Caderno de Física da UEFS

https://doi.org/10.13102/cad.fs.uefs.v24i01.13269

Cad. Fís. UEFS, 24(01):1604.1-11, **2026**

OPEN ACCESS

ARTIGO DE PESQUISA

Os Fundamentos Newtonianos e a Crise dos Absolutos: Massa, Espaço, Tempo e o Papel da Monitoria na Formação Científica

Newtonian Foundations and the Crisis of Absolutes: Mass, Space, Time, and the Role of Tutoring in Scientific Training

Lucas Mercês[1], e M. S. R. Miltão[2,*]

[1]*Curso de Graduação em Física, Universidade Estadual de Feira de Santana*

[2]*Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana.* **E-mail:* *miltaaao@uefs.br*

Resumo: O *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1687), de Isaac Newton, estabeleceu os fundamentos da mecânica clássica ao formular as leis do movimento e o conceito de força, consolidando uma visão de mundo baseada em espaço, tempo e massa absolutos. Essa estrutura sustentou a física por mais de dois séculos, influenciando tanto o desenvolvimento científico quanto reflexões filosóficas sobre a realidade. No início do século XX, a Teoria da Relatividade Especial de Albert Einstein reformulou esses conceitos, introduzindo a relatividade do espaço e do tempo em função do observador, o que redefiniu a compreensão da natureza. Apesar das limitações frente à relatividade e à física quântica, a mecânica newtoniana permanece válida em regimes macroscópicos e de baixas velocidades. No contexto da formação em física, seus fundamentos são essenciais para o desenvolvimento do pensamento crítico. Este trabalho propõe uma reflexão sobre esses princípios a partir da experiência de monitoria na disciplina Fundamentos de Física A da UEFS, enfatizando seu papel pedagógico.

Palavras-Chaves: *Mecânica Newtoniana; Espaço e Tempo; Matéria; Monitoria*

Abstract: The Philosophiae Naturalis Principia Mathematica (1687), by Isaac Newton, established the foundations of classical mechanics by formulating the laws of motion and the concept of force, consolidating a worldview grounded in absolute space, time, and mass. This framework supported physics for more than two centuries, influencing both scientific development and philosophical reflections on the nature of reality. In the early twentieth century, Albert Einstein's Special Theory of Relativity reformulated these concepts by introducing the relativity of space and time as dependent on the observer, thereby redefining the understanding of nature. Despite its limitations in light of relativity and quantum physics, Newtonian mechanics remains valid in macroscopic regimes and at low velocities. In physics education, its foundations are essential for the development of critical thinking. This work proposes a reflection on these principles based on teaching assistant experience in the course Fundamentals of Physics A at the State University of Feira de Santana (UEFS), highlighting its pedagogical role.

Keywords: *Newtonian Mechanics; Space and Time; Matter; Tutoring*

Citação: Lucas Mercês, e M. S. R. Miltão. Os Fundamentos Newtonianos e a Crise dos Absolutos: Massa, Espaço, Tempo e o Papel da Monitoria na Formação Científica. (2026). Cad. Fís. UEFS, 24(01):1604.1-11.

Recebido: 24/03/2026
Aceito: 22/04/2026
Publicado: 11/05/2026

Copyright: © 2026, pelos os autores. Submetido para possível publicação em acesso aberto sob os termos e condições da licença Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Introdução

Em 1687, o físico inglês, Sir. Isaac Newton publicou um livro atemporal que se tornaria uma das mais importantes obras para a ciência: o "Princípios Matemáticos da Filosofia Natural". Nesta obra, mais conhecida como "Principia", Newton enunciou seus três axiomas do movimento, estabelecendo assim, aquilo que conhecemos hoje como mecânica newtoniana. Desde então, a mecânica de Newton tem sido um pilar da física clássica e um terreno fecundo para reflexões filosóficas. A aparente simplicidade das leis de Newton, que descrevem o comportamento das partículas na ausência ou na presença de ação de forças (impressas), esconde uma complexidade subjacente que intriga e desafia físicos e filósofos.

Embora seja comum que as discussões filosóficas se concentrem nos fundamentos da teoria quântica, dada sua natureza contemporânea, é imperativo reconhecer que a física clássica também desencadeia uma série de questões profundamente filosóficas que não podem ser negligenciadas. A notável "crise dos absolutos", desencadeada pelos conceitos de espaço e tempo relativos introduzidos por Albert Einstein na Teoria da Relatividade Especial (TRE), reacendeu o interesse em questões essenciais que sustentam a Física Clássica. Essa crise, porém, não se limitou ao domínio espaço-temporal: ela atingiu também o plano ontológico da própria realidade física, ao pôr em causa a separação clássica entre matéria e radiação, desafiando a concepção mecanicista de substância como corpo material extenso e portador de massa. (PAULO-SERRA, 2008, p. 11).

Observemos que a noção de substância, na tradição aristotélica, designava a unidade inseparável de matéria (hýlē) e forma (eîdos), em que a forma atualiza as potencialidades da

matéria e confere inteligibilidade ao ente (ARISTÓTELES, 2012, p. 183, 198). Essa concepção hilemórfica preservava um universo qualitativo, hierarquizado e dotado de finalidade intrínseca (REALE, 1993, p. 199-202). Com a revolução científica dos séculos XVI e XVII, essa estrutura foi gradualmente substituída por uma visão mecanicista da realidade, na qual a substância passou a ser identificada à matéria extensa, mensurável e inerte, regida por leis quantitativas do movimento (KOYRÉ, 2006, p. 112, 121, 133, 136). Em Newton, essa transformação alcança sua expressão plena: a substância é matéria dotada de massa, movendo-se em um espaço e tempo absolutos, reais e independentes dos corpos (NEWTON, 2018, p. 58-59, 63-66, 71). Como observa Burtt (1983, p. 120-126), essa mudança representa uma transposição metafísica decisiva da substância aristotélica composta de forma e matéria para a substância física moderna, reduzida à quantidade de matéria sujeita à causalidade mecânica.

Assim, a transição dos princípios newtonianos de espaço e tempo independentes do observador para a relatividade einsteiniana representa não apenas uma revolução na compreensão científica, mas também um alvorecer filosófico para questões relativas ao nosso próprio entendimento do universo. O desafio colocado pela TRE, com sua redefinição de conceitos aparentemente inabaláveis como espaço e tempo absolutos, trouxe à tona indagações que ecoam desde os primórdios da filosofia natural.

Deste modo, embora a física newtoniana e seus três axiomas do movimento tenham se tornados obsoletos perante a Relatividade Restrita e à Mecânica Quântica, seu legado ainda perdura em seu domínio de aplicação (GOMES, 2018, p. 22), especialmente em cenários que envolvem velocidades comparativamente baixas em relação à velocidade da luz. Nesta perspectiva, as discussões científicas e filosóficas que orbitam em torno dessa teoria clássica são tão importantes quanto as discussões dos fundamentos da teoria quântica (GOMES, 2018, p. 22). Reconhecer a continuidade da importância da física newtoniana é essencial para uma apreciação holística e contextualizada da evolução do pensamento científico, contribuindo assim para um diálogo mais enriquecedor e um entendimento mais profundo das leis que regem o único lar que conhecemos, o nosso universo.

Neste sentido, na jornada acadêmica dos estudantes de física, os fundamentos da física clássica, em especial, da física newtoniana representam um marco crucial. Estes conceitos, que abrangem desde as leis do movimento de Newton até os princípios mais básicos que regem a mecânica (como espaço e tempo), servem como alicerce para o entendimento mais profundo dos fenômenos físicos que permeiam nosso universo. Desta forma, torna-se imperativo que tais fundamentos sejam perfeitamente discutidos de forma a construir um alicerce sólido para a continuação da jornada acadêmica dos graduandos em física. É aqui que a monitoria entra em cena como uma ferramenta vital de apoio educacional. A monitoria em fundamentos da física clássica não apenas oferece assistência prática na resolução de problemas e na compreensão de conceitos complexos, mas também desempenha um papel crucial no desenvolvimento de habilidades de pensamento crítico e na construção de confiança acadêmica (GONÇALVES et al., 2021, p. 4).

Deste modo, este trabalho visa promover uma breve discussão sobre os fundamentos da teoria newtoniana no contexto do desenvolvimento de uma monitoria no componente curricular de Fundamentos de Física A do curso de graduação em Física pela Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS). Nosso objetivo é destacar a importância das discussões dos fundamentos da física clássica à luz do valor de um programa de monitoria que suplemente às discussões da sala de aula, a partir do relato de nossa experiência no contexto e decorrer do trabalho desenvolvido ao longo da monitoria.

2. Fundamentos da Física Newtoniana

Conforme mencionado na introdução deste trabalho, ao publicar o Principia, Newton apresentou sua teoria mecânica do movimento, delineando seus três axiomas fundamentais, que são reconhecidos como as três leis de Newton. Essas leis, quando combinadas, fornecem

um arcabouço teórico completo para prever e determinar a trajetória e o comportamento de qualquer ponto material no espaço e no tempo.

Particularmente, a segunda lei do movimento de Newton postula que, ao conhecermos todas as forças atuantes sobre uma partícula, é possível calcular completamente seu estado presente, passado e futuro. Em essência, o paradigma newtoniano implica que, ao identificar todas as forças que agem sobre uma partícula, ou de forma mais concisa, ao conhecermos a força resultante sobre um ponto material, e resolver a equação diferencial contida na segunda lei de Newton para o problema em questão, podemos determinar de maneira precisa o estado mecânico dessa partícula ao longo do tempo (CARVALHO-NETO; FREIRE-JÚNIOR; SILVA, 2008, p. 76, 77).

De maneira mais precisa e rigorosa, sob uma perspectiva física e matemática, é necessário conhecer a força resultante atuante sobre a partícula, bem como as condições iniciais (PORTO; PORTO, 2008, p. 1603-2). Estas últimas referem-se à velocidade e posição iniciais da partícula ou, alternativamente, à posição em um instante de tempo específico t e à velocidade $\vec{v}$ correspondente nesse mesmo momento. Em outras palavras, ao serem fornecidas essas condições iniciais juntamente com a força resultante que age sobre a partícula, o paradigma newtoniano assegura o conhecimento preciso da posição, velocidade, aceleração ou qualquer outra grandeza mecânica em qualquer ponto da trajetória ao longo do tempo.

Por outro lado, Isaac Newton, em sua obra de 1687, não apenas formulou as leis do movimento e o princípio da gravitação universal, mas também deu forma a uma concepção de massa que se tornaria um dos pilares da física clássica. Para Newton, a massa representava a quantidade de matéria de um corpo, expressão direta de sua inércia, considerada como uma força inata (*vis ínsita*), uma resistência à mudança de movimento, e, simultaneamente, a medida da força gravitacional que ele exerce e sofre (NEWTON, 2018, p. 58, 497). Essa dupla caracterização, que unifica as noções de massa inercial e massa gravitacional, confere à mecânica newtoniana uma coerência notável, vinculando o comportamento dos corpos à estrutura do espaço e do tempo absolutos que servem de cenário imutável para o movimento. Assim, a massa deixa de ser apenas uma propriedade física e adquire um significado ontológico, relacionando matéria e força numa concepção mecanicista de universo ordenado e previsível. Embora a teoria da relatividade de Einstein tenha relativizado tais conceitos ao demonstrar a equivalência entre massa e energia e a dependência do espaço e do tempo em relação ao observador, a noção newtoniana de massa permanece essencial para compreender os fenômenos do mundo macroscópico[1] e constitui um ponto de partida indispensável para a formação conceitual e filosófica no estudo da física. (BARDELLI, 1999, p. 44, 45, 51).

[1] Neste texto, consideramos o domínio de validade de uma teoria física como o conjunto de condições (de escala, energia, massa, velocidade, etc.) nas quais seus princípios e leis descrevem corretamente os fenômenos observados. Assim, as faixas de validade podem ser denominadas como segue: (i) escala microscópica: apresenta um intervalo típico de 10^{-18}-$10^{-9}m$, cujas teorias dominantes são a Mecânica Quântica, a Eletrodinâmica Quântica e a Mecânica Estatística Quântica que descrevem os fenômenos nas escalas atômica e subatômica; (ii) escala macroscópica: apresenta um intervalo típico de 10^{-6}-$10^{4}m$, cujas teorias dominantes são a Mecânica Clássica, a Termodinâmica, a Mecânica Estatística Clássica e a Eletrodinâmica Clássica de Maxwell (que se insere neste domínio, mas com uma transição importante entre o microscópico e o parsecscópico) que descrevem os fenômenos do mundo visível; e (iii) escala parsecscópica: apresenta um intervalo típico de $10^{16}m$ para cima, cujas teorias dominantes são a Relatividade Geral e a Eletrodinâmica Relativística (Maxwell + Relatividade Geral) que descrevem os fenômenos em escalas astronômicas e cosmológicas. Observemos, portanto, que nenhuma teoria vale para tudo, pois cada uma tem um alcance de aplicabilidade. Para um aprofundamento do estudo do domínio de validade das teorias físicas, recomenda-se o artigo de Santos et al. (2020).

Neste sentido, o paradigma newtoniano desempenhou um papel fundamental na consolidação de uma ciência moderna fundamentada no determinismo matemático e na utilização da matemática como ferramenta primordial na descrição do universo. Por meio das três leis de Newton e da formulação matemática associada, estabeleceu-se um arcabouço teórico rigoroso que permitia a previsão precisa e a compreensão sistemática dos fenômenos físicos observados.

Deste modo, a introdução do paradigma newtoniano se configura como um marco significativo na história da ciência, pois proporciona uma abordagem unificada e quantitativa para a investigação dos fenômenos naturais. Ao expressar as leis fundamentais do movimento em termos matemáticos, Newton forneceu um método que permitia a formulação de modelos preditivos e a análise rigorosa do comportamento dos corpos físicos. Esse enfoque matemático estabeleceu as bases para uma ciência que buscava compreender o universo por meio de leis precisas e quantitativas.

Essa visão determinista do universo encontrou sua expressão máxima na concepção laplaciana de um "demônio" capaz de calcular o estado futuro do universo com base no conhecimento completo do estado presente (SILVEIRA, 1993, p. 138). Embora a noção do demônio de Laplace seja mais filosófica do que prática, ela ilustra a confiança depositada no paradigma newtoniano e na capacidade da ciência de prever e controlar os eventos naturais por meio de leis matemáticas precisas. Ora, como o paradigma newtoniano estabelece o determinismo matemático na predição do comportamento de pontos materiais, é necessário que as grandezas mecânicas essenciais à descrição do movimento dos mesmos sejam mensuráveis, ou seja, a teoria precisa ser confrontada no tribunal da experiência. Nesse contexto, a segunda lei, que estabelece a relação causal entre força e variação do momento linear, precisa ser empiricamente verificada em laboratório, assim como as propriedades do sistema mecânico devem ser mensuradas. Contudo, surge a questão: como exatamente realizamos essas medições físicas?

Para quantificar as grandezas físicas, utilizamos aquilo que denominamos de sistema de referência. "*Um sistema de referência (ou referencial) é um padrão relativo ao qual o movimento e o repouso de corpos podem ser medidos*" (LEITE; ANDRADE-NETO, 2023, p. 4). Geralmente, utilizamos o sistema de coordenadas cartesianas tridimensionais (para mensurar o espaço) e o relógio (para mensurar o tempo), solidariamente encorpados, para representar os referenciais nos quais descrevemos as leis da física, com observadores (corpos extensos) situados na origem do sistema coordenado.

Entretanto, do ponto de vista newtoniano, a natureza apresenta um caráter assimétrico com relação aos referenciais. Isso decorre do fato de que apenas uma classe específica de referenciais é qualificada para descrever os fenômenos mecânicos de maneira invariante: os chamados referenciais inerciais. De maneira bastante simplificada, um referencial inercial é um sistema de referência em que uma partícula permanece em repouso ou em movimento retilíneo uniforme se nenhuma força externa (força impressa, na linguagem newtoniana) atuar sobre ele[2].

Os referenciais inerciais desempenham não apenas um papel crucial na teoria newtoniana, mas são fundamentais para sua coerência enquanto teoria física. O primeiro axioma de Newton, que estabelece a equivalência entre o repouso e o movimento de translação uniforme (M.R.U.), reitera a importância desses referenciais de maneira clara e inequívoca (LEITE; ANDRADE-NETO, 2023, p. 5, 6). Dito de outra forma, ao identificar um referencial inercial, qualquer outro sistema que se mova com velocidade vetorial constante em relação ao primeiro, também pode ser considerado um referencial inercial. No entanto, para os propósitos de nossa análise, é crucial compreender a concepção newtoniana do espaço e tempo como o fulcro das discussões sobre os referenciais inerciais.

[2] Discussões mais detalhadas sobre referenciais inerciais podem ser encontradas em Leite e Andrade-Neto (2023); sobre a origem da inércia, veja-se Bardelli (1999).

Para isto, considere a seguinte situação: suponha que um observador na origem de um referencial inercial K identifica um outro observador na origem de outro referencial K', porém este último está acelerado em relação a K. Como podemos distinguir o observador do referencial inercial do não inercial? O observador do referencial K' não poderia inverter a interpretação afirmando que ele é quem está em repouso e o observador no referencial K que está acelerado? (PORTO; PORTO, 2008, p. 1603-3).

A resposta às perguntas anteriores, de acordo com a perspectiva newtoniana, seria a seguinte: o referencial K é um referencial inercial legítimo, pois a aceleração assume um caráter absoluto, não em relação a outros observadores, mas em relação ao espaço absoluto. Em outras palavras, o referencial K' não está apenas acelerado em relação a K; ele também está acelerado em relação ao espaço absoluto, que por definição é estacionário (LIMA-JUNIOR et al., 2015).

"*O espaço absoluto, em sua própria natureza, sem relação com qualquer coisa externa, permanece sempre similar e imóvel*" (NEWTON, 1687 apud LEITE; ANDRADE-NETO, 2023, p. 7). O espaço absoluto newtoniano, definido anteriormente, não é apenas uma ferramenta de ajuste conveniente, mas um componente teórico fundamental na estrutura da física newtoniana[3]. Por definição, o espaço absoluto é onde o primeiro axioma de Newton, a lei da inércia, mantém-se válido.

No entanto, esse axioma é válido somente em referenciais verdadeiramente inerciais, isto é, aqueles que se movem em translação uniforme em relação ao espaço absoluto. Todavia, o próprio conceito de espaço absoluto só adquire pleno sentido na presença de seu complemento ontológico, o tempo absoluto, que, assim como o espaço, existe por si mesmo, sem depender dos corpos ou dos acontecimentos. Enquanto o espaço absoluto estabelece a ordem e a simultaneidade da coexistência entre os corpos, o tempo absoluto garante a ordem e a continuidade da sucessão dos eventos no cosmos newtoniano[4] (NEWTON, 2018; BURTT, 1983).

Como afirmado por Newton, "*o tempo absoluto (tempus absolutum), verdadeiro e matemático, por si mesmo e da sua própria natureza, sem relação com qualquer coisa externa (in se & natura sua sine relatione ad externum), flui uniformemente (aequaliter fluit) e é também chamado de duração (duratio)*" (NEWTON apud PIAUÍ, 2009, p. 28).

Assim, na teoria newtoniana, o tempo funciona como uma entidade independente, que progride uniformemente e não é afetada por influências externas. Na visão de Newton, o tempo absoluto serve como uma estrutura fundamental para a compreensão dos eventos físicos, desempenhando um papel essencial na descrição dos fenômenos naturais. Assim como o espaço absoluto fornece um quadro de referência invariante para a descrição dos fenômenos físicos através dos referenciais inerciais, o tempo absoluto independe das condições externas ou da medição por diferentes observadores, ou seja, não depende do estado de movimento do observador ou de forças externas. Esta concepção de tempo absoluto como uma entidade objetiva e universal é central na mecânica newtoniana e é elemento chave na descrição newtoniana dos fenômenos mecânicos[5].

Com base nos conceitos de espaço e tempo absolutos, em conjunto com os três axiomas do movimento newtoniano (com exceção da lei de gravitação universal), estabelece-se a estrutura teórica e os fundamentos elementares da teoria de Newton. Além disso, ao

[3] O leitor interessado em mais discussões sobre o espaço newtoniano poderá consultar Loures (2010) e Barbatti (1997).

[4] Segundo *Newton* (2018), no *Scholium* ao Livro I dos *Principia*, o espaço absoluto é o '*sensorium Dei*', um cenário imutável que permite distinguir o repouso e o movimento verdadeiros, enquanto o tempo absoluto 'flui uniformemente', servindo de medida universal para a duração. Burtt (1983) observa que tais conceitos transcendem o domínio empírico e exprimem uma visão metafísica na qual o espaço ordena a coexistência, fundamento da simultaneidade, e o tempo ordena a sucessão, fundamento da continuidade causal do universo.

[5] O leitor interessado em mais discussões sobre o tempo newtoniano poderá consultar Santana (2019) e Barra (2010).

considerarmos as transformações de Galileu, completamos o quadro teórico newtoniano. Deste modo, quando aplicamos as leis do movimento e as transformações em referenciais galileanos (referenciais inerciais), todas as leis físicas deduzidas a partir dos axiomas newtonianos devem assumir a mesma forma matemática em qualquer referencial inercial (Porto; Porto, 2009, p. 4601-5), constituindo desta forma, o princípio de relatividade da mecânica clássica (princípio de relatividade de Galileu).

Deste modo, ao expressar as leis fundamentais do movimento em termos matemáticos, em conjunto com o critério de relatividade para as leis mecânicas, Newton proporcionou um quadro teórico que permitiu a formulação de modelos preditivos e análises rigorosas do comportamento dos sistemas físicos. A partir da definição da massa como medida da quantidade de matéria e da concepção de espaço e tempo absolutos como referenciais universais e independentes, a física newtoniana consolidou uma visão de mundo regida pela ordem, pela causalidade e pela previsibilidade. Essa abordagem determinística influenciou não apenas a física, mas também diversas áreas do conhecimento científico, moldando a visão do universo como um sistema coerente, racional e matematicamente estruturado.

Assim, entender os fundamentos da física clássica, em especial as noções de massa, espaço, tempo e movimento, é essencial para a formação teórica e crítica dos estudantes de física. Na próxima seção, destacaremos a importância dessas discussões no processo de aprendizagem e na construção do pensamento científico, ressaltando o papel da monitoria como instrumento pedagógico fundamental nesse contexto educacional.

3. O Programa da Monitoria nos Fundamentos da Física Clássica

Até o momento, nosso objetivo tem sido desenvolver uma narrativa que destaque, de forma geral, os princípios fundamentais da física newtoniana, os quais são abordados no componente curricular de Fundamentos de Física A. No entanto, para os propósitos deste trabalho, é necessário descrever como esses fundamentos são abordados dentro do contexto da monitoria e como esse programa contribui para a compreensão de conceitos tão essenciais e complexos da teoria de Newton.

Inicialmente, é essencial caracterizar e definir o programa de monitoria. Em termos simples, o programa de monitoria é uma atividade acadêmica que visa apoiar o corpo docente, através da colaboração entre alunos monitores e professores. Essa colaboração se manifesta por meio de atividades em grupos de estudo, como pesquisa, orientação e/ou discussão, direcionadas aos alunos que estão sendo monitorados (FERNANDES et al., 2016, p. 37). Neste sentido, o principal objetivo da monitoria é facilitar o processo de ensino e aprendizagem dentro do contexto de um componente curricular específico.

No caso particular da nossa monitoria em Fundamentos da Física, as atividades se concentram principalmente em discussões que orbitam os alicerces da teoria newtoniana que delineamos anteriormente. Desta forma, a ideia central da monitoria em Fundamentos consiste na suplementação das discussões em sala através da colaboração do tripé fundamental do programa de monitoria: professor-monitor-aluno.

De forma específica, as atividades conduzidas em nossa atividade acadêmica são direcionadas para garantir que as discussões durante as sessões de monitoria estejam alinhadas com os temas abordados em sala de aula. No entanto, nossa experiência nos levou a verificação de que as perguntas e dúvidas propostas pelos alunos que estão sendo monitorados são o ponto central da nossa abordagem. Assim como a regra da mão direita nos fornece a orientação de um produto vetorial, as dúvidas e problematizações dos alunos monitorados funcionam como a “regra da mão direita” do nosso trabalho, nos indicando a direção e o foco que a monitoria deve seguir.

Para ilustrar, compartilharemos alguns relatos de nossas sessões de monitoria. Em uma das ocasiões, explorávamos o conceito de força e sua centralidade na teoria de Newton, especialmente na relação causal delineada pelo segundo axioma do movimento newtoniano. Após discutir esse conceito, decidimos empregar um exemplo cotidiano, utilizando o caso

de uma pessoa em uma balança, para destacar como o segundo axioma newtoniano se aplica nessa situação específica. Foi então que um dos alunos monitorados fez a seguinte pergunta: "A velocidade afeta a massa? Pergunto isso porque o valor indicado na balança muda quando a pessoa de move".

Embora a resposta para a pergunta do aluno esteja relacionada essencialmente aos vetores envolvidos na física da balança e à consequente variação da força normal exercida pela pessoa sobre a superfície da balança, sua pergunta revela uma sutileza complexa e elegante na mecânica de Newton.

Na teoria newtoniana, a massa inercial, que figura na segunda lei, é uma propriedade intrínseca de cada corpo físico. Isso significa que a massa é uma característica de cada corpo que independe tanto do observador quanto do estado de movimento do corpo e do observador. No entanto, é importante reconhecer que a física newtoniana foi alvo de diversas ponderações por parte de outros pensadores, como Leibniz, Berkeley e Mach, especialmente em relação aos conceitos de massa inercial, espaço e tempo absolutos (SOARES, 1999, p. 558, 559).

Por exemplo, o físico e filósofo austríaco Ernst Mach propôs que a massa inercial de um objeto é determinada pela distribuição de massa no universo ao seu redor. Em outras palavras, para Mach, a inércia de um objeto é influenciada pela distribuição da massa presente no universo. Isso implica que a massa inercial de um objeto não é uma característica intrínseca do próprio objeto, como na teoria newtoniana, mas sim resultado das relações deste com o restante do universo (GRACIA, 2019, p. 2, 3, 4).

Para sermos fiel à argumentação de Mach (1960, p. 274), assevera ele: "*Quando dizemos que um corpo conserva inalteradas sua direção e velocidade no espaço, nossa afirmação é nada mais que uma referência abreviada ao universo inteiro. [...] O investigador deve sentir a necessidade de referir todos os movimentos às massas do universo*" (grifo negrito nosso). Observemos o termo "referir" que nos remete à "relação" entre o corpo e o conjunto de massas do universo, o que foi interpretado por Einstein como a interação gravitacional entre tal corpo e o conjunto de massas do universo[6].

Mach concebia a massa inercial de um corpo como uma propriedade relacional, não absoluta. Ele argumentava que a inércia de um corpo decorria da relação entre esse corpo e todas as outras massas do universo, estabelecendo assim o que seria posteriormente reconhecido como o Princípio de Mach (GRACIA, 2019, p. 4, 5, 6).

As ideias e o Princípio de Mach, de fato, desempenharam um papel determinante e altamente influente no subsequente desenvolvimento da modernísssima Teoria da Relatividade Geral (TRG) de Einstein (CINDRA, 1994, p. 26, 27). Muitas vezes, essas discussões tão sutis e essenciais não recebem a devida atenção em nossos cursos de Física. Portanto, é fundamental reconhecer a valiosa oportunidade que um componente curricular e um programa de monitoria, direcionados para essas complexas discussões físicas e filosóficas, podem oferecer no contexto dos fundamentos da física.

Deste modo, assim como discutimos a crítica de Mach em relação à massa inercial no contexto da monitoria, também nos envolvemos em uma reflexão profunda sobre os conceitos de espaço e tempo absolutos na teoria newtoniana. Durante nossas sessões de monitoria, exploramos como as ideias de Newton sobre espaço e tempo, embora fossem consideradas absolutas em sua época, foram posteriormente desafiadas por perspectivas revolucionárias, como as propostas por Einstein na TRE.

Na oportunidade, investigávamos como esses conceitos eram considerados absolutos e independentes de qualquer observador ou referencial. Enquanto discutíamos a ideia de que o espaço e o tempo são entidades estáticas e universais na teoria mecânica de Newton,

[6] d Nas Palavras de Einstein (1950, p. 101), "*According to Mach's principle, the inertia of any system is the result of the* ***interaction*** *between that system and the rest of the matter in the universe*" (grifo nosso).

conforme destacamos na seção anterior, um dos alunos levantou a seguinte questão: "Como podemos medir o espaço absoluto e o tempo absoluto?"

Novamente, a conhecida "regra da mão direita" operou na monitoria, e a pergunta do aluno nos orientou a considerar as ponderações de filósofos e cientistas que contestaram o caráter absoluto do espaço e do tempo, especialmente Leibniz, Mach e, mais tarde, Einstein. No entanto, para compreender totalmente a perspectiva newtoniana, refletimos sobre como Newton concebia o espaço como uma entidade fixa e o tempo como uma corrente universal, fluindo uniformemente em todas as direções, independentemente da presença de qualquer objeto ou observador.

No entanto, os conceitos de espaço e tempo na teoria newtoniana residem em um domínio metafísico, estando além do alcance da verificação experimental direta. Esses conceitos, embora sejam elementos centrais na teoria newtoniana, não são grandezas mensuráveis através da experiência (MARTINS, 2010, p. 38, 39). Na verdade, o tempo e o espaço newtonianos estavam intimamente ligados às crenças teológicas do físico inglês, onde o espaço absoluto era o órgão sensorial (sensorium) de Deus, com interpretação análoga para o tempo absoluto: "*Embora nós não possamos ver nem perceber o espaço absoluto, Deus o observa -* `e` *o mesmo se aplica ao tempo absoluto*" (MARTINS, 2010, p. 38).

Apesar de destacarmos as críticas e reconhecermos as limitações desses conceitos à luz das descobertas da relatividade, ressaltamos a importância de compreender as teorias no contexto de seu momento histórico. Os conceitos de espaço e tempo absolutos na física newtoniana desempenharam um papel crucial no desenvolvimento científico, proporcionando uma base conceitual sólida para a compreensão do movimento e da interação dos corpos celestes. Seja com implicações teológicas ou não, o caráter preditivo e determinístico da teoria newtoniana garantiu-lhe um "espaço absoluto" e atemporal nas prateleiras da ciência.

Por essas e outras discussões, decidimos incluir neste trabalho uma seção dedicada aos fundamentos da física newtoniana, embora de forma concisa, devido à importância desses conceitos em nossas discussões durante a monitoria. Entendemos que esses debates são essenciais para a formação completa tanto do bacharel quanto do licenciado em física, indo além de meros complementos figurativos.

Esses conceitos não são apenas aspectos periféricos; eles ocupam uma posição central para uma compreensão holística da teoria clássica do movimento. São elementos fundamentais que não podem ser negligenciados na formação integral do estudante de física. Deste modo, é crucial abordá-los durante a graduação, mesmo que de forma sucinta, para garantir uma base sólida e abrangente na jornada acadêmica de cada aluno.

Poderíamos ainda prolongar nossa narrativa, detalhando outras experiências e debates que enriqueceram o desenvolvimento de nosso programa de monitoria. No entanto, nosso objetivo não reside em fornecer uma descrição exaustiva de todas as atividades realizadas no programa. O propósito deste trabalho é, antes de tudo, evidenciar a relevância do programa de monitoria como um componente pedagógico valioso nos cursos de física. Desejamos enfatizar como esses programas podem potencializar a formação tanto do aluno monitor quanto do aluno monitorado.

Ao integrar-se a componentes curriculares, a monitoria oferece uma oportunidade única para a ampliação e complementação dos conhecimentos adquiridos em sala de aula (DANTAS, 2014, p. 568, 569). Além disso, possibilita o aprofundamento de conceitos por meio de discussões e interações entre pares. Por meio da monitoria, os alunos-monitores têm a chance de aprimorar suas habilidades de ensino e comunicação, enquanto os alunos-monitorados se beneficiam da orientação e do apoio adicional na compreensão de conceitos complexos (DANTAS, 2014, p. 568, 569).

Assim, até este ponto de nossa narrativa, não retratamos o monitor de física como simplesmente alguém confinado em um laboratório realizando experimentos, o que é muito comum pela nossa experiência. O papel do monitor transcende essa visão limitada. Na

verdade, o monitor é um elemento pedagógico adicional no processo de ensino e aprendizagem que atua diretamente na formação do estudante de física. Ele não é apenas um equipamento móvel do laboratório.

Longe de ser um elemento estático, o monitor é uma peça dinâmica que contribui na experiência educacional por meio de interações diretas com os alunos. Ele não apenas conduz experimentos, mas também estimula a discussão, problematiza conceitos e oferece auxílio pedagógico para a compreensão dos conceitos físicos.

Ao assumir esse papel, o monitor se torna um recurso pedagógico que complementa e aprimora o processo de aprendizagem (OLIVEIRA; VOSGERAU, 2021, p. 3, 4). Sua presença ativa não apenas auxilia os alunos na compreensão do conteúdo, mas também busca explorar os princípios e fundamentos da física.

Entretanto, a presença do monitor não implica que ele irá assumir o papel do professor ou substituí-lo de alguma forma. Pelo contrário, o papel do monitor é distinto e complementar ao do professor. Como mencionamos anteriormente, o monitor é uma peça-chave no mecanismo complexo do eixo ensino-aprendizagem. Ele não virá para assumir a responsabilidade pelo componente curricular, mas sim para enriquecer e ampliar a experiência educacional.

O monitor atua como um elo de comunicação, facilitando a interação entre professor e aluno, bem como entre aluno e conteúdo. Ele complementa as discussões em sala de aula ao oferecer uma perspectiva adicional (VICENZI et al., 2016, p. 89, 90). Além disso, o monitor desempenha um papel importante ao promover a participação ativa dos alunos, incentivando-os a se engajarem com o material de forma mais profunda e significativa. Sua presença dinâmica e acessível cria um ambiente propício para o aprendizado colaborativo e a troca de ideias.

A partir destas ponderações, esperamos que com este trabalho possamos ampliar a percepção da comunidade acadêmica sobre a figura do monitor em física, destacando sua relevância e influência no processo de ensino e aprendizagem desses princípios fundamentais. Ao projetar a imagem do monitor de física além da penumbra do assistente de laboratório, reconhecemos que sua função extrapola a simples execução de experimentos. O monitor, neste sentido, desempenha um papel essencial na exploração e compreensão dos conceitos e fundamentos essenciais da física.

Em um contexto em que os princípios de Newton servem como alicerce para uma série de teorias e aplicações subsequentes na física, é fundamental que os alunos tenham uma compreensão sólida desses fundamentos. Além disso, ao explorar as nuances e complexidades da teoria newtoniana durante as sessões de monitoria, os alunos são incentivados a desenvolver habilidades de pensamento crítico e análise, preparando-os para enfrentar desafios mais avançados no campo da física.

Desta forma, ao ampliar a visão da comunidade acadêmica sobre o papel do monitor de física, esperamos não apenas enriquecer a experiência educacional dos alunos, mas também fortalecer a base de conhecimento necessária para uma compreensão abrangente e aprofundada dos fundamentos da física newtoniana.

4. Considerações Finais

Toda grande construção repousa sobre alicerces sólidos e estáveis, que sustentam sua grandiosa estrutura. Uma edificação que possua bons alicerces não sucumbe facilmente perante influências externas. Da mesma forma, as grandes teorias científicas, em especial as teorias físicas, encontram sua solidez nos fundamentos que as sustentam.

Neste trabalho, destacamos os alicerces elementares da teoria mecânica do movimento de Newton, ainda que em linhas gerais, e a importância crucial desses fundamentos na formação integral de bacharéis e licenciados em física. Sublinhamos a relevância de um programa de monitoria voltado para a discussão desses fundamentos, transcendendo a visão tradicional do monitor como um mero assistente de laboratório. Propomos que o monitor

em física seja reconhecido como um elemento pedagógico adicional e essencial nos processos de ensino e aprendizagem e na trajetória acadêmica dos graduandos em física.

Nossa análise enfatiza a importância de abordar não apenas os princípios teóricos, mas também os debates filosóficos e históricos que permeiam a física newtoniana através de componentes curriculares e programas de monitoria que complementem as discussões da sala de aula. Ao fazê-lo, incentivamos os alunos a desenvolverem uma compreensão mais profunda e holística da teoria clássica newtoniana.

Em última instância, a monitoria não apenas fortalece o domínio dos conceitos físicos, mas também promove habilidades de pensamento crítico, comunicação e colaboração. Portanto, ao reconhecer a importância desse componente pedagógico, esperamos que os programas de monitoria continuem desempenhando um papel essencial na formação dos futuros profissionais da Física.

Referências

ARISTÓTELES. Metafísica (c. 350 a.C.). São Paulo: Edipro, 2012.Tradução, Textos Adicionais e Notas de Edson Bini. Série Clássicos Edipro.

BARBATTI, Mario. Conceitos físicos e metafísicos no jovem Newton: uma leitura do De Gravitatione. Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência, p. 59-70, 1997. Disponível em: https://rbhciencia.emnuvens.com.br/rsbhc/article/view/514.

BARDELLI, Daniele. A origem da inércia. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 16, n. 1, p. 43-53, 1999. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/download/6875/6335/20784.

BARRA, Eduardo Salles de Oliveira. A primazia das relações sobre as essências: as forças como entidades matemáticas nos Principia de Newton. Scientiae Studia, v. 8, n. 4, p. 547-569, 2010. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1678-31662010000400003.

BURTT, E. A. As Bases Metafísicas da Ciência Moderna. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1983. v. 17. (Coleção Pensamento Científico, v. 17). Tradução: José Viegas Filho e Orlando Araújo Henriques.

CARVALHO-NETO, Rodolfo Alves de; FREIRE-JÚNIOR, Olival; SILVA, José Luís P.B. Enfatizando o Aspecto Preditivo da Segunda Lei de Newton: Análise de uma Experiência com Alunos do Ensino Médio. Experiências em Ensino de Ciências, v. 3, n. 1, p. 70-82, 2008. Disponível em: https://if.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/341.

CINDRA, José Lourenço. Esboço da evolução histórica do princípio de relatividade. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 16, n. 1-4, p. 56-67, 1994. Disponível em: https://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/vol16a03.pdf.

DANTAS, Otilia Maria. Monitoria: fonte de saberes à docência superior. Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos, v. 95, n. 241, p. 567-589, 2014. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/S2176-6681/301611386.

EINSTEIN, Albert. The Meaning of Relativity. Princeton: Princeton University Press, 1950.

FERNANDES, Juliana; ABREU, Thaynara Alves; DANTAS, Anne Joyce Lima; SILVA, Angélica Maria de Sousa. Influência da monitoria acadêmica no processo de ensino e aprendizagem da Psicologia. Clínica & Cultura, v. 5, n. 1, p. 36-43, jul.-dez., 2016. Disponível em: https://periodicos.ufs.br/clinicaecultura/article/view/5650/6220.

GOMES, Ludmila Aster S. Os fundamentos transcendentais da ciência newtoniana. Revista do Seminário dos Alunos Do PPGLM/UFRJ, v. 9, n. 1, p. 21-29, 2018. Disponível em: https://fb31328c-ade4-498e-a1da-93a166c32189.filesusr.com/ugd/69f189_7b45d88929a543f09ab4c1ab5f43127c.pdf.

GONÇALVES, M. F.; GONÇALVES, A. M.; FIALHO, B. F.; GONÇALVES, I. M. F.; FREIRE, V. C. C. A importância da monitoria acadêmica no ensino superior. Práticas Educativas, Memórias e Oralidades-Rev. Pemo, v. 3, n. 1, p. e313757-e313757, 2021. Disponível em: https://revistas.uece.br/index.php/revpemo/article/view/3757.

GRACIA, G. B. de. A física na visão de Ernst Mach: De uma crítica a Newton às teorias gravitacionais. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 41, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0332.

KOYRÉ, Alexandre. Do mundo fechado ao universo infinito, 4ª edição revisada. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2006.

LIMA-JUNIOR, Paulo; LANG-DA-SILVEIRA, Fernando; OSTERMANN, Fernanda; CARVALHO-PINHEIRO, Nathan. A Física como uma construção cultural arbitrária: Um exemplo da controvérsia sobre o status ontológico das forças inerciais. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, v. 15, n. 1, p. 195-217, 2015. Disponível em: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=571666015009.

LEITE, Viviane B.; ANDRADE-NETO, Antônio V. Conceitos de espaço, tempo e movimento na Mecânica Clássica e na Teoria da Relatividade. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 45, p. e20220321, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2022-0321.

LOURES, Marcus Vinícius Russo. As bases teológico-experimentais do espaço absoluto de Newton. PERI, v. 2, n. 2, p. 15-27, 2010. Disponível em: https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/peri/article/view/832/335.

MACH, Ernst. The Science of Mechanics: A Critical and Historical Account of Its Development. 6th ed. Translated by T. J. McCormack. LaSalle, Illinois: Open Court, 1960.

MARTINS, Roberto de Andrade. Espaço, tempo e éter na teoria da relatividade. Pp. 31-60, in: KNOBEL, Marcelo; SCHULZ, Peter A. (orgs.). Einstein: muito além da relatividade. São Paulo: Instituto Sangari, 2010.

NEWTON, I. Philosophiae Naturalis Principia Mathematica. London: Global Grey, 1723/2018. Translated by Andrew Motte.

OLIVEIRA, Juliane de; VOSGERAU, Dilmeire Sant'Anna Ramos. Práticas de monitoria acadêmica no contexto brasileiro. Educação: Teoria e Prática, v. 31, n. 64, p. 1-21, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.18675/1981-8106.v31.n.64.s14492.

PAULO-SERRA, Joaquim Mateus. Filosofia e Ciência. Artigos LUSOSOFIA, 2008. Disponível em: https://lusosofia.ubi.pt/textos/serra_paulo_filosofia_e_ciencia.pdf.

PORTO, Claudio Maia; PORTO, M. B. D. S. M. Galileu, Descartes e a elaboração do princípio da inércia. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 31, p. 4601-4610, 2009. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbef/a/pyGCXNv3VrFmscJLXG9csLH/?format=pdf&lang=pt.

PORTO, Claudio Maia; PORTO, M. B. D. S. M. Uma visão do espaço na mecânica newtoniana e na teoria da relatividade de Einstein. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, p. 1603.1-1603.8, 2008. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbef/a/66h6nNwH5hdBMM9MMQ36YkK/?format=pdf&lang=pt.

REALE, Giovanni. Introdução a Aristóteles. São Paulo: Loyola, 1993.

SANTANA, Ademir Eugenio de. Espaço, tempo e estruturas das teorias do movimento. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 41, n. 1, e20180145, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0145.

SANTOS, Caio Matheus Fontinele dos; SILVA, João Marcos Costa da; GOMES, Érica Cupertino; LOBO, Matheus Pereira. Uma proposta didático-matemática para o uso da escala de Planck: dos fótons aos buracos negros. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 42, e20190350, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0350.

SILVEIRA, Fernando Lang da. Determinismo, previsibilidade e caos. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 10, n. 2, p. 137-147, 1993. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7279.

PIAUÍ, William de Siqueira. Santo Agostinho e Isaac Newton: Tempo, Espaço e Criação. Theoria - Revista Eletrônica de Filosofia, v. 1, n. 2, p. 26-47, 2009. Disponível em: https://www.theoria.com.br/edicao0209/agostinho_e_newton.pdf.

SOARES, Domingos S. L. O Balde de Newton e o Espaço Absoluto: Uma Resenha de Mecânica Relacional, de André Koch Torres Assis, CLECH, UNICAMP, (1998), 349p. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 21, n. 4, p. 558-560, 1999. Disponível em: https://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v21_558.pdf.

VICENZI, Cristina Balensiefer; CONTO, Ferdinando de; FLORES, Mateus Ericsson; ROVANI, Gisele; FERRAZ, Sabrina Caroline Calonego; MAROSTEGA, Milena Giotti. A monitoria e seu papel no desenvolvimento da formação acadêmica. Revista Ciência em Extensão, v. 12, n. 3, p. 88-94, 2016. Disponível em: https://ojs.unesp.br/index.php/revista_proex/article/view/1257/1254.

Isenção de responsabilidade/Nota do editor: As declarações, opiniões e dados contidos em todas as publicações são exclusivamente de responsabilidade do(s) autor(es) e colaborador(es) individual(is) e não do *Caderno de Física da UEFS* e/ou do(s) editor(es). O *Caderno de Física da UEFS* e os editores isentam-se de responsabilidade por qualquer dano a pessoas ou propriedades resultante de quaisquer ideias, métodos, instruções ou produtos mencionados no conteúdo.