento dos alunos na construção do próprio saber (Bonfim et al., 2018).

Sendo a transposição didática um processo, um conteúdo do saber tendo sido designado como saber sábio quando sofre, a partir daí, um conjunto de transformações adaptativas que o levam a tomar lugar entre os objetos de ensino. O trabalho em tornar um objeto do saber a ensinar em objeto do saber ensinado é denominado Transposição didática. (Chevallard, 1991, p.45). Portanto, a transposição didática é o processo que transforma o saber sábio, produzido pelos cientistas, em saber ensinado, discutido pelos professores em sala de aula.

II. RAIOS CÓSMICOS

Os raios cósmicos são partículas de altíssima energia provenientes do espaço, que atingem a Terra constantemente e de todas as direções. Em sua maioria, são compostos por prótons, ou seja, núcleos de hidrogênio, mas também incluem núcleos de hélio e de elementos mais pesados. Ao colidirem com as partículas presentes na atmosfera terrestre, essas partículas primárias desencadeiam interações que geram novas partículas, conhecidas como partículas secundárias. Esse processo forma um efeito em cascata, denominado cascata atmosférica ou chuva atmosférica. As partículas secundárias possuem menor energia e podem ser detectadas ao nível do solo por meio de equipamentos sensíveis (Abrantes, 2024).

Um fenômeno consequente dessas partículas com altas energias é a Radiação Cherenkov, efeito esse visto pela primeira vez por Marie e Pierre Curie em 1900, que só então foi detectado experimentalmente por Pavel Cherenkov, sendo anos depois desenvolvida a teoria por Igor Tamm e Ilya Frank. O fenômeno consiste na possibilidade de partículas com capacidade de viajar mais rápido que a luz em um meio transparente, já que a luz tem redução na velocidade ao passar por um meio material. O movimento da partícula no meio transparente causa um agitação nas moléculas ao redor e quando retornam ao seu estado inicial emitem radiação eletromagnética, essa perturbação se propaga em forma de onda e radialmente, mas devido a partícula ser mais veloz que a luz no meio, as ondas emitidas acabam por se adicionar em uma situação similar a de um jato quebrando a barreira do som, dessa maneira a luz acaba sendo emitida apenas em certos ângulos, dependendo da direção e da energia da partícula, podendo então através ângulo entre a radiação e a trajetória da partícula determinar a velocidade da partícula (Takeda, 2018).

Utilizar os raios cósmicos como eixo temático para abordar conteúdos de Física é uma estratégia interessante, pois permite trabalhar diversos tópicos previstos no currículo. A partir desse tema, é possível promover a conscientização sobre os efeitos da radiação e seu impacto na saúde humana, além de explorar temas interdisciplinares relacionados à astronomia e discutir a relevância do estudo dos raios cósmicos para o avanço da física de partículas. Dessa forma, o tema torna-se uma excelente ferramenta para estimular o interesse e o engajamento científico dos estudantes (Tschá; Belluco, 2022).

O estudo dos raios cósmicos abrange desde a compreensão da estrutura da matéria até investigações sobre o universo primordial. Ele também contribui para o entendimento de fenômenos naturais terrestres, como as auroras boreais e austrais, que resultam da interação

dessas partículas com o campo magnético terrestre. Além disso, os raios cósmicos podem ionizar a atmosfera, catalisando a formação de nuvens e, consequentemente, influenciando o clima do planeta (Abrantes, 2024).

III. TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

A estrutura utilizada neste trabalho baseia-se nas contribuições teóricas de Delizoicov e Angotti (1990), inspiradas nos princípios desenvolvidos por Paulo Freire. A proposta prioriza o fortalecimento do vínculo entre professor e aluno, incentivando o diálogo constante e retirando o professor da posição central no processo de ensino-aprendizagem. Como ressaltava Freire (2005), a concepção problematizadora representa uma ruptura com o modelo tradicional, pois o educador passa a atuar na construção conjunta do saber, comprometido não mais com a opressão, mas com a libertação.

Dessa forma, a metodologia adotada valoriza vínculos significativos entre o conteúdo e a realidade dos estudantes, levando em consideração seus contextos sociais, históricos e culturais. Alinha-se à perspectiva de ensino de Ciências proposta por Moreira (2014), que defende uma aprendizagem significativa de conteúdos clássicos e atuais, com foco no protagonismo estudantil e na formação de competências científicas.

Com base nessas premissas, Delizoicov e Angotti (1990) organizam a metodologia dos Três Momentos Pedagógicos em três etapas interligadas: Problematização Inicial, Organização do Conhecimento e Aplicação do Conhecimento, descritas da seguinte maneira:

1º Problematização Inicial:

Esta fase introdutória tem como finalidade despertar o interesse dos alunos, por meio da apresentação de situações-problema vinculadas ao seu cotidiano. O professor propõe um desafio que coloca em xeque os conhecimentos prévios dos estudantes, estimulando a formulação de dúvidas e incentivando a busca por respostas, gerando mais questionamentos do que conclusões imediatas.

2º Organização do Conhecimento:

Dando sequência à problematização, esta etapa se volta à exposição dos conteúdos científicos necessários para compreender a situação apresentada. O professor introduz conceitos, teorias e informações que auxiliam na análise crítica do problema, promovendo a sistematização do conhecimento com foco no aprendizado formal.

3º Aplicação do Conhecimento:

A última etapa busca estabelecer relações entre o conteúdo aprendido e a vivência dos alunos, promovendo uma análise crítica da realidade com base no conhecimento adquirido. O objetivo é permitir que os estudantes usem os conceitos para interpretar novos contextos, tomar decisões conscientes e propor soluções para desafios concretos.

IV. PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A proposta de sequência didática apresentada neste trabalho foi elaborada com base no estudo de Abrantes (2024) e estruturada segundo a metodologia dos Três Momentos Pedagógicos. Por isso, está organizada em três etapas distintas. As atividades sugeridas nesta sequência são indicativas e podem ser aplicadas em sala de aula, cabendo ao professor avaliar a melhor forma de abordagem, adaptando-as à realidade e às necessidades da sua turma.

O objetivo da atividade, conforme indicado no Quadro 01, é, num primeiro momento, levantar questionamentos sobre os raios cósmicos e suas conexões com o cotidiano. Para isso, utilizam-se exemplos do mundo real, como o caso dos aviões, a fim de discutir os possíveis riscos que a radiação cósmica representa para a saúde humana, bem como suas implicações na economia e na sociedade.

Quadro 01: Síntese das etapas dos Três Momentos Pedagógicos: Estudo dos Raios Cósmicos

Etapa	Aulas	Atividades
Problematização inicial	1 aula	- O que é um raio cósmico? - De onde eles vêm? - Como afeta nossas vidas? - Por que estudamos a respeito? - Eles são perigosos?
Organização do conhecimento	4 aulas	- Introdução a modelos atômicos, sua história, com enfoque no modelo padrão - Estudo da ordem de grandeza, utilizando o tema de física de partículas - Funcionamento do tanque detector, experimento da água que brilha no escuro - Explicação da radiação Cherenkov e questionamentos acerca disso
Aplicação do conhecimento	2 aulas	- Atividade avaliativa final

Fonte: Abrantes, 2024

Após essa etapa inicial de apresentação e problematização, dá-se início ao segundo momento, dedicado ao aprofundamento e à formalização de conceitos relacionados à física básica, além da introdução de temas da chamada física de fronteira, presentes em pesquisas científicas contemporâneas sobre os raios cósmicos.

Concluída a fase de organização e sistematização do conhecimento, com a devida formali-

zação dos conteúdos a serem debatidos com os estudantes, parte-se para o terceiro momento: a aplicação do conhecimento. Nesta etapa, os alunos devem apresentar um seminário sobre os conteúdos estudados, sendo também incentivados a investigar outros temas relacionados aos raios cósmicos, ainda não abordados na sequência, mas que dialogam com os campos da ciência, tecnologia, sociedade e também da arte.

1º Momento Pedagógico: Problematização inicial

No primeiro momento os estudantes recebem um recorte de uma notícia sobre o risco da radiação espacial ser maior para passageiros de avião, após a leitura crítica em conjunto dos estudantes acerca da reportagem (figura 1), o professor deve criar questionamentos acerca do que foi lido, com o objetivo de criar mais perguntas do que respostas.

Risco de radiação espacial aumenta para passageiros de avião Uma pesquisa revela que a exposição à radiação espacial, quase inevitável em viagens que sobrevoam os polos, equivale a um exame de raios X do tórax.  Viagens de avião: essa radiação pode levar à modificação do DNA, produzir radicais químicos que podem alterar o funcionamento das células e aumentar o risco de desenvolvimento de câncer (Fonte: Zampieri/Agência Reuters) Denver - Os passageiros de avião, especialmente os que viajam com frequência e realizam viagens longas, enfrentam um risco cada vez maior de ficarem expostos à radiação de partículas do espaço, e esse perigo aumentará nos próximos anos, segundo um estudo divulgado nesta quarta-feira. Uma pesquisa da Universidade do Colorado em Boulder, nos Estados Unidos, revela que a exposição à radiação espacial, quase inevitável em viagens que sobrevoam os polos, equivale a um exame de raios X do tórax.	A autora do estudo, Delores Knipp, indica que, para além dos riscos e desconfortos próprios das viagens de avião, que vão desde ações terroristas até ser retirado à força da aeronave, os passageiros agora deverão se preocupar com a radiação proveniente do espaço, que pode levar à modificação do DNA, produzir radicais químicos que podem alterar o funcionamento das células e aumentar o risco do desenvolvimento de câncer. Durante a próxima década, para a qual está prevista uma diminuição da atividade solar, o problema aumentará e, por isso, mais partículas do espaço chegarão à Terra sem serem desviadas pelo sol ou pelo vento solar, de acordo com o estudo. Os pilotos de companhias aéreas americanas "estão suficientemente preocupados para assistirem a conferências (sobre o clima espacial) porque conhecem as pesquisas mais recentes sobre radiação em aviação", afirmou Knipp em seu estudo. A autora explicou que suas pesquisas começaram quando ela relacionou o iminente início do chamado "ciclo solar mínimo", que dura aproximadamente 22 anos, durante os quais a atividade solar se reduz, com a capacidade dos raios cósmicos de penetrarem no interior das aeronaves. Knipp usou pesquisas realizadas anteriormente pela NASA, a agência espacial dos EUA, bem como medições feitas por balões aerostáticos sobre a radiação que chega à Terra e modelos desenvolvidos por computadores, para determinar que as partículas espaciais criam uma "chuva de partículas" com alta energia quando entram no avião. "No futuro, os cientistas necessitam transformar o conhecimento que obtivemos em medidas padronizadas e práticas para avaliar o impacto na saúde a longo prazo em tripulantes e passageiros", comentou a pesquisadora.
---	---

Figura 1: Figura 01: Reportagem sobre o risco de radiação espacial. Fonte <<https://exame.com/ciencia/risco-de-radiacao-espacial-aumenta-para-passageiros-de-aviao/>>

Algumas possíveis perguntas podem ser elaboradas pelo professor com o objetivo de discutir a natureza corpuscular dos raios cósmicos e os efeitos gerados quando essas partículas atingem a atmosfera terrestre. A proposta é levantar um debate sobre os possíveis riscos que essas partículas representam à saúde humana, abordando a questão da radiação e contribuindo para desmistificar o tema. Entre os questionamentos que podem ser propostos, destacam-se:

- Que perigo é esse mencionado pela reportagem?
- Por que não conseguimos ver a chuva de partículas? Que partículas compõem esse fenômeno?
- Por que isso é considerado perigoso? Devemos nos preocupar? Como isso nos afeta?

- Do que são formadas essas partículas?

A partir da leitura da reportagem, também é possível problematizar sua construção e refletir sobre como os processos científicos são retratados pelo jornalismo. Nota-se que a matéria não menciona o nome do cientista responsável pelo estudo nem sua área de atuação. Essa ausência leva à reflexão sobre quem são os autores dessas pesquisas e onde elas são desenvolvidas, abrindo espaço para discutir, por exemplo, o papel do Observatório Pierre Auger¹ nesse campo de investigação.

2º Momento Pedagógico: Organização do conhecimento

O segundo momento pedagógico tem como finalidade aprofundar os conhecimentos dos alunos em relação à situação-problema apresentada na etapa anterior.

Quadro 02: Síntese das atividades realizadas no segundo momento pedagógico.

Aulas	Descrição	Tempo
Aula 2	Atividade de ordem grandeza, abordando conceitos e elementos desde o tecido do universo ao aglomerado de galáxias	50 minutos
Aula 3	Definição dos modelos atômicos, desde sua história, comentando sobre a história dos raios cósmicos, realizando uma breve explicação do modelo padrão de partículas	50 minutos
Aula 4	Experimento de cintilação para mostrar o que acontece dentro de um tanque detector	50 minutos

Fonte: Abrantes, 2024

Aula 2: Ordem de grandeza

Nesta aula, será realizada uma atividade voltada à compreensão do conceito de ordem de grandeza. Utilizar-se-á um projetor de slides para apresentar imagens e representações que ajudem a ilustrar conceitos abstratos relacionados ao tema. Serão exploradas analogias próximas à realidade dos alunos, com o objetivo de facilitar a visualização e a mensuração das diferentes escalas de tamanho representadas por meio da notação científica.

Aula 3: Modelos atômicos e eletroscópios

O foco desta aula é apresentar aspectos históricos e teóricos da evolução dos modelos atômicos, desde suas primeiras formulações até o Modelo Padrão atualmente aceito. Após

¹Observatório Pierre Auger consiste em um conjunto de 1.660 detectores de superfície, espaçados de 1,5 km entre si e cobrindo uma área total de 3.000 km², localizado no Pampa Amarilla no oeste da Argentina.

contextualizar essa trajetória e abordar a descoberta das subpartículas, será destacada a importância do estudo dos raios cósmicos ao longo do tempo para a identificação dessas partículas fundamentais.

Essas investigações surgiram a partir do questionamento sobre o motivo do descarregamento dos eletroscópios. Assim, torna-se interessante explorar o funcionamento desse instrumento, utilizado na medição de cargas elétricas, formado por duas folhas metálicas, bem como refletir sobre a natureza dessas cargas. A partir disso, os alunos poderão compreender o raciocínio dos cientistas da época, que levantaram hipóteses sobre a origem da radiação ionizante se ela vinha do solo ou do espaço.

Aula 4: Experimento de cintilação

Dando continuidade aos conteúdos abordados na aula anterior, os estudantes irão discutir as evidências históricas que levaram à conclusão de que a radiação ionizante possui origem extraterrestre, sendo então denominada raios cósmicos. Nesta aula, será aprofundado o entendimento sobre os efeitos da interação dessas partículas com a atmosfera terrestre e sobre os métodos de detecção utilizados para observá-las ao nível do solo.

Será apresentado o funcionamento do Observatório Pierre Auger, o maior observatório de raios cósmicos do mundo, que conta com 1660 detectores de superfície e 27 telescópios de fluorescência. Os detectores utilizam cintiladores para registrar a passagem das partículas. Para ilustrar em sala de aula o brilho gerado pela interação das partículas com a água presente nos tanques de detecção, será realizado o experimento conhecido como água que brilha no escuro, inspirado no trabalho de Ghidini (2023).



Figura 2: *Figura 02: Materiais necessários para o experimento*

Materiais necessários:

- Água tônica utilizada como material fluorescente
- Água sanitária atuará como agente oxidante

- Lâmpada ultravioleta (luz negra) fonte de radiação UV
- Recipiente transparente
- Conta-gotas para adicionar a água sanitária

O procedimento do experimento consiste, primeiramente, em despejar a água tônica dentro do recipiente transparente. Em seguida, deve-se incidir a luz negra sobre o líquido. É recomendável que o ambiente esteja com pouca iluminação, para facilitar a visualização do fenômeno. Ao iluminar a água tônica com a luz ultravioleta, observa-se uma emissão de luz azulada.

Essa luminosidade ocorre devido à presença da quinina na água tônica, substância que interage com a radiação ultravioleta e gera fluorescência. O efeito observado é uma analogia ao processo de detecção dos cintiladores presentes nos tanques dos detectores de raios cósmicos. Ao adicionar algumas gotas de água sanitária com o auxílio do conta-gotas, a fluorescência cessa, pois ocorre a oxidação da quinina, interrompendo sua interação com a luz UV.

Neste experimento, a luz negra representa, de forma análoga, o múon embora não sejam equivalentes, já que a luz UV é uma radiação eletromagnética e o múon é uma partícula. A água tônica, por conter a substância fluorescente, desempenha o papel de cintilador, simulando o funcionamento dos detectores. O objetivo principal do experimento é proporcionar uma demonstração lúdica da fluorescência e ilustrar, de maneira acessível, como ocorre esse efeito nos tanques do Observatório Pierre Auger.

O experimento é melhor realizado em um ambiente com baixa iluminação para uma melhor visualização do fenômeno, tendo como preparativos para a experiência despejar a água tônica em um recipiente transparente e preparar a luz negra para incidir sobre o líquido. Durante o experimento é possível observar que a radiação ultravioleta na água tônica causa uma emissão de luz azulada. Essa luminosidade ocorre devido à presença da quinina na água tônica, substância que interage com a radiação ultravioleta e gera fluorescência. Ao adicionar algumas gotas de água sanitária com o auxílio do conta-gotas, a fluorescência cessa, pois ocorre a oxidação da quinina, interrompendo sua interação com a luz UV.

A interação entre o múon e o cintilador é semelhante ao efeito da luz negra na água tônica, onde ambos produzem emissão de luz, sendo através da cintilação e o outro por fluorescência, respectivamente. No entanto, esse fenômeno só ocorre se o meio mantiver propriedades específicas, se a água tônica perde a capacidade de fluorescência ao misturar-se com água sanitária uma situação análoga aconteceria se o cintilador perdesse a carga elétrica dos átomos assim deixando de reagir com a carga elétrica do múon. Se essas propriedades forem alteradas a interação cessa (Ghidini, 2023).

Vale frisar que o objetivo principal do experimento é proporcionar uma demonstração lúdica da fluorescência e ilustrar, de maneira acessível, como ocorre esse efeito nos tanques do Observatório Pierre Auger.

3º Momento Pedagógico: Aplicação do conhecimento

Neste terceiro e último momento, o objetivo é levar os alunos a estabelecerem relações entre os conhecimentos adquiridos e situações do mundo natural e social, tornando o aprendizado mais significativo. A proposta é que os estudantes apresentem seminários como atividade final, incentivando a apropriação dos conceitos discutidos ao longo das aulas e estimulando a pesquisa autônoma para aprofundar a compreensão.

Os alunos podem ser organizados em grupos, e os seminários devem abordar temas que relacionem o conteúdo estudado aos contextos tecnológico, econômico e social, destacando o papel do ser humano nesses processos. Durante essa etapa, o professor deve manter uma postura problematizadora, contribuindo com a formalização de conceitos que eventualmente não tenham sido totalmente desenvolvidos pelos alunos (Bonfim, 2018).

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A sequência didática proposta para o ensino médio contemplou temas como raios cósmicos, astronomia, física básica e física de fronteira, permitindo aos alunos um contato mais próximo com a pesquisa científica. Trata-se de um conteúdo presente no cotidiano, mas pouco abordado na educação básica, que pode servir como ponto de partida para explorar tanto conceitos teóricos quanto experimentais no currículo de física, promovendo uma aula mais dinâmica, interativa e significativa.

A aplicação da proposta dentro da estrutura dos Três Momentos Pedagógicos proporciona uma abordagem crítica e problematizadora, que organiza os conteúdos de maneira coerente e favorece o diálogo entre professores e estudantes.

A inserção de temas da física moderna e contemporânea representa um dos maiores desafios do ensino da disciplina, em razão dos obstáculos epistemológicos associados a esses conteúdos. Trata-se de uma dificuldade antiga no ensino de física. Assim, esta proposta se soma a outras iniciativas que visam tornar as aulas menos mecânicas e mais voltadas à exploração de conceitos da física de fronteira.

Editora Responsável: Maria de Fátima da Silva Verdeaux

REFERÊNCIAS

- ABRANTES, M. S. *Uma sequência didática de raios cósmicos utilizando os três momentos pedagógicos*. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2024.
- BONFIM, D. D. S.; COSTA, P. C. F.; NASCIMENTO, W. J. A abordagem dos três momentos pedagógicos no estudo de velocidade escalar média. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 13, n. 1, p. 187197, 2018.

CHEVALLARD, Y. *La transposición didáctica: del saber sábio al saber enseñado*. Argentina: La Pensée Sauvage, 1991.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. *Física*. São Paulo: Cortez, 1990.

FREIRE, P. *Pedagogia do oprimido*. 42. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2005.

GHIDINI, J. P. *Elaboração e avaliação de uma sequência de ensino-aprendizagem sobre raios cósmicos: proposições e reflexões*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2023.

MOREIRA, M. A. Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea. In: CICLO DE PALESTRAS DOS 50 ANOS DO INSTITUTO DE FÍSICA DA UFRJ, 2014, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Instituto de Física da UFRJ, 2014.

SARAN, M. C. B. *Astrofísica de partículas na sala de aula: uma sequência de ensino e aprendizagem sobre raios cósmicos para o ensino médio*. 129 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.

TAKEDA, C. S. *Radiação de Cherenkov*. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) Instituto de Física de São Carlos - USP, 2018.

TSCHÁ, S. H.; BELLUCCO, A. Uma proposta de sequência didática para trabalhar a natureza da ciência: a pesquisa brasileira sobre raios cósmicos. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 39, n. 1, p. 151173, 7 abr. 2022. doi: <<https://doi.org/10.5007/2175-7941.2022.e78794>>.
