

O papel do produto educacional para a promoção das perspectivas da Mecânica Clássica e da Mecânica Relacional

The educational product in promoting perspectives of Classical Mechanics and Relational Mechanics

El papel del producto educativo en la promoción de las perspectivas de la Mecánica Clásica y la Mecánica Relacional

Luciana Vital Dantas Sousa (vital.sousa01@gmail.com)

Secretaria de Estado da Educação / MT, Brasil

<https://orcid.org/0000-0003-3972-7701>

João Paulo Martins de Castro Chaib (jopachaib@gmail.com)

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – *Campus* Timóteo, Brasil

<https://orcid.org/0000-0003-4336-566X>

Frederico Ayres (frederico.neto@ufmt.br)

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais/IF/UFMT, Brasil

<https://orcid.org/0000-0003-4971-7726>

Resumo

A promoção do letramento científico na Educação Básica se restringe, tradicionalmente, a considerar as aplicações de conceitos sem estabelecer as teorias que as fundamentam. Conseqüentemente, no processo de ensino e aprendizagem, consolida-se a ideia de que determinadas teorias são absolutas e incontestáveis do ponto de vista da interpretação de certos fenômenos. Assim, neste artigo, buscou-se apresentar a interpretação do balde de Newton à luz da Mecânica Clássica e da Mecânica Relacional, motivada pela utilização de um produto educacional durante uma oficina direcionada a professores da Educação Básica e a estudantes de licenciatura. As respostas dos participantes a um formulário e suas manifestações em diálogos abertos proporcionou constatar que: (a) todos os participantes consideravam a Mecânica Clássica como absoluta; (b) houve quebra de paradigma ao interpretar o experimento do balde de Newton pela Mecânica Clássica e pela Mecânica Relacional; e (c) houve consenso em utilizar o processo histórico, cultural e social ao considerar as críticas elaboradas por Leibniz, Berkeley e Mach à interpretação do referencial estabelecido, axiomáticamente, pela Mecânica Clássica. Percebe-se, portanto, que um produto educacional complementa o conteúdo a ser abordado em sala de aula e estimula a contextualização, abandonando as aulas tradicionalmente baseadas nos conceitos.

Palavras-chave: Mecânica Clássica; Mecânica Relacional; Ensino por investigação comparativa.

Abstract

The promotion of scientific literacy in basic education is traditionally restricted to considering the applications of concepts without establishing the theories that underlie

them. Consequently, in the teaching and learning process the idea is formed that there are absolute theories, indisputable from the viewpoint of the interpretation of certain phenomena. This work aimed to present the interpretation of Newton's bucket from the perspective of Classical Mechanics and Relational Mechanics motivated by using an educational product during a workshop aimed at basic education teachers and undergraduate students. The participants' responses to a form and their expressions in open dialogues showed that: (a) all participants use to considered Classical Mechanics as absolute; (b) there was a paradigm shift when interpreting Newton's bucket experiment through Classical Mechanics and Relational Mechanics; and (c) there was consensus in using the historical, cultural and social process when considering the criticisms made by Leibniz, Berkeley and Mach regarding the interpretation of the framework established axiomatically by Classical Mechanics. It is clear, therefore, that an educational product complements the content to be covered in the classroom and encourages contextualization, abandoning classes traditionally based on concepts.

Keywords: Classical Mechanics; Relational Mechanics; Teaching through comparative research.

Resumen

La promoción de la alfabetización científica en la educación básica se limita tradicionalmente a considerar las aplicaciones de conceptos sin establecer las teorías que las sustentan. Em consecuencia, en el proceso de enseñanza y aprendizaje se forma la idea de que existen teorías absolutas, indiscutibles desde el punto de vista de la interpretación de determinados fenómenos. Este trabajo tuvo como objetivo presentar la interpretación del balde de Newton desde la Mecánica Clásica y la Mecánica Relacional motivado por el uso de un producto educativo durante un taller dirigido a docentes de educación básica y estudiantes de pregrado. Las respuestas de los participantes a una forma y sus expresiones en diálogos abiertos mostraron que: (a) todos los participantes consideraban la Mecánica Clásica como absoluta; (b) hubo un cambio de paradigma al interpretar el experimento del balde de Newton a través de la Mecánica Clásica y la Mecánica Relacional; y (c) hubo consenso en utilizar el proceso histórico, cultural y social al considerar las críticas de Leibniz, Berkeley y Mach a la interpretación del marco establecido axiomáticamente por la Mecánica Clásica. Un producto educativo complementa los contenidos a tratar en el aula y favorece la contextualización, abandonando clases tradicionalmente basadas en conceptos.

Palabras-clave: Mecánica Clásica; Mecánica Relacional; Enseñanza a través de la investigación comparativa.

INTRODUÇÃO

As tendências educacionais passaram por modificações ao longo do tempo, e o Brasil tem vivenciado a inserção de uma abordagem de ensino investigativo em que se verifica a proposição de que a escola e o professor devem promover um ensino pautado no

questionamento por meio de debates intencionais (Araujo; Justina, 2022; Moura, Nunes; Sedano, 2023; Tabosa, Albuquerque; Malheiro, 2023). As ciências da natureza foram incorporadas pelo ensino formal como uma consequência das mudanças em mentalidades e práticas sociais com o ensino amparado na prática (Canavarro, 1999; Rosa, 2005), sendo protagonista de transformações a partir das décadas de 1960 e 1970 (Krasilchik, 2000). Nesse período, o ensino de ciências passou a utilizar atividades práticas visando aplicações de métodos científicos (Marandino; Selles; Ferreira, 2009), mas com um viés tecnicista (Santos; Greca, 2006) descontextualizado em suas relações com a sociedade (Gil Pérez *et al*, 2001), com ênfase no letramento científico a partir do início do século XXI. A reflexão crítica e a investigação dos fenômenos nas aulas promoveram o ensino e a aprendizagem para a construção de conhecimentos com o objetivo de incentivar a autonomia do estudante no processo de compreensão do mundo em que se insere (Sasseron, 2018).

Diante do atual quadro do ensino de física, apresenta-se, neste trabalho, uma proposta inicial de aplicação de um produto educacional (Sousa; Ayres, 2021) com o intuito de promover o conhecimento de debates históricos entre protagonistas da ciência sobre os fundamentos da mecânica, especificamente por meio do experimento do balde de Newton (Assis, 2013), uma fonte de discussão sobre a relação entre o espaço absoluto de Newton e as forças inerciais (Leibniz, 1983; 1989; Berkeley, 1980; 2006; Mach, 1960; 1981). Como fonte de pesquisa, foram observados participantes, professores da Educação Básica e estudantes de licenciatura, durante uma oficina.

CONTEXTUALIZAÇÃO E CONCEITOS FUNDAMENTAIS

As dificuldades dos estudantes em compreender as leis que regem o movimento dos corpos (Mongan, Mondolang; Poluakan, 2020; Nakayama, 2018) justifica uma abordagem mais fundamental das leis de movimento com detalhes que permitem a compreensão da evolução dos sistemas físicos, considerando os vários aspectos das expressões da Segunda Lei de Newton e sua legitimidade (Pfister, 2003; Bhadra; Das, 2003; Hartman; Nissim-Sabat, 2007; Lee; Park, 2013).

Em seus fundamentos, a primeira Lei de Newton implica a compreensão da existência de uma “perseverança” do corpo manter seu estado de movimento com relação a um dado *referencial universal* (Chaib; Aguiar, 2016). Dessa maneira, Newton revela que, na *Definição III do Principia* (Newton, 2002), quando acelerado com relação a esse referencial universal, os efeitos da “força de inércia” sobre um corpo se apresentam. A intensidade dessa força é proporcional à massa do corpo e sua aceleração com relação a esse referencial específico, mas com sentido contrário à mudança de movimento. Diferentemente das demais “forças impressas” consideradas na segunda lei, para Newton essa era uma força “inata” e que era esse fenômeno que revelava se o corpo estava em movimento “real e absoluto” ou se o movimento era apenas “aparente e relativo” (Chaib; Aguiar, 2016). A questão paradoxal que Newton impôs foi determinar que a origem material para a força de inércia sobre um dado corpo seria inata ao próprio corpo pois, apesar de se apresentar quando acelerado com relação a um dado referencial tido como “absoluto”, este referencial não se estabeleceria com base em nenhum corpo material.

Ao ignorar a *Definição III*, os livros didáticos não explicitam que, na Segunda Lei, a aceleração que as forças impressas imputam ao corpo é a aceleração com relação a esse referencial, nenhum outro. E, para demonstrar a existência desse ente imaterial, em relação ao qual os corpos deveriam se mover, Newton analisa a experiência atualmente conhecida como “balde de Newton”. Nessa experiência, um balde cheio de água foi pendurado por uma corda longa e posto a girar. Enquanto a água permanecia em repouso no instante inicial, sua superfície apresentava-se nivelada; contudo, à medida que a água começava a girar pela força de cisalhamento com as paredes do balde, sua superfície assumia a forma de um paraboloide de revolução, com curvatura proporcional ao quadrado de sua velocidade angular.

Poder-se-ia dizer que, em relação ao balde, foi a força de suas paredes que fez a água assumir tal formato. No entanto, houve um momento em que a água e o balde estavam girando juntos. Nesse instante, assim como no momento inicial, a água encontrava-se em repouso em relação ao balde — a força de cisalhamento já não existia — e, ainda assim, sua superfície apresentava a forma de um paraboloide. Portanto, essa

nova configuração da água não se deve à ação do balde. Com relação a quem, então, a água estava girando, se é essa a condição cinemática para que o parabolóide se formasse?

A Terra também está descartada pela força sobre a água ser vertical e não centrífuga. Resta o conjunto dos demais corpos do universo — o qual também é descartado, com base no teorema segundo o qual a ação de uma casca esférica sobre um corpo localizado em qualquer ponto de seu interior é nula, desde que a força considerada seja inversamente proporcional ao quadrado da distância (Assis, 2013). Portanto, para Newton, a ação de inércia era inata, especialmente quando se mudava o movimento com relação a um imaterial “espaço absoluto” (Chaib; Aguiar, 2016).

Atualmente, a Mecânica Clássica, também, estabelece o espaço absoluto como o “referencial inercial” igualmente imaterial. O chamado “referencial inercial” não substituiu o conceito de “espaço absoluto” proposto por Newton, pois, em uma análise mais rigorosa, revela-se um argumento circular: afirma-se que um corpo está acelerado em relação a um referencial inercial quando manifesta forças de inércia, mas, ao mesmo tempo, considera-se que essas forças de inércia decorrem, justamente, da aceleração em relação a esse referencial.

A noção de espaço absoluto foi alvo de críticas por parte de vários filósofos, como Leibniz (1983; 1989), Berkeley (1980; 2006) e, mais tarde, Ernst Mach (1960; 1981), com uma análise crítica e histórica em que as propriedades do movimento dos corpos seriam em função do processo de interação destes com o restante do Universo. Por outro lado, as perspectivas de Leibniz, Berkeley e Mach deram base à Mecânica Relacional (Newburgh, 2007), que calcula a origem das forças inerciais nas relações entre os corpos, respeitando o Princípio de Mach, de maneira que o referencial universal não seria uma sensação abstrata de espaço, mas o conjunto dos materiais distribuídos no universo.

Desse modo, a mudança de perspectiva proposta por Mach resultou em uma nova interpretação. No início do movimento de rotação do balde, a superfície da água permaneceria nivelada não por estar em repouso em relação ao espaço absoluto, mas por estar em repouso em relação às estrelas distantes. À medida que passasse a girar juntamente com o balde, a água experimentaria uma força de inércia (centrífuga), afastando-se do eixo de rotação. Do ponto de vista teórico — tanto qualitativo quanto

quantitativo —, se se admitir que o restante do universo exerce influência sobre a água por meio dessa força centrífuga, a situação cinemática seria equivalente àquela em que o universo girasse em torno do eixo do balde, permanecendo este e a água em repouso em seu interior. Nesse caso, igualmente, deveria surgir uma força centrífuga sobre a água, conferindo-lhe a forma parabolóide. Assim, a divergência entre as interpretações de Newton e Mach concentra-se na origem material da força inercial — se interna e inata ao corpo ou decorrente da interação com elementos externos — e na definição do referencial em relação ao qual a aceleração deve ser considerada: se o espaço absoluto, imaterial e fixo, ou o conjunto dos demais corpos que compõem o universo.

METODOLOGIA

Para este trabalho, realizou-se uma pesquisa qualitativa com o objetivo de investigar as concepções dos participantes de uma oficina, com base na identificação das dúvidas sobre os aspectos fundamentais das leis de movimento. O ambiente de debates foi virtual, aplicado a 33 professores da Educação Básica e a 17 estudantes de licenciatura (de diversas áreas do conhecimento) com o objetivo de investigar as perspectivas adotadas nas escolas. As oficinas foram organizadas em três momentos: 1) trajetória de vida e obra de Isaac Newton; 2) apresentação sobre o experimento do balde de Newton na interpretação da Mecânica Newtoniana; 3) exposição sobre o experimento do balde na interpretação da Mecânica Relacional e da Mecânica Clássica.

Por meio dos debates, buscou-se refletir sobre as seguintes questões:

- em alguma época de suas formações, os participantes tiveram acesso aos fundamentos da Mecânica?
- Os participantes conheciam o experimento do balde de Newton e sua importância na interpretação dos referenciais?
- Houve, em suas formações, abordagem das diferenças entre as perspectivas de Newton e de Mach?
- Abordaram tais detalhes durante as aulas?

Quadro 1 – questões elaboradas aos participantes (professores e estudantes)

#	Questão	Observação
1	Você está disposto a se libertar dos métodos tradicionais de interpretação dos eventos pela Mecânica Clássica?	Compreende-se que métodos tradicionais não são sustentados na comparação com outras teorias ou formalismos de interpretação.
2	Qual seria uma nota (de 0 a 10) sobre o seu próprio conhecimento sobre as leis de movimento de Isaac Newton?	Além de acessar as informações sobre a nota que os professores atribuem a si mesmos sobre conhecer as Leis de Newton, esta pergunta foi elaborada com o intuito de obter, indiretamente, evidências sobre o acesso dos professores a outras teorias.
3	Você conhece alternativas às Leis de Newton para representação dos fenômenos físicos? Quais seriam essas alternativas e quais os interesses em conhecê-las?	Nesse caso, a questão é direta, buscando evidenciar o acesso dos professores a alternativas às Leis de Newton.
4	Atribua uma nota a si mesmo, de 0 a 10, em relação aos seus conhecimentos e aplicação de referenciais na Mecânica Clássica.	Nesta questão, o intuito foi verificar se houve associação ao conceito de referencial, conforme estabelecido pelas Leis de Newton.
5	Atribua uma nota a si mesmo, de 0 a 10, em relação aos seus conhecimentos e aplicação de referenciais utilizados nas diversas teorias clássicas.	Esta questão foi elaborada com o objetivo de ser o controle para as anteriores, uma vez que traz os elementos das demais.
6	Atribua uma nota de 0 a 10 à sua confiança em tratar conceitos de teorias distintas da Teoria da Mecânica Clássica segundo Newton.	O objetivo com essa questão não é identificar se os professores têm ou não conhecimento sobre outras teorias, mas se estariam dispostos a conhecê-las e trabalhá-las em sala de aula.
7	Em uma escala de 0 a 10 (sendo 0 a menor confiança e 10 a confiança absoluta), qual é o seu grau de confiança em apresentar a Mecânica Relacional em sala de aula?	Em virtude de o formulário ter sido aplicado após a oficina, esta questão traz informações sobre o desenvolvimento específico da Mecânica Relacional em sala de aula.
8	Qual é o seu grau de confiança (de 0 a 10) em apresentar a experiência do balde de Newton em suas aulas?	Essa questão dá início à etapa de reflexão sobre os fundamentos das teorias consideradas.
9	Você já tinha ouvido falar sobre Ernst Mach, Karl Emil Maximilian Weber, Gottfried Wilhelm Leibniz e George Berkeley?	Essa questão apresenta o caráter histórico dos diálogos relativos aos conceitos de Mecânica.

Fonte: os autores.

Com o intuito de obtenção das informações, além dos debates, aplicou-se um questionário em que os participantes tinham a opção de escolher suas respostas em uma escala de 0 a 10, sendo 0 associado a nenhum conhecimento ou discordância total e 10 a conhecimento ou concordância total sobre o assunto. Não foi realizada entrevista, e apresentam-se as questões constantes no formulário no quadro 1. Após o preenchimento, procedeu-se à apresentação do produto educacional (Sousa; Ayres, 2021), contendo inúmeras atividades e propostas de prática dos conceitos de Mecânica.

O produto educacional considera o método investigativo em conjunto com o lúdico ao propor atividades práticas intercaladas com as teorias sobre o assunto em questão. Algumas delas são práticas, simples e o professor deve explorá-las adequadamente, segundo seu método de ensino. A contextualização do conteúdo foi elaborada na forma de almanaque contendo conceitos, atividades, curiosidades e história. O foco do produto contemplou a apresentação da Mecânica Clássica e da Mecânica Relacional, não com a intenção de uma substituir a outra, mas de aprofundar nos fundamentos, principalmente os relacionados ao referencial.

RESULTADOS

A oficina, aplicada durante a pandemia pelo SARS-COV-2, contou com participação de professores e estudantes de licenciatura de Mato Grosso e Pará, com diversidade das áreas de atuação e de formação (quadro 2). Tal organização foi para que pudessem ser observados de acordo com a perspectiva de cada categoria. Identificar os cursos nos quais os estudantes estavam matriculados foi estratégico, tendo em vista a condução das ações. Dentre estes, 09 estudantes já possuem outra graduação, 01 formado em pedagogia, 01 em educação física, 01 em matemática, 01 em ciências contábeis, 01 em tecnologia em obras, 01 em agronomia, 01 em ciências econômicas, 01 em administração de empresas e 01 em gestão hospitalar.

Em relação à pergunta 1 (quadro 1), apenas um dos professores respondeu não ter interesse em teorias distintas à Mecânica Clássica e que prefere se manter nos métodos tradicionais pela consolidação que lhe traz segurança em sala de aula.

Em relação à segunda pergunta, buscou-se promover um exercício de autoavaliação, sem a intenção de questionar o conhecimento dos docentes, mas de compreender se tinham familiaridade com o assunto. Essa questão foi estratégica para analisar, posteriormente, se os professores tiveram acesso a outras interpretações dos fenômenos da Natureza, ainda que em uma perspectiva histórica.

Quadro 2 – relação da quantidade de professores por disciplina e de estudantes por curso

Professores		Estudantes	
#	Disciplina	#	Curso
06	Matemática	16	Ciências da Natureza
03	Química	01	Sociologia e Letras
10	Física		
01	História		
01	Geografia		
03	Biologia		
04	Língua Portuguesa		
01	Matemática		
01	Português		
03	Outros		

Fonte: dados da pesquisa.

Para a terceira questão, 17 professores responderam não conhecer alternativas, 10 responderam que deve haver especulações, 3 responderam que gostariam de conhecer tais alternativas e 3 afirmaram conhecer somente as Leis de Newton. Percebeu-se que sequer foram citados os formalismos de Lagrange e de Hamilton para a Mecânica Clássica, conteúdos presentes nos cursos de Física. Nessa questão, dez estudantes responderam não conhecer, três afirmaram ter acompanhado especulações, dois gostariam de conhecer e dois responderam não haver alternativas. A ausência de abordagem de teorias alternativas na Educação Básica é evidente nos formulários obtidos.

Para a questão 4, pode-se afirmar que não houve discrepâncias significativas, embora 10 professores tenham atribuído a si mesmos a nota 4, evidenciando conhecimento superficial ou insegurança para abordar as Leis de Newton ou suas alternativas. E, entre os estudantes, houve diferenças significativas nas notas atribuídas.

A questão seguinte (questão 5) foi elaborada com o intuito de controle em relação às demais. Dentre os professores, 11 atribuíram nota 6, divergindo de suas próprias

respostas à questão anterior. O objetivo foi verificar se os participantes tiveram contato com teorias além da Mecânica Clássica; contudo, a distribuição das respostas não permite conclusões definitivas a esse respeito. Sobre a intenção de aplicar outras teorias em sala de aula, foi solicitado aos professores que atribuíssem uma nota (questão 6). Dentre os professores, seis atribuíram nota abaixo de 5, remetendo, diretamente, à oficina por proporcionar reflexões acerca de outras perspectivas. Com base nas notas dos estudantes, entre 2 e 9, percebe-se que a justificativa é a tradição em apresentar uma única Teoria na Graduação.

Com base nas notas atribuídas à questão 7, a maioria superior a 5, caracteriza-se a abertura dos docentes a interpretações distintas da Mecânica Clássica e sua consideração nos planejamentos de aulas. Já entre os estudantes, a maioria atribuiu nota inferior a 5, evidenciando insegurança em relação a comparações entre a Mecânica Clássica e a Mecânica Relacional.

Entrando em uma etapa fenomenológica, com estímulo à reflexão crítica, as respostas à questão 8, envolvendo o experimento do balde de Newton, mostram que há predisposição dos participantes em trabalhar os conceitos a partir de eventos.

Em relação à história da evolução do pensamento em Mecânica Clássica, elaborou-se a questão 9.

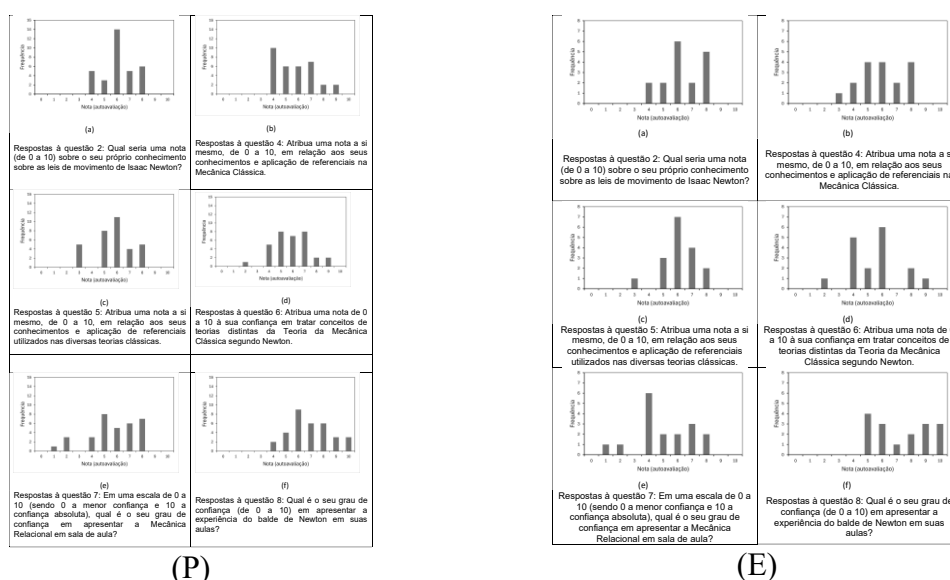
O recurso à abordagem histórica, nesse contexto, teve como objetivo estabelecer um referencial temporal para as reflexões e críticas sobre as interpretações, considerando o desenvolvimento dos formalismos matemáticos que fundamentam a compreensão dos conceitos.

O conhecimento das Leis de Newton implica a compreensão dos conceitos relacionados aos referenciais. Nesse contexto, a comparação entre as Figuras 1(a) e 1(b) revela incoerência: embora as Leis estejam diretamente ligadas aos referenciais, as notas atribuídas indicam o contrário. Alguns participantes afirmaram conhecê-las, mas demonstraram desconhecimento sobre os referenciais, evidenciando contradição conceitual.

Nas figuras 1(Pd) e 1(Pe), observa-se coerência, uma vez que as tendências das respostas são similares. Nas figuras 1(Pe) e 1(Pf), explicita-se uma situação semelhante, pois, para que seja apresentado o experimento do balde de Newton, o professor deve

conhecer a perspectiva da Mecânica Relacional para aprofundar o debate. As tendências dos resultados apresentados nas figuras 1(Pa) e 1(Pc) são semelhantes.

As respostas dos estudantes ao formulário revelam maior coerência, conforme as tendências. No entanto, a confiança em apresentar o experimento do balde de Newton nas aulas indica foco no aspecto fenomenológico, já que as demais respostas evidenciam a consciência de desconhecimento dos fundamentos teóricos, o que dificulta o estabelecimento dos conceitos.



Fonte: os autores.

Figura 1 – distribuição dos valores autoindicados para cada questão do formulário aos professores (P) e aos estudantes (E).

Professores manifestaram interesse em aprofundar os estudos e utilizar o Produto Educacional apresentado, reconhecendo seu potencial para ampliar a compreensão conceitual. Docentes das Ciências Humanas destacaram a possibilidade de abordagem interdisciplinar, integrando história, geografia, matemática e física. O material também foi considerado útil para estudantes, por favorecer a reflexão crítica. O resgate histórico promovido na oficina contribuiu para discutir, em sala de aula, as críticas de Ernst Mach ao conceito de espaço absoluto na Mecânica Clássica.

A necessidade urgente de debates acerca de teorias distintas que explicam o mesmo fenômeno ficou evidenciada nas respostas dos professores e estudantes, enquanto as manifestações dos participantes, durante a formação, complementaram essas informações.

Dentre os professores, houve relatos sobre a constatação da importância do experimento do balde de Newton, simples em sua realização e profundo nos fundamentos teóricos que proporciona. Um professor da área de Humanas destacou a importância da interdisciplinaridade para a prática docente, vislumbrando a história da ciência sustentada pelas concepções de Newton, juntamente à física em relação ao tratamento dos referenciais.

Professores participantes da oficina e que atuam em Linguagens refletiram sobre as informações contidas no experimento do balde de Newton e os significados que surgem pelas interpretações, favorecendo a compreensão dos conceitos.

Entre os estudantes, os relatos evidenciaram uma busca voltada ao aprofundamento conceitual, e não à aplicação em sala de aula. Um dos estudantes se expressou da seguinte forma: “Porque não conhecer rivais ou fãs de Newton neste mundo carente de releituras?”. Por rivais ou fãs, compreendem-se os críticos e os adeptos das ideias de Isaac Newton. Nesse sentido, a pergunta (aparentemente retórica) representa a atribuição de significado, pelo estudante, à prática da oficina, tendo em vista a apresentação de questionamentos às ideias newtonianas do movimento dos corpos. O objetivo foi o incentivo à reflexão sobre os principais conceitos associados à Mecânica Clássica, ação voltada para o abandono dos métodos tradicionais em que não há questionamento.

Um dos estudantes comentou sobre a importância em contextualizar o conteúdo com a história da ciência, retomando não somente a linha do tempo da evolução dos conceitos, mas os principais debates e resultados. Outro estudante complementou o comentário afirmando que acessar, historicamente, as origens de um conceito, acompanhando sua evolução, estimula o conhecimento. O debate evidenciou que, ainda, há o tratamento de conceitos como se fossem fórmulas prontas, principalmente em aulas tradicionais. São procedimentos didáticos destituídos de aprofundamento conceitual por serem tradicionais, no sentido de considerar exposição de conteúdos com o mínimo de interação, prejudicando a reflexão crítica característica de métodos participativos.

Especificamente a respeito do produto educacional, houve interesse pela sequência de assuntos tratados e pela proposta de atividades que, embora simples, incentivam a reflexão, com potencial para uso tanto pelos professores quanto pelos alunos. Ao propor a análise comparativa pelas perspectivas da Mecânica Clássica e da Mecânica Relacional, o professor pode desenvolver atividades gradativamente mais minuciosas e profundas, estimulando a participação dos estudantes. Na oficina, os participantes compreenderam que a proposta foi a compreensão de um fenômeno (balde de Newton) por perspectivas distintas (Mecânica Clássica e Mecânica Relacional), não se tratando de uma competição, mas de um método que permite ao participante entender que há diferentes formas de compreender o mesmo fato.

Os participantes também expuseram uma crítica estimulada pela ausência de contestação às teorias vigentes na física, como se a verdade estivesse estabelecida e não houvesse crítica às interpretações relacionadas. No início da oficina, um participante questionou se a Mecânica Clássica de Newton era a única a tratar do movimento dos corpos e a condução foi direcionada para o diálogo com o objetivo de acessar o conhecimento sobre o assunto. Identificou-se o condicionamento, percebendo-se que o ensino tradicional, com ausência de interação, favorece ideias preconcebidas por omissão ou por desconhecimento, prevalecendo a concepção da ciência como verdade absoluta e, portanto, inquestionável. Após a oficina, identificou-se que os participantes reconheceram que a crítica reflexiva é um dever no método científico, desde que fundamentadas.

A sistemática e o rigor metodológico de Newton foram destacados por um dos participantes afirmando que o relato dessa postura contribuirá para a elaboração do planejamento de suas aulas com o objetivo de desenvolver o pensamento científico acerca de uma ideia. Também ressaltou a importância das transformações de Galileu, especificamente a característica do tempo absoluto, para a compreensão dos conceitos em Mecânica Clássica e a crítica pela Mecânica Relacional.

A apresentação do experimento do balde de Newton teve como propósito estimular a investigação dos possíveis referenciais em relação aos quais os movimentos ocorrem e, conseqüentemente, a identificação das forças atuantes sobre o corpo para que tais movimentos se concretizem. Um dos objetivos consistiu em fomentar o letramento científico

e promover a reflexão sobre o fenômeno, com a intenção de analisar o movimento à luz de uma teoria científica, com base em um método científico. O experimento do balde de Newton permite a oportunidade de discussão dos conceitos com profundidade e envolve aspectos históricos, estimulando o diálogo sobre o fazer ciência. Argumentos de Leibniz, Berkeley e Mach foram apresentados à luz da Mecânica Relacional, trazidos ao debate como uma proposta de compreensão das interações entre os corpos e suas consequências, proporcionando elementos para a reflexão crítica científica.

Considerando que o ramo do conhecimento responsável por estudar o equilíbrio e o movimento dos corpos é a mecânica — e que o ensino de Física tem se apoiado nos trabalhos de Isaac Newton, sustentados nos conceitos de espaço e tempo absolutos —, buscou-se identificar a compreensão dos participantes sobre as leis do movimento formuladas por Newton. As respostas dos participantes evidenciam insegurança em relação ao conhecimento sobre as leis de movimento de Isaac Newton. Sobre os conhecimentos das leis de Newton, dos 33 professores e 17 estudantes de licenciatura, as notas de autoavaliação foram atribuídas entre 4,0 e 8,0, sendo a escala de 0,0 a 10,0.

Dezessete professores responderam não conhecer outras teorias, além da Mecânica Clássica, dez afirmaram haver algumas especulações, três gostariam de conhecer, enquanto os últimos três responderam que a Mecânica Clássica é única. Percebe-se que mais da metade dos participantes não conhece outras teorias. Sobre o mesmo tema, dez graduandos responderam não conhecer, três responderam ter algumas especulações, dois que gostariam de conhecer, enquanto dois responderam ser única. Percebe-se que os estudantes não tiveram acesso a outras teorias.

Sobre o experimento do balde na perspectiva da Mecânica Relacional em comparação com a Mecânica Clássica, 16 professores se autoavaliaram com notas inferiores a cinco, o que indica dificuldade em interpretar as diferenças conceituais. Quanto aos estudantes, 14 atribuíram a si mesmos notas entre 5,0 e 8,0.

A oficina teve como um de seus objetivos estimular os participantes a buscarem perspectivas distintas para o estudo do mesmo evento físico, não com o intuito de substituição, mas de acesso aos debates científicos. Nesse sentido, 27 professores e 9 estudantes mostraram confiança em pesquisar teorias distintas à Mecânica Clássica.

Todos os professores responderam estar motivados para aprofundar conhecimentos sobre o contexto histórico vivido por Isaac Newton e seus contemporâneos, bem como por homens da ciência que se dedicaram a pensar a física e a natureza do movimento dos corpos. Os estudantes foram unânimes ao afirmar que se sentiram estimulados com a contextualização histórica, as descobertas e os impactos das leis estabelecidas. Alguns participantes demonstraram interesse em aprofundar o estudo dos conceitos relacionados ao experimento do balde de Newton, bem como suas interpretações tanto pela Mecânica Clássica quanto pela Mecânica Relacional. Segundo os participantes, a abordagem histórica permitiu acompanhar o desenvolvimento científico da Mecânica Clássica e a evolução dos conceitos, do pensamento e do método científico.

Sobre o produto educacional, dois professores que atuam na área de linguagens relataram que o produto ajudaria os estudantes a desenvolverem o poder de argumentação, melhorando a performance lexical. Além da perspectiva específica de suas respectivas áreas de conhecimento, esses professores destacam a importância da interdisciplinaridade em contextos pedagógicos. Nessa perspectiva, participantes da área de Ciências Humanas apresentaram interesse em utilizar o produto para ampliar seus conhecimentos e ter acesso aos argumentos de Leibniz, Weber, Berkeley e Mach, assim como à Mecânica Relacional.

Trinta professores declararam interesse em adotar o produto educacional, destacando os recursos didático-pedagógicos e sua característica interdisciplinar, que favorece o debate. Um dos participantes, professor de física no ensino médio, propôs que o produto seja utilizado como um recurso pedagógico para instigar o pensamento científico, inclusive, se for o caso, a contestação dos argumentos para explicação dos experimentos propostos no material. O resgate histórico, segundo alguns participantes, possibilitou maior segurança em aplicar atividades de debate no ambiente pedagógico, sendo o produto educacional um material de apoio que contribui para a construção do conhecimento.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Por meio deste artigo, apresentou-se um projeto cujo objetivo foi expor teorias distintas, com o intuito de interpretar um experimento histórico — o balde de Newton —

caracterizado por ser, simultaneamente, simples do ponto de vista da execução e complexo em termos dos conceitos fundamentais envolvidos. Sua aplicação foi realizada durante uma oficina para professores de diversas áreas e para estudantes de licenciatura.

As bases teóricas foram a Mecânica Clássica e a Mecânica Relacional, ambas fundamentadas na motivação fenomenológica derivada da observação da experiência do balde de Newton e, posteriormente, enriquecidas por estímulos conceituais e axiomáticos. O objetivo foi identificar o referencial adequado para investigar os movimentos da água no balde enquanto este gira em torno de um eixo central perpendicular à sua superfície. A chave para a interpretação foi a origem da força centrífuga atuante sobre o sistema, provocando a formação de um parabolóide e sua relação com o referencial nas distintas teorias consideradas.

Durante a exposição das teorias, não foram registradas manifestações por parte dos participantes. Entretanto, ao realizar o experimento e apresentar seus resultados, desencadeou-se um debate a respeito das ideias e conceitos inicialmente de difícil compreensão, os quais passaram a ser elucidados por meio dos estímulos proporcionados pelas abordagens da Mecânica Clássica e da Mecânica Relacional.

Por meio do questionário aplicado, buscou-se compreender a perspectiva dos participantes. Nesse sentido, pela característica de autoavaliação do questionário, as questões complementaram a aplicação do experimento do balde de Newton e estimularam a reflexão crítica sobre os conceitos fundamentais de ambas as teorias. Mais familiarizados com a Mecânica Clássica, houve maior predominância das ideias newtonianas, conforme alguns relatos.

Entretanto, os participantes da oficina relataram desconhecimento de teorias além da Mecânica Clássica e, conseqüentemente, manifestaram a percepção de que a Mecânica Clássica seria absoluta, mesmo reconhecendo sua ampla aplicação e eficácia. Houve, portanto, quebra de paradigma em relação às concepções acerca do método científico, pois cada uma das teorias permite uma perspectiva sobre o experimento do balde, mais especificamente em relação ao referencial adotado e às forças atuantes. A compreensão do método científico, portanto, favorece a identificação de conceitos por perspectivas distintas e os participantes entenderam que não se deve associar concepções de uma teoria com

a de outras. Mas, também constataram incompletudes que, embora não comprometam uma teoria, podem trazer desafios na interpretação de um fenômeno.

Especificamente no caso do balde de Newton, a interpretação dos referenciais pela perspectiva da Mecânica Clássica e da Mecânica Relacional revelaram conjecturas distintas cujos conceitos evidenciam resultados diferentes. Então não faria sentido escolher uma teoria qualquer, mas compreender qual das teorias explica o fenômeno de forma coerente com princípios materiais (a interação entre corpos) ou imateriais (a presença de um espaço que define como a matéria agirá).

Buscou-se, com as oficinas, apresentar duas teorias e suas diferentes perspectivas para a interpretação do experimento do balde de Newton. Contudo, pelas manifestações, os participantes foram além, uma vez que avançaram para a compreensão dos conceitos de referencial em cada teoria e suas consequências.

Os aspectos históricos, firmados pelas críticas ao longo do tempo, também foram observados pelos participantes como fundamental na compreensão dos conceitos. Diálogos anacrônicos entre personagens da ciência estabeleceram a evolução de conceitos fundamentais na interpretação e entendimento dos fenômenos observados no balde de Newton. Por meio da linha do tempo, por sua vez, inseriu-se cada personagem ao contexto da época, satisfazendo a consideração dos recursos matemáticos e os fundamentos de acordo com o período em que atuou.

Por fim, professores e estudantes manifestaram diferentes considerações sobre os assuntos abordados, especificamente acerca dos fundamentos. Observou-se que os professores da Educação Básica se posicionaram em relação ao ensino-aprendizagem, principalmente a respeito da preparação das aulas e das abordagens dos assuntos. Os estudantes de licenciatura focaram suas atenções, principalmente, nos conceitos, buscando compreender o fenômeno observado com base em seus detalhes. O formulário permitiu constatar a tentativa dos participantes de justificar as respostas, ao mesmo tempo em que transpareciam desconhecer que possa haver distintas teorias para interpretar o mesmo fenômeno.

Uma vez que a proposta com o experimento do balde de Newton foi estimular o debate sobre os argumentos pela perspectiva da Mecânica Newtoniana e da Mecânica

Relacional, percebe-se, com as manifestações, que a mensagem alcançou seu objetivo. Embora seja um experimento simples em sua concepção, o experimento do balde permite a abordagem dos conceitos anteriores, contemporâneos e posteriores a Isaac Newton, fundamentando a construção dos argumentos científicos e consolidando a importância do debate para a evolução das ideias. Alguns relataram que as atividades contidas no produto educacional auxiliam na interpretação do referencial, além de estimular o ensino de ciências.

Os participantes expuseram que os fundamentos da Mecânica Clássica são pouco explorados em sala de aula na Educação Básica e, comumente, são apresentados como uma única interpretação do movimento dos corpos. Os debates intencionais e educacionais permitiram identificar em que contexto os conceitos de física são apresentados durante as atividades pedagógicas, tanto com base no ponto de vista do professor quanto do aluno de licenciatura.

Os participantes mostraram interesse em utilizar o produto e ressaltaram que, por meio de animações, o material se torna mais didático e auxilia o processo de ensino e aprendizagem com a função de um recurso didático.

Apontaram, também, o potencial do material para o planejamento de conteúdos, em razão da diversidade de exemplos apresentados e da capacidade de conferir dinamismo às aulas. Um dos estudantes manifestou motivação para utilizar o produto educacional pelo potencial em enriquecer as aulas e colaborar com a sua formação como professor. Ao longo dos debates, os participantes afirmaram que um produto educacional pode cumprir seu objetivo pedagógico relativo ao letramento e ao desenvolvimento científico, por instigar a reflexão e o questionamento, sem a intenção de convencimento, mas de argumentação.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. André Koch Torres Assis, da UNICAMP, pela gentileza em disponibilizar seu tempo para suas valiosas contribuições. Ao PPGECN/IF/UFMT.

REFERÊNCIAS

- ARAUJO, Luiz Carlos Marinho de; JUSTINA, Lourdes Aparecida Della. O ensino investigativo como abordagem metodológica para alfabetização científica: enfoque na Base Nacional Comum Curricular. **ACTIO: Docência em Ciências**, v. 7, n. 2, p. 1-21. 2022.
- ASSIS, André Koch Torres. **Mecânica Relacional e Implementação do Princípio de Mach com a Força de Weber Gravitacional**. Montreal: Apeiron, 2013.
- BHADRA, Shri Arunava; DAS, Subrata Chandra. Comment on “On Mach’s critique of Newton and Copernicus”. **American Journal of Physics**, v. 75, n. 9, p. 850-854, 2007. 10.1119/1.2716032.
- BERKELEY, George. **Tratado sobre os Princípios do Conhecimento Humano**. Tradução Antonio Sérgio. São Paulo: Abril Cultural, 1973, p. 7-35 (Os Pensadores), 1973.
- BERKELEY, George. De motu [sobre o movimento ou sobre o princípio, a natureza e a causa da comunicação dos movimentos]. (2006). **Scientiae Studia**. Tradução de Marcos Rodrigues da Silva, v. 4, n. 1, p. 115-136, 2006.
- CANAVARRO, José Manuel. **Ciência e Sociedade**. Coimbra: Quarteto Editora, 1999.
- CHAIB, João Paulo Martins de Castro; AGUIAR, Matheus da Costa. Força de inércia: aprofundando o debate. **Caderno Brasileiro De Ensino De Física**. v. 33, n. 1, p. 142–161, 2016.
- GIL PÉREZ, Daniel; MONTORO, Isabel Fernández; ALIS, Jaime Carrascosa; CACHAPUZ, António; PRAIA, João. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência e Educação**, v. 7 n. 2, p. 125-153, 2001.
- HARTMAN, Herbert. I.; NISSIM-SABAT, Charles. Reply in light of contemporary physics to “Comment on ‘On Mach’s critique of Newton and Copernicus’”, **American Journal of Physics**, v. 75, n. 9, p. 854-860, 2007.
- KRASILCHIK, Myriam. Reformas e realidade: o caso do ensino das ciências. **São Paulo em Perspectiva**, v. 14, n. 1, p. 85-93, 2000.
- LEE, Han Su; Park, Jongwon. Deductive reasoning to teach Newton’s Law of Motion. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 11, n. 6, p. 1391-1414, 2013.
- LEIBNIZ, Gottfried Wilhelm. **Correspondência com Clarke**. Tradução e notas: Carlos Lopes de Mattos. São Paulo: Abril Cultural, 1983. p. 403-468. (Coleção Os Pensadores).
- LEIBNIZ, Gottfried Wilhelm. **Philosophical Essays**. Indianapolis: Hackett Publishing Company, 1999.
- MACH, Ernst. **The Science of Mechanics: A Critical and Historical Account of Its Development**. Tradução de Thomas J. McCormack. 6. ed. La Salle: Open Court, p. 634, 1960.

- MACH, Ernst. On the definition of mass. *In*: Cohen, I. Bernard. (ed.). **The Conservation of Energy and the Principle of Least Action**, Tradução Philip E. B. Jourdain. New York: Arno Press, 1981, p. 80-85.
- MARANDINO, Martha; SELLES, Sandra Escovedo; FERREIRA, Marcia Serra. **Ensino de Biologia: histórias e práticas em diferentes espaços educativos**. São Paulo: Cortez. 2009.
- MONGAN, Satyano. W.; MONDOLANG, Aswin Hermanus; POLUAKAN, Cosmas. Misconception of weights, normal forces and Newton third law. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 1572, p. 26-28, 2020.
- MOURA, Antonio Reynaldo Meneses; NUNES, Teresa Beatriz Bueno; SEDANO, Luciana. Construção e análise de uma sequência de ensino investigativo: as necessárias conexões com o ensino por investigação. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 14, n. 3, p. 1-22, 2023.
- NAKAYAMA, Katsumasa. Remarks on Newton's second law for variable mass system. **European Journal of Physics**, v. 39, n. 5, p. 055002, 2018.
- NEWTON, Isaac. (2002). **Princípios Matemáticos da Filosofia Natural (Principia)**: Livro I. Tradução Trieste Ricci; Leonardo Gregory Brunet; Sônia Terezinha Gehring; Maria Helena Curcio Célia. 2ª. ed. São Paulo: EDUSP, 2002. 53 p.
- NEWBURGH, Ronald. Inertial forces, absolute space, and Mach's principle: the genesis of relativity. **American Journal of Physics**, v. 75, p. 427-430, 2007.
- PFISTER, Herbert. Newton's law revisited. **Foundations of Physics Letters**, v. 17, n. 1, p. 49-64, 2004.
- ROSA, Maria Inês Petrucci. (org). **Formar: encontros e trajetórias com professores de ciências**. São Paulo: Escrituras Editora, 2005.
- SANTOS, Flávia Maria Teixeira dos; GRECA, Ileana Maria. **A pesquisa em ensino de ciências no Brasil e suas metodologias**. Ijuí: Unijuí, 2006.
- SASSERON, Lúcia Helena. Ensino de ciências por investigação e o desenvolvimento de práticas: uma mirada para a base nacional comum curricular. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 18, n. 3, p. 1061-1085, 2018.
- SOUSA, L. V. D.; AYRES, F. **Pelos caminhos da Mecânica Relacional: atividades para sala de aula**. Produto Educacional – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais, Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, 2021. Cuiabá: Fundação UNISELVA, 48 p. 2021.
<http://educapes.capes.gov.br/handle/capes/743357>
- TABOSA, Clara Elena Souza; ALBUQUERQUE, Márcia Cristina Palheta; MALHEIRO, João Manoel da Silva. Ensino por Investigação e o desenvolvimento de competências científicas: análise de produções gráficas de estudantes de um clube de ciências na Amazônia. **Revista Insignare Scientia**, v. 6, n. 6, 357-378, 2023.