

As questões de estética e simetria e suas contribuições para o ensino das leis de Newton na formação inicial de professores de ciências⁺

Flaviston Ferreira Pires¹

José Alves da Silva¹

Universidade Federal de São Paulo

Diadema – SP

Resumo

Este trabalho tem o objetivo de contribuir com a formação inicial dos professores de ciências por meio da investigação dos conceitos de estética e simetria e de suas possíveis implicações para o ensino das leis de Newton, a partir da resposta da seguinte pergunta: como esses conceitos aparecem à medida que são ensinados aos licenciandos em ciências? Para isso, realizamos uma pesquisa bibliográfica e uma revisão historiográfica acerca dos conceitos de estética e simetria, com fontes secundárias, buscando identificar os pressupostos estéticos utilizados na fundamentação das leis de Newton. A partir daí, tendo-se como base as pesquisas sobre o cotidiano escolar, desenvolvemos uma abordagem didática, que considerou as bases estéticas e simétricas da mecânica newtoniana, para uma disciplina de física do ensino superior de um curso de licenciatura em ciências. Os dados foram colhidos por meio de produções textuais, gravações de aulas e anotações em diários de bordo. A análise foi feita a partir de categorizações e inferências, seguindo o método de análise de conteúdo. Os resultados sugerem que as concepções estéticas e simétricas são altamente influenciadas pelos sentidos e que, ao explicitá-las, o ensino das leis de Newton adquire consistência e novos significados juntamente aos estudantes. Do destaque dessa pesquisa, pretendeu-se contribuir com a discussão de como algumas dessas concepções influenciam a compreensão dos professores acerca dos conceitos e fenômenos físicos, bem como a

⁺ Aesthetics and symmetry issues and their contributions to the teaching of Newton's laws in the science initial training teachers

^{*} *Recebido: maio de 2020.
Aceito: setembro de 2020.*

¹ E-mails: ton.fpires@hotmail.com; josealves.unifesp@gmail.com

compreensão da construção de uma física em que a construção humana mostra-se fundamental para a sua criação e consolidação.

Palavras-chave: *Estética; Simetria; Mecânica; Formação Inicial de Professores.*

Abstract

This work aims to contribute to the initial training of science teachers by investigating the concepts of aesthetics and symmetry and their possible possibilities for teaching Newton's laws, from the answer to the following question: how do these concepts appear as science graduates are taught? Thus, we performed a bibliographic research and a historiographical review, with secondary sources, about the concepts of aesthetics and symmetry, to identify the aesthetic assumptions used in the foundation of Newton's laws. From there, based on research on everyday school life, we developed a didactic approach, which considered the aesthetic and symmetrical bases of Newtonian mechanics, for a higher education physics discipline in a science degree course. The data were collected through textual productions, recordings of classes and notes in logbooks. The analysis was made based on categorizations and inferences, following the content analysis method. The results suggest that aesthetic and symmetrical conceptions are highly influenced by the senses and that, by making them explicit, the teaching of Newton's laws acquires consistency and new meanings with students. The highlight of this research was intended to contribute to the discussion of how some of these concepts influence the teachers' understanding of physical concepts and phenomena, as well as the understanding of the construction of a physics in which human construction is fundamental to their creation and consolidation.

Keywords: *Aesthetic; Symmetry; Mechanics; Initial Teacher Training.*

I. Do que estamos falando

Pensarmos na palavra 'estética' como algo correlato à harmonia, proporção, ordem, grandeza, adequação simétrica das partes, é, sem dúvida, uma concepção (QUADROS, 1986). No entanto, como qualquer concepção carece de precisão, ainda mais quando compreendida no campo das ciências, buscamos outras visões acerca da palavra 'estética' que pudessem corroborar os significados pretendidos neste trabalho. Assim, consultamos o seu significado

em alguns dicionários, entre eles o Aurélio², Dicio³ e Priberam⁴, todos em suas plataformas *online*. Os dicionários Aurélio e Priberam definem a estética como “ciência que trata do belo em geral e do sentimento que ele desperta em nós”, enquanto o dicionário Dicio a define como “ramo da filosofia que se dedica ao estudo do belo, da beleza sensível e de suas implicações na criação artística”. Notamos que, em todas as concepções, a palavra ‘estética’ está diretamente relacionada ao belo, em ressonância às concepções filosóficas da antiguidade, como a platônica, que associava a estética ao belo no mundo ideal (com harmonia e proporção); e a aristotélica, que associava a estética ao belo no mundo real (com ordem e simetria) (SUASSUNA, 2008).

A fim de buscarmos outras possíveis concepções, consultamos dois dicionários etimológicos. De acordo com o Grande Dicionário Etimológico Prosódico da Língua Portuguesa, de Silveira Bueno (1965), o termo ‘estética’ vem do grego *aisthétikos*, em forma feminina, e designa ‘filosofia da arte’ e ‘filosofia do belo’. Quadros (1986, p. 32) acrescenta que esse termo foi introduzido pela primeira vez, em sua concepção moderna como filosofia da arte pelo filósofo Alexander Gottlieb Baumgarten (1714-1762), que “substantivou a palavra *aesthetica*, consagrando o nome da disciplina filosófica entre 1735 e 1750”.

Já no Dicionário Etimológico da Língua Portuguesa, de José Pedro Machado (1987), a palavra ‘estética’ deriva do francês *esthétique*, vinda do grego *aisthêtiké*, forma do adjetivo *aisthêtikós*, que significa “que tem a faculdade de sentir ou de compreender; que pode ser compreendido pelos sentidos”. Vale ressaltar que os sentidos referidos são os cinco sentidos humanos, de forma que tudo aquilo que sensibiliza nos afeta (QUADROS, 1986).

Notamos, dessa forma, que sua etimologia está relacionada à percepção e às sensações. Até aqui, a estética nos parecia como algo que atuava no ser humano dentro de sua interpretação do mundo, numa perspectiva de que “o homem diante do mundo é um intérprete” (QUADROS, 1986, p. 188). O homem percebe e sente o mundo e o interpreta buscando sentido. A interpretação é o próprio modo do homem conhecer. Dessa forma, a relação entre o homem e o mundo é uma relação de interpretação (QUADROS, 1986).

Trata-se, portanto, a partir da estética, de aprender e reaprender a ver o mundo enquanto o interpreta. É o ver da sensibilidade que, embora não desprezando os aspectos já descritos sobre a natureza, possibilita ver além. Da percepção e sensação à interpretação do mundo, “a estética pretende despertar em nós um novo modo de ver” (QUADROS, 1986, p. 41).

Dessa forma, estamos compreendendo, ao longo deste trabalho, a estética como ‘a visão, o gosto, as percepções e outras ações decorrentes dos nossos sentidos e as interpretações as quais atribuímos às coisas’. Por isso, em nossa interpretação, assumimos que

² Dicionário do Aurélio. Disponível em: <<https://dicionariodoaurelio.com/>>. Acesso em: 17 mai. 2018.

³ Dicio *Online* de Português. Disponível em: <<https://www.dicio.com.br/>>. Acesso em: 17 mai. 2018.

⁴ Dicionário Priberam da Língua Portuguesa. Disponível em: <<https://www.priberam.pt/dlpo/>>. Acesso em: 17 mai. 2018.

a noção estética, na construção do conhecimento científico, pode ocorrer a partir da contemplação que um indivíduo faz de determinado fenômeno e, por meio desta, intui e reflete sobre o que está a contemplar, de modo que nenhuma teoria natural é formulada de forma isolada, dependendo sempre de quem está a contemplar a natureza, bem como das hipóteses e questões estéticas internas que este indivíduo traz consigo (KANT, [1790] 1993).

A estética é, assim, inerente ao ser humano e atua diretamente em sua forma de sentir, interpretar e construir o mundo, sendo a simetria, por sua vez, um de seus elementos primordiais. Posto isso, não a compreenderemos no seu sentido moderno como a ‘filosofia da arte’, introduzido por Baumgarten e amplamente difundido a partir do filósofo alemão Georg W. F. Hegel (1770-1831), que relaciona a estética ao belo artístico (espiritual, sem a realidade física; HEGEL, [1820-1829] 1996), sendo contemplada nos diferentes tipos de artes, tais como a música, pintura, poesia e escultura, distanciada das ciências.

Na física, há registros da busca por um certo padrão estético em diferentes momentos de sua construção histórica, em particular na questão da simetria, conforme assinala Menezes (2011):

[...] as simetrias são essenciais nas teorias da física, desde as compreensões clássicas de espaço e tempo, cuja homogeneidade e uniformidade respondem pelas discussões das quantidades de movimentos e energia. [...] Mais do que uma estética científica, se pode pensar sobre as simetrias como uma estética natural reconhecida pela ciência. Além disso, na física e, especialmente, nos fenômenos da vida, não apenas as simetrias, mas também as assimetrias se mostram determinantes para a compreensão da natureza (p. 90 e 91, tradução nossa).

A discussão de estética não é consensual justamente por conter caráter subjetivo (PIRES; SILVA; FORATO, 2019). Na física, consideramos que dois pontos do espaço são homogêneos e simétricos entre si, ou sejam, são rigorosamente e idealmente iguais. Contudo, se é colocado um sistema de referências, por exemplo, – escolha humana e externa a esses pontos – podemos expressar numericamente diferentes posições de um e de outro em função dessa referência. Se um deles estiver numa região em que há um campo gravitacional, então uma massa presente neste ponto teria efeitos diferentes de outra colocada num outro ponto em que não há esse campo. Diríamos, então, conforme Menezes (2005), que tanto a adoção do sistema de referência quanto a existência de um campo atrativo são agentes que quebram a simetria entre esses pontos. Conforme Pires e Silva, 2015 (p. 2):

Note-se, aqui, que a implantação do sistema de referência (seu formato, o lugar em que será localizado etc.), por sua natureza essencialmente de escolha humana, tem forte influência da questão estética: não à toa, o sistema de referência mais comum é o plano espacial, cujo formato assemelha-se em demasia a lados de um cubo – uma das figuras geométricas mais simples, simétricas e esteticamente perfeitas que temos na natureza.

A homogeneidade revela uma simetria do espaço, ou seja, que todos os seus pontos são equivalentes. A existência de um campo gravitacional, por sua vez, estabelece a perda local da homogeneidade, ou seja, causa uma assimetria. Essa assimetria do espaço, devido à gravitação, por exemplo, é a responsável por condicionar o desenvolvimento e o movimento na crosta terrestre. Por razão prática, as coisas aqui na Terra são construídas seguindo planos horizontais que, em termos ideais, são homogêneos, ou seja, possuem equivalência da gravidade e da exigência de forças de compensação com mesma intensidade em todos os pontos para a manutenção do equilíbrio estático (considerando os equipotenciais no limite da curvatura terrestre como equipotenciais em um plano horizontal ideal); enquanto os planos verticais têm sua equivalência de pontos quebrada pela gravidade. Por essas razões, quando realizamos o lançamento oblíquo de uma pedra, a componente horizontal da velocidade é mantida enquanto a vertical varia continuamente. É importante ressaltar que a horizontalidade ou verticalidade de um plano pressupõe a existência de um plano de referências e que, conforme já afirmado anteriormente, a sua proposição também é um agente que quebra a homogeneidade do espaço. Essa homogeneidade do espaço implica, também, a impossibilidade de existir movimento em apenas um sentido, sem a compensação desse movimento no sentido oposto. As propriedades ligadas à homogeneidade estão ligadas aos movimentos translacionais e à conservação do momento linear⁵ (MENEZES, 2005).

Além da homogeneidade, o espaço ideal é considerado isotrópico, ou seja, não possui direção privilegiada. Assim como a homogeneidade está ligada à conservação de quantidade de movimento linear, a isotropia está relacionada à conservação de quantidade de movimento

⁵ Pelo princípio de conservação da quantidade de movimento translacional ou momento linear, se dois corpos formam um sistema isolado e a resultante das forças externas que atuam sobre esse sistema for nula, o momento total do sistema a todo instante é igual ao momento inicial. Matematicamente, podemos expressar da seguinte forma: suponha que em algum instante o momento do corpo 1 seja \vec{p}_1 e o momento do corpo 2 seja \vec{p}_2 . Pela notação atual da segunda lei de Newton, poderemos escrever

$$\vec{F}_{21} = \frac{d\vec{p}_1}{dt} \text{ e } \vec{F}_{12} = \frac{d\vec{p}_2}{dt},$$

em que \vec{F}_{21} é a força exercida pelo corpo 2 sobre o corpo 1, e \vec{F}_{12} é a força exercida pelo corpo 1 sobre o corpo 2 (a origem das forças não é importante para esta discussão). Pela terceira lei de Newton, tomamos que \vec{F}_{21} e \vec{F}_{12} são iguais em módulo e direção e opostas nos sentidos. Podemos expressar essa condição como $\vec{F}_{21} + \vec{F}_{12} = 0$. Dessa forma,

$$\frac{d\vec{p}_1}{dt} + \frac{d\vec{p}_2}{dt} = \frac{d}{dt} (\vec{p}_1 + \vec{p}_2) = 0.$$

Como o momento total se conserva, a derivada temporal do sistema

$$\vec{p}_{tot} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$$

é nula. Podemos concluir que o momento total \vec{p}_{tot} tem que permanecer constante. Assim, temos

$$\vec{p}_{tot} = \text{constante, ou}$$

$$\vec{p}_{1i} + \vec{p}_{2i} = \vec{p}_{1f} + \vec{p}_{2f},$$

em que \vec{p}_{1i} e \vec{p}_{2i} são os valores iniciais, e \vec{p}_{1f} e \vec{p}_{2f} são os valores finais do momento no período durante o qual os corpos interagem.

rotacional ou momento angular⁶. Assim, a existência do campo gravitacional terrestre quebra tanto a homogeneidade quanto a isotropia do espaço na componente vertical. A existência de um campo magnético também quebra a isotropia. O ponteiro de uma bússola, por exemplo, sempre buscará apontar na direção norte, ou seja, para uma direção privilegiada e específica. Se o campo magnético não existisse, não haveria razão para que a bússola apontasse sempre para o norte (*idem, ibidem*). Assumindo essa propriedade, podemos afirmar que, salvo a existência de um torque, um objeto que não esteja em rotação não começará a girar de forma espontânea ou que, já estando em rotação com velocidade angular uniforme, não haverá mudança no módulo, na direção e no sentido desta velocidade angular. A existência de um torque, por sua vez, expressa uma anisotropia local, ou seja, uma quebra local de simetria angular, rotacional (*idem, ibidem*). Análoga à homogeneidade, a isotropia implica na impossibilidade de gerar movimento rotacional em apenas um sentido, sem a existência da produção de um movimento de compensação à rotação, movendo, de forma proporcional, no sentido oposto.

Dessas ideias, depreendem-se que, não havendo campos atrativos ou repulsivos, o espaço será homogêneo e isotrópico, ou seja, não possuirá diferenças entre si e nem direção privilegiada. Havendo, simultaneamente, campos atrativos e repulsivos que se anulem, novamente não teremos quebra de simetria. Nesse sentido, em ambas as situações, não há razão, por exemplo, para que um movimento translacional ou rotacional que passe por um ponto do espaço vazio seja criado ou alterado durante essa passagem (*idem, ibidem*).

II. Estética e simetria na construção da filosofia newtoniana

O espaço proposto pela filosofia mecânica de Newton (1687) possui algumas propriedades específicas. Ele é vazio, infinito, isotrópico, homogêneo e tem seus movimentos regidos pela harmonia (COHEN; WESTFALL, 2002). A homogeneidade do espaço se revela no comportamento da matéria, por meio da conservação da quantidade de movimento linear de qualquer objeto, ou de sistemas de objetos, não submetidos a forças externas. A

⁶ De forma análoga ao princípio de conservação da quantidade de movimento translacional, o princípio de conservação da quantidade de movimento rotacional ou momento angular afirma que o momento angular total de um sistema permanece constante se o torque externo resultante agindo sobre o sistema for nulo. Como o torque resultante agindo sobre o sistema é igual à taxa temporal de variação do momento angular do sistema, escrevemos, matematicamente,

$$\sum \vec{\tau}_{ext} = \frac{d\vec{L}_{tot}}{dt} = 0.$$

Então, $\vec{L}_{tot} = \text{constante} \rightarrow \vec{L}_{tot i} = \vec{L}_{tot f}$. O torque $\vec{\tau}$ é definido como

$$\vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt},$$

em que $\frac{d\vec{L}}{dt}$ é a derivada da quantidade de movimento angular em função do tempo. Também pode ser escrito como $\vec{\tau} = \vec{F} \times \hat{r}$, em que \vec{F} é força exercida e \hat{r} é o raio do braço de força.

homogeneidade estabelece a dinâmica apresentada por Newton, em suas leis, na regência dos movimentos translacionais. Segundo Menezes (2005), a gravitação, proposta por Newton, “estabelece a perda local da homogeneidade do espaço terrestre” (p. 39). Trata-se de uma assimetria do espaço terrestre, uma quebra da homogeneidade, que “promove uma aceleração, em direção ao centro da Terra, de qualquer objeto solto na periferia do planeta” (*idem, ibidem*, p. 40).

Sendo assim, é o movimento da matéria que revela a simetria do espaço (MENEZES, 2005). O espaço puro concebido por Newton, sem a interação de quebras de simetria como a gravitação ou a atuação de forças externas ao sistema, é homogêneo, o que implica na conservação do estado de movimento de qualquer corpo: “isso significa a permanência em repouso do que estiver em repouso, ou a manutenção da direção e do valor da velocidade do que estiver se movendo” (p. 41). Eis aqui a enunciação da primeira lei de Newton.

A aplicação de uma força externa pode causar a modificação do estado de movimento de um corpo material. A quantidade de movimento alterada possui um valor relativo que depende do observador. Isso significaria “uma alteração local da simetria do espaço em que se realiza aquele movimento” (*idem, ibidem*, p. 44). A atuação de uma força externa causa uma alteração local na simetria do espaço, e essa quebra de simetria espacial configura a segunda lei de Newton.

A terceira lei, por sua vez, nasce, também, da homogeneidade do espaço. Ela “implica, pois, a impossibilidade de se gerar movimento de translação em um único objeto, sendo inevitável gerar, em pelo menos dois objetos, movimentos opostos” (*idem, ibidem*, p. 43).

Em resumo, a homogeneidade é uma propriedade que revela, também, a simetria do espaço que estabelece a compreensão das leis de Newton no movimento translacional. A manutenção do estado de movimento de um objeto não submetido a forças é o que se denomina primeira lei de Newton. A quebra de simetria espacial, causada por um agente externo a um sistema, é denominada segunda lei de Newton, enquanto a equivalência de forças recíprocas das partes de um sistema é denominada terceira lei de Newton (*idem, ibidem*).

No que se refere à isotropia, o espaço vazio newtoniano não tem direções privilegiadas, ou seja, todas são equivalentes. Podemos compreender essa equivalência das direções como a visão de Lucrécio defendida por Newton em sua filosofia, de que não existe um centro no universo nem tampouco um lugar mais baixo (MCGUIRE; RATTANSI, 1966). O exemplo da gravitação terrestre pode ser interpretado como uma quebra, também, da isotropia. Na superfície terrestre, por exemplo, temos uma direção privilegiada. Basta soltarmos algum objeto para comprovarmos. Essa nova simetria, no entanto, está mais diretamente associada ao movimento rotacional ou angular⁷.

⁷ Assim como escrevemos $\vec{p} = m\vec{v}$ para a translação, podemos escrever a expressão algébrica para a quantidade de movimento angular, \vec{L} , como $\vec{L} = I\vec{\omega}$, ou seja, o produto entre a velocidade angular $\vec{\omega}$ e o momento de inércia

A manutenção do movimento rotacional quer dizer que, “salvo se sujeito a um torque, algo que não esteja girando não tem porque começar a girar, assim como, nas mesmas condições, o que já está girando mantém-se assim” (MENEZES, 2005, p. 46). Vemos, novamente, outra propriedade simétrica enunciando uma interpretação da primeira lei de Newton da rotação.

A aplicação de um torque externo “altera reciprocamente a quantidade de movimento angular em objetos sob interação, expressa uma anisotropia local, ou seja, uma quebra local de simetria angular, rotacional” (*idem, ibidem*, p. 47 e 48). A quebra local dessa simetria, causada por um agente externo, configura a segunda lei de Newton da rotação. Por isso, para abrir uma porta com mais facilidade, aplica-se a força bem distante do eixo e em direção perpendicular ao plano da porta, para tornar seu torque mais efetivo (*idem, ibidem*).

Assim como no movimento translacional, a existência da simetria exige que o movimento rotacional não pode acontecer de forma unitária. Assim, “a isotropia do espaço implica a impossibilidade de se gerar movimento de rotação em um único objeto, sendo inevitável gerar, em pelo menos dois objetos, rotações opostas” (*idem, ibidem*, p. 47). Essa é uma interpretação da terceira lei de Newton da rotação.

Como Menezes (2005) ressalta, “a convicção na existência das simetrias do espaço corresponde a se acreditar que, por debaixo das deformações ou perturbações locais [...] existe sempre, imperturbável, o espaço infinito, homogêneo e isotrópico” (p. 51). Notamos que a conclusão pessoal do autor caminha ao encontro da formulação de espaço estabelecida por Newton, posto que as concepções de estética e simetria possivelmente estiveram presentes nas concepções newtonianas iniciais (PIRES; SILVA; FORATO, 2017). Numa perspectiva mais metafísica, Menezes (2005) cogita a possibilidade de que “essa entidade eterna e ilimitada seria, talvez, o que Newton denominou “o sensorio de Deus”, cuja existência seria independente da presença eventual de matéria ou campo” (p. 51, aspas no original).

III. Como pesquisamos

Para atingirmos nosso objetivo, primeiramente estudamos como eram compreendidos os conceitos de estética e de simetria na antiguidade. Após essa pesquisa sem grandes resultados, concentramo-nos no estudo da obra de Menezes (2005; 2011), que dedicou grande empenho ao estudo do tema. Foi a partir da obra desse autor, juntamente com pressupostos da filosofia newtoniana, que estabelecemos critérios para propormos uma nova abordagem em uma disciplina de física do ciclo básico de um curso de licenciatura em ciências, pautada na estética e simetria dos fenômenos físicos, a fim de contribuirmos com o objetivo do docente

I. Como $I = mr^2$ (o produto entre a massa m e o raio r ao quadrado), podemos escrever, também, $\vec{L} = m \vec{\omega} r^2$, ainda, fazendo

$\vec{\omega} = \frac{\vec{v}}{r}$, podemos escrever a quantidade de movimento angular como

$\vec{L} = m \vec{v} r$, em que \vec{v} é a velocidade tangencial do movimento.

daquela disciplina e, além disso, de respondermos ao objetivo da nossa pesquisa: compreendermos quais seriam as concepções de estética e simetria que estavam presentes naqueles estudantes quando defrontados com situações similares àquelas vividas por físicos no momento em que os conceitos seriam ensinados.

Assim, desenvolvemos uma proposta para a sala de aula, numa perspectiva freireana, em que buscamos caminhos para promover uma participação ativa dos alunos/licenciandos no seu processo de aprendizado (MOREIRA, 2013) – evitando, por exemplo, apresentar soluções prontas ou estratégias pontuais que reduzem o ensino ao método e reconhecendo a pertinência das didáticas específicas das ciências. Seguimos uma sequência didática estabelecida pela ementa institucional do curso, com abordagem da conservação da quantidade de movimento e das leis de Newton, dando ênfase na percepção e construção dos conceitos relacionados à estética e à simetria.

A partir de uma visão idealista (LUDWIG, 2014), optamos pelo uso de uma pesquisa qualitativa em educação (LÜDKE; ANDRÉ, 1986).

A pesquisa qualitativa em educação configura-se por cinco características básicas, segundo Lüdke e André (1986): i) “tem o ambiente natural como sua fonte de coleta de dados e o pesquisador como o seu principal instrumento” (p. 11); ii) “os dados coletados são predominantemente descritivos” (p. 12); iii) “a preocupação com o processo é muito maior do que com o produto” (p. 12); iv) “significado que as pessoas dão às coisas e à sua vida são focos de atenção especial pelo pesquisador” (p. 12); e v) “a análise dos dados tende a seguir um processo indutivo” (p. 13).

Adotamos a pesquisa qualitativa em educação com elementos fenomenológicos, em que o pesquisador exerce um papel duplo: subjetivo (de participante) e objetivo (de pesquisador); (LÜDKE; ANDRÉ, 1986). Entre as possibilidades desse tipo de pesquisa, optamos por aquela que considera o cotidiano escolar como marco teórico (ANDRÉ, 2006).

Segundo André (1995), para que se possa apreender o dinamismo do cotidiano escolar, é essencial estudá-lo em, pelo menos, três dimensões, apresentadas a seguir:

1. Dimensão institucional ou organizacional, que envolve aspectos do contexto da prática escolar: formas de organização do trabalho pedagógico, estrutura de poder dentro da instituição, disponibilidade de recursos e materiais, em suma, toda a rede de relações que forma e transforma a vida escolar. Reconhecer a organização institucional é decisivo, pois ela afeta diretamente a configuração de ensino na sala de aula.

No caso desta pesquisa, é importante esclarecer que foi realizada no *campus* Diadema da Universidade Federal de São Paulo – relativamente novo, em uma cidade da periferia da região metropolitana de São Paulo que enfrenta diversos desafios inerentes à conjuntura atual: lentidão nas obras para sua consolidação, falta de identidade oriunda dos diferentes grupos que o compõem (os quais vieram de instituições consolidadas), dificuldades em lidar com o novo perfil de estudantes que ingressam no ensino superior – muitos dos quais

são os primeiros da família a cursarem o ensino superior –, o desafio da instituição em ter que construir e estabelecer relações com a cidade e a comunidade local, dentre outras.

Considerado inovador, o curso em que a disciplina foi ministrada busca a ruptura com os modelos disciplinares tradicionalmente rígidos e visa fortalecer a formação de professores de ciências havendo, inclusive, disciplinas ministradas com o apoio da integração de diferentes conhecimentos oriundos das cinco áreas que compõem o curso (física, química, biologia, matemática e humanidades). Assim, ele busca formar professores que poderão atuar na educação básica, tanto no ensino fundamental II (ciências ou matemática) quanto no ensino médio (física, química, biologia ou matemática), mas com maior inter-relação entre as áreas.

Entre os maiores desafios do curso estão: a redução de seu elevado índice de evasão (em torno de 50%); o tempo de duração do curso (os estudantes, em geral, não o concluem no tempo previsto); a manifesta dificuldade dos estudantes em acompanhar os conteúdos trabalhados, sobretudo nos primeiros anos; o de construir uma disciplina de estudos para efetuarem as horas de estudo (pesquisas indicam que os mesmos não possuem hábitos de estudo); e o elevado grau de vulnerabilidade dos seus estudantes (em torno de 40% dos auxílios permanências do *campus* vão para estudantes da licenciatura; RANGEL *et al.*, 2015b). Pesquisas específicas sobre o curso apresentadas pelo Projeto Zero (RANGEL *et al.*, 2019) também revelam grande dificuldade dos estudantes em acompanharem a cultura acadêmica, que é considerada bastante diferente daquela que trazem consigo quando adentram à universidade.

Por outro lado, os egressos, em sua maioria, saem empregados ou cursando uma pós-graduação e têm bom reconhecimento profissional (segundo avaliação de egresso registrada pela coordenação de curso). Há, também, registros de elevada participação dos estudantes em atividades acadêmicas ao longo de sua trajetória acadêmica (monitorias, iniciação científica, atividades de extensão, coletivos etc.; RANGEL *et al.*, 2015a).

Nossa pesquisa foi efetuada em duas turmas (vespertino e noturno) de uma unidade curricular de física básica do segundo semestre de 2017. Essas turmas já haviam cursado uma disciplina de física básica no primeiro semestre, havendo considerável índice de reprovação nas mesmas em edições anteriores. Segundo dados obtidos pelo docente que ministrou essa disciplina para essas duas turmas, havia 24 discentes oficialmente matriculados no vespertino, sendo 18 efetivamente frequentes, enquanto no noturno havia 24 oficialmente matriculados, com 19 efetivamente frequentes.

De acordo com questionário respondido pelos estudantes no começo da unidade curricular (UC), 40% dos estudantes do vespertino cursaram escolas privadas na educação básica, 20% cursaram escolas técnicas públicas e o restante (40%) cursou escola pública regular. A média de idade dos estudantes era de 18,3 anos, havendo um estudante de 60 anos na turma. Apenas quatro estudantes trabalhavam na ocasião. Perguntados como era a sua relação com a física, a grande maioria afirmou ter interesse e que estava disposta a aprendê-la, mas que tinha dificuldades. Apenas dois estudantes manifestaram interesse em fazer da física

a sua primeira opção quando chegasse o momento de fazerem a escolha pela trajetória específica (a partir do quinto semestre, os estudantes do curso escolhem se querem licenciarem-se em ciências-física, ciências-biologia, ciências-química e ciências-matemática).

No caso dos estudantes do noturno, 68% cursaram escola pública na educação básica, 25% fizeram escolas técnicas públicas e 11% apenas eram oriundos de escolas básicas privadas. A maioria dos estudantes dessa turma tinha função remunerada na ocasião (52%), enquanto os demais estavam desempregados ou não queriam exercer função remunerada durante aquele momento. A média de idade dos estudantes era de 21,3 anos, havendo 21% de estudantes com idade superior a 25 anos, sendo que 26% já haviam cursado outra universidade. Quando perguntados sobre a sua relação com a física, não houve consideráveis diferenças em relação à turma do vespertino, salvo um aumento de queixas em relação à qualidade do ensino de física que tiveram na educação básica.

Ao final do semestre, foram aprovados 72% e 73% dos estudantes do vespertino e do noturno, respectivamente – número bem superior ao do ano anterior (31% e 52% para os períodos vespertino e noturno, respectivamente), ainda que a UC tenha sido ministrada pelo mesmo professor. Cabe ressaltar que o professor responsável pela disciplina cogitou deixar de ministrá-la em virtude do mau resultado da turma anterior – o pior desde que ministra a disciplina em sete anos consecutivos⁸. Convenceu-se a mudar de opinião a partir do momento que se dispôs a mudar o formato de ministrá-la. Uma das estratégias foi radicalizar no foco da questão da estética e da simetria desde o começo da disciplina. Vem daí o convite feito pelo docente dessa disciplina para que o autor desse trabalho participasse na elaboração desse novo formato, resultando na pesquisa ora apresentada.

2. Dimensão instrucional ou pedagógica, concernente às relações de ensino dentro do tripé professor-aluno-conhecimento. Nessa dimensão, estão envolvidos os objetivos e conteúdos de ensino, os materiais e atividades, a linguagem e outros meios de comunicação e a avaliação do ensino e da aprendizagem. Pressupõe-se, nesse encontro pedagógico, tanto a apropriação ativa do aluno por meio da mediação do professor quanto o processo de interação no qual entram componentes afetivos, éticos, morais, políticos, cognitivos, sociais etc. É preciso que se compreenda a complexidade de cada indivíduo perante a sala de aula, sejam as condições cognitivas, econômicas e de imaginário dos alunos; as condições de vida, trabalho, concepções, expectativas e valores do professor; ou ainda as forças institucionais e estruturas administrativas do ambiente em que ocorre o processo de ensino-aprendizagem.

Coerentemente com a metodologia escolhida ao longo deste trabalho, apresentaremos a seguir os métodos escolhidos pelo pesquisador.

⁸ Salientamos que não cabe enumerar as razões para o insucesso específico na edição da UC daquele ano e nem queremos valorizar em demasia o papel do uso da estética e da simetria nesse caso. Na turma anterior, por exemplo, no período da tarde, houve um mau rendimento em todas as disciplinas naquele semestre, sendo necessário, em alguns momentos, intervenções coletivas dos professores sobre aquela turma – o que nunca havia acontecido anteriormente. Sabemos que as singularidades, as relações entre as turmas, os critérios de avaliação, as abordagens de conteúdos etc. contribuem, também, para a obtenção de uma ou outra situação.

1. Observação controlada e sistemática, ou seja, determinar ‘o quê’ e ‘o como’ observar (LÜDKE; ANDRÉ, 1986, p. 43);
2. Uso de diário de bordo (PALCHA, 2015) como registro descritivo do pesquisador;
3. Gravação de áudios e transcrição das aulas (CARVALHO, 2004);
4. Aplicação de questionário e produção de textos. Nesse quesito, fizemos três atividades que retornaram dados importantes: i) a primeira consistiu em um teste que buscava identificar concepções espontâneas, a fim compreender visões estéticas em torno de categorias como a ortogonalidade na visão tridimensional, a necessidade de agente externo para haver uma quebra da simetria do movimento, a inexistência de direções privilegiadas em um espaço ideal e o papel do sistema de referências e da existência de campos como agentes que quebram a simetria do espaço; ii) a segunda atividade consistiu em um questionário com sete questões, que poderiam ser respondidas individualmente ou em grupo; iii) a terceira atividade também consistiu em um questionário, dessa vez menor, aplicado juntamente com a primeira avaliação de conteúdo da disciplina.

Da leitura das produções textuais e dos diários, da análise dos áudios e das observações efetuadas em reuniões, desenvolvemos categorizações, baseadas na análise de conteúdo – interpretações e inferências – de Bardin (2011).

3. Dimensão sociopolítica/cultural, em que se consideram os determinantes macroestruturais da prática educativa, como a reflexão sobre o momento histórico, as forças políticas e sociais, e as concepções e os valores presentes na sociedade. A pesquisa se deu em um momento de dificuldades institucionais resultantes dos cortes orçamentários, pelo Governo Federal. Nesse contexto, e também considerando-se as dificuldades no quadro de vulnerabilidade acadêmica e evasão (RANGEL *et al.* 2015a; RANGEL *et al.* 2019), o ano de 2016 configurou-se como um ano atípico, com um alto quadro de reprovação em algumas disciplinas do curso de Ciências, sobretudo nas físicas básicas, objeto dessa pesquisa. A fim de buscar possibilidades que contribuíssem com o contorno desse quadro e que estimulassem os professores em formação, surgiu a necessidade de alterar a abordagem didática de uma disciplina de física básica durante o ano de 2017.

Apesar de distintas entre si, as dimensões supracitadas não se separam totalmente, de forma que possuem elos e se sobrepõem em alguns aspectos.

IV. Análise dos dados

Aqui, apresentaremos as análises e discussões dos dados colhidos ao longo da pesquisa, a fim de alcançarmos o nosso objetivo principal, que é o de compreender como os elementos de estética e simetria aparecem quando os licenciandos são defrontados com o ensino das leis de Newton. Enfatizaremos os exemplos de respostas, por escolha do pesquisador, a partir dos dados obtidos por meio das produções textuais, de forma que as

gravações das aulas e anotações em diário de bordo foram utilizadas como ferramentas de triangulação e validação das inferências.

V. Elementos de estética e simetria que aparecem na concepção dos professores em formação inicial

Segundo Henry e Moscovici (1968), “tudo o que é dito ou escrito é suscetível de ser submetido a uma análise de conteúdo” (*apud* BARDIN, 2011, p. 38). Usaremos, assim, esse método para análise qualitativa nas produções textuais dos participantes, de caráter subjetivo, baseada na derivação de significados e na verificação intuitiva de hipóteses, levando em consideração, por exemplo, a presença ou a ausência de uma característica de conteúdo ou de um conjunto de características num determinado fragmento de mensagem.

Em nossas análises, consideraremos que o fundamental não é aquilo que a mensagem diz à primeira vista, mas o que ela veicula, dados o seu contexto e as suas circunstâncias, a fim de buscarmos compreender para além de seus significados imediatos. Dessa forma, ressaltamos que em nossas análises e resultados não estamos avaliando o que os participantes aprenderam (posto que a avaliação de aprendizagem foi um dos objetivos da disciplina acompanhada, e não da pesquisa), mas o quanto há de percepção de estética e simetria nas produções textuais e nas falas deles durante as aulas.

Nessa etapa de análise, foram utilizadas cinco fontes de dados: i) duas produções textuais, feitas como atividades de sala, ao longo das aulas, portanto, podendo contar com diálogos entre os participantes, o pesquisador e o professor da disciplina, denominado professor doutor; ii) uma produção avaliativa, feita após as intervenções do pesquisador com a abordagem de estética e simetria, a qual os participantes não puderam interagir com o pesquisador e o professor doutor; iii) gravações das aulas durante a abordagem, com alguns trechos transcritos, em que há o registro de falas das exposições e intervenções dos participantes, do pesquisador e do professor doutor; iv) além do uso de trechos do diário de bordo, com as descrições e impressões do pesquisador, escrito após a implementação de cada aula.

Assim, após a leitura prévia das produções textuais e com o apoio dos registros em diários de bordo e da análise dos áudios gravados em aula, propusemos uma categorização, baseada na análise de conteúdo. A categorização foi criada a partir de cinco perguntas feitas pelo pesquisador acerca dos resultados.

01. Como são identificados os agentes que quebram as simetrias locais do espaço?

Investigaremos, nessa primeira categoria, como os licenciandos compreenderam a atuação de agentes externos – como a quebra local de simetrias do espaço – à medida que as aulas aconteciam. A hipótese inicial era de que eles percebem a necessidade de algo que cause mudanças no movimento, ainda que nem sempre reconheçam ou identifiquem esses

elementos de forma clara. O ponto inicial dessa análise foi inferir quais elementos eram atribuídos à quebra de simetria. Entre as concepções de elementos que quebram as simetrias do espaço, os dois mais citados foram a ação de campos, como o gravitacional ou o eletromagnético, e a adoção ou a existência de um sistema de referências.

Em relação à existência de campos, destacamos dois recortes. O primeiro foi retirado das produções avaliativas e o segundo foi obtido das produções textuais, feitas em sala. Todos os grifos são nossos.

Discente 28: “[...] **Um campo gravitacional**, por sua vez, estabelece a perda local da homogeneidade, ou seja, **causa uma assimetria**”;

Discente 31: “[...] Um recipiente próximo a um ímã, por exemplo, sofre as propriedades de **campo eletromagnético**. Adicionando **um objeto** que seja **atraído por um ímã**, vemos **reações diferentes, atração numa direção**”.

Vemos, em ambos os exemplos, que a existência de campos foi associada à perda local de simetrias, seja a homogeneidade ou a isotropia (com o privilégio de uma direção de atração). Recortamos, a seguir, mais dois exemplos das produções textuais de como a existência de sistemas de referências foi associada à quebra de simetrias.

Discente 05: “Sim, porque a homogeneidade significa que todos os pedacinhos do espaço são iguais e ao submeter o espaço a um sistema de referências, **estamos diferenciando os pontos, quantificando e localizando diferentemente**”.

Discente 06: “Sim [há quebra da homogeneidade], pois **o sistema de referência é adotado de formas diferentes** de pessoa para pessoa, de local para local, de tempo para tempo etc. e ele **cria diferença entre pontos**. Não [há quebra da isotropia], pois somente **adotando sistema de referência, não se criam direções privilegiadas**, pois ele não cria nenhuma força atrativa [ou repulsiva]”.

Destacaram-se, aqui, ao longo de cada aula, nos diálogos entre o professor e a turma, o essencial papel do sistema de referências na quebra de uma das simetrias espaciais, a homogeneidade – ao permitir expressar numericamente diferentes posições dos corpos – sem que haja a quebra da isotropia. O argumento recorrente expresso pelos discentes era o de que, ao mudar ou adotar um referencial, mudam-se os valores matemáticos, como as coordenadas do vetor posição, atribuídos aos pontos e, conseqüentemente, mudam-se os cálculos nas análises físicas.

Outro elemento que recebeu bastante destaque entre as concepções apresentadas foi a atuação de força como elemento que quebra a simetria do movimento, como nos exemplos abaixo, retirados das produções textuais.

Discente 11: “**A força** é um exemplo [de causa de assimetria], pois **quebra localmente a simetria** quando está presente”.

Discente 19: “[Há assimetria] quando há a **atuação de forças externas**, que representam uma **quebra local da simetria**”.

Discente 02: “A **força gravitacional** é um exemplo de **quebra de simetria**, uma vez que o objeto ao ser solto a partir de uma altura tende a manter uma **orientação privilegiada**, nesse caso, o centro da Terra”.

Destacou-se, nos três exemplos, a associação da presença de forças com a quebra local de simetrias, como o estabelecimento de uma orientação privilegiada do movimento. Há o destaque dado pelo estudante 19, acerca da necessidade de atuação de uma força externa.

Abaixo, o quadro 01 apresenta quais elementos foram citados e com qual frequência essas citações apareceram nas produções textuais analisadas.

Quadro 01 – Agentes que quebram as simetrias locais do espaço (resultados obtidos já ao longo das aulas).

Concepções apresentadas	Frequência	Exemplos de respostas
Ação de campos físicos, como o gravitacional ou o eletromagnético.	33	26: “[existência de] um campo gravitacional, que estabelece sentido e direção, quebrando a homogeneidade”.
Adoção ou existência de um sistema de referências.	33	01: “Um sistema de referências quebra a simetria do espaço homogêneo, porque diferencia os pontos do espaço [...]”.
Atuação de forças.	20	19: “A força gravitacional é um exemplo de quebra de simetria, uma vez que o objeto, ao ser solto a partir de uma altura, tende a manter uma orientação privilegiada, nesse caso, o centro da Terra [...]”.
Irreversibilidade do tempo.	07	16: “[...] outro exemplo de assimetria se trata da irreversibilidade do tempo [...] que impede a volta ao passado”.
Existência de planos verticais.	04	04: “[...] a existência de planos verticais, porque eles quebram a equivalência dos pontos por causa da gravidade”.
Energia randômica.	02	18: “[existência de] energia randômica, onde há quebra de simetria, pois não há conservação do movimento”.
Imposição de um ponto privilegiado.	01	21: “Quando existe um ponto privilegiado, isso acarreta em uma assimetria, pois quebra a homogeneidade do espaço”.
Presença de buraco negro.	01	24: “[...] há coisas que quebram a simetria do espaço, como buracos negros, que quebram a simetria do espaço e do tempo em seu centro”.

Posto assim, após nossa abordagem, inferimos que há indícios da compreensão de um espaço que, em termos ideais, é simétrico (homogêneo e isotrópico) e que há a identificação de elementos que quebram localmente essas simetrias. Percebemos, a partir desse quadro – e à medida que as aulas avançavam –, uma maior incorporação de ideias abstratas em relação às análises das concepções prévias feitas no início da disciplina (as quais não cabem descrevê-las neste artigo), ainda que não tenhamos mecanismos que possibilitem medir o quanto essa incorporação aumentou comparativamente ao que se manifestou nos exercícios prévios. Houve, todavia, um aparente aumento da compreensão da atuação dos campos físicos como agentes que quebram as simetrias do espaço, dada a frequência com que passaram a ser citados nesse contexto. Em relação ao sistema de referências, o professor mostrou-lhes o quanto, de fato, sua adoção se revelava como fundante da construção do pensamento físico – e que eles já pareciam concordar, desde que se deram conta de sua necessidade por ocasião das respostas que deram nos exercícios prévios.

02. A quebra da homogeneidade e da isotropia do espaço seria considerada normalidade ou a manutenção do movimento seria considerado ‘o normal’?

Nessa segunda categoria, intuíamos que teríamos a concepção da quebra da isotropia e do não reconhecimento da homogeneidade como a ‘normalidade’ para a caracterização do espaço. Isso por conta da atuação constante da gravidade na superfície da Terra, de forma que é comum vermos o movimento acontecendo em uma direção privilegiada, e da dificuldade de análise de sistemas físicos, em que dificilmente se percebe a equivalência dos diferentes pontos do espaço.

Num contexto de análise de uma constante quebra de isotropia configurando-se como a condição normal do espaço, os resultados pareceram saltar aos olhos, como exemplifica o recorte de um trecho das produções avaliativas.

Discente 34: “O fato de quando **soltarmos um lápis** no ar e ele ser [sic] puxado pela Terra. **A gravidade cria uma direção privilegiada** que faz com que a isotropia seja quebrada, e isso é o que **vemos o tempo todo**”.

A atuação da gravidade, todavia, é comumente condicionada à atuação apenas na vertical para baixo e não na direção do centro de massa. Essa é, possivelmente, uma condicionante causada a partir da limitação estética de como vemos e sentimos os efeitos gravitacionais apenas localmente e não no planeta como um todo.

Com a análise de interações dentro de sistemas ou entre sistemas, percebemos a dificuldade em reconhecerem os elementos e as interações ocorridas. Em um movimento de queda livre em nosso planeta, por exemplo, a grande maioria dos participantes não conseguiu identificar que os elementos participantes eram a pessoa em queda livre e o planeta Terra, e que a transferência do movimento que a Terra exercia sobre a pessoa era compensada pelo movimento que a pessoa exercia sobre a Terra, de forma que, atribuindo-se um sinal positivo

para um dos movimentos e um negativo para o outro, a somatória da quantidade de movimento seria zero, havendo, assim, conservação do movimento no sistema, o que significaria a manutenção da homogeneidade do espaço. Há, todavia, dificuldades de se pensar no princípio de conservação, de forma que, neste caso, não era necessária, para eles, a manutenção da homogeneidade, o que privilegiaria determinado movimento ou direção nas análises.

Enquanto, para Newton, homogeneidade e isotropia seriam a normalidade do espaço, para os participantes da pesquisa eram as quebras das mesmas que pareciam ser o normal. Assim, a sensação foi a de que o espaço homogêneo e isotrópico, de forma recorrente, causava estranhamento neles, ainda que houvesse uma tendência ao convencimento da existência de um espaço idealizado, conforme ilustra-se no trecho a seguir, retirado das produções avaliativas:

Discente 27: “Acredito que minha maneira de enxergar e compreender o mundo é muito diferente da estética científica. **A física não enxerga o mundo como ele realmente é para explicá-lo. Como imaginar os conceitos de homogeneidade e isotropia, sabendo que tudo gira em torno de mudanças e desestabilidades?** Estes conceitos entram em **conflito** com a visão de qualquer pessoa, **entretanto**, depois de entendê-los **é impossível não mudar as ideias iniciais**”.

O questionamento apresentado se mostra bastante interessante. Prigogine (1996), por exemplo, defende que essas mudanças e desestabilidades seriam a normalidade do universo, posto que este não seria regido por leis deterministas. Em outras palavras, esse autor considera inadequada a construção de uma física a partir dos princípios de conservações, pautados nas simetrias e em suas manutenções. Para ele, os fenômenos físicos carecem de novas concepções, pois nossa compreensão mundana, baseada na reprodução de um ideal por meio de leis, por vezes, deterministas, está sujeita também ao acaso. Nessa nova interpretação, a estética presente nas leis físicas corresponderia à compreensão de representações probabilistas irreduzíveis, o que poderia resultar na descrição física de um mundo bem diferente do que estamos acostumados. Questionamo-nos se não seria essa a concepção que mais se aproximaria da concepção dos participantes, ou seja, de que não há um espaço ideal, ao contrário do que Newton propôs para descrevê-lo.

Ainda assim, notamos uma constante tentativa de reflexão acerca das dificuldades de não se conceberem as simetrias espaciais, como ilustram esses dois trechos das produções textuais.

Discente 07: “A partir de um **sistema que não é homogêneo, não haverá uma conservação de movimento**, pois o **sistema estaria em constante mudança** em diferentes maneiras. A partir de um **sistema não isotrópico**, o **corpo** estaria sempre **atraído para uma direção privilegiada** e, já que ela é privilegiada, então **nunca haveria conservação de**

movimento, pois nunca haverá constância [...] Porém, **haveria conservação da quantidade de movimento através de uma compensação**, que nos daria essa conservação”.

Discente 09: “Se o espaço não fosse homogêneo, **não faria sentido falar sobre conservação** em um meio que está em constante mudança. Se houvesse **uma direção privilegiada**, estaria **associada** à ideia de que haveria uma **força externa atuando constantemente sobre o corpo** e, portanto, alterando a todo tempo a quantidade de movimento”.

Vemos, nesses recortes, a concordância de que, para que haja leis de conservação, o espaço deve ser, necessariamente, homogêneo e isotrópico, tendo suas simetrias reveladas pela interpretação humana do movimento da matéria, incluindo suas perfeições estéticas, suas idealizações e o quanto a realidade observada não era exatamente condizente com o idealizado.

Essas concordâncias, no entanto, nos pareceram bastante frágeis, ainda sem muita convicção ou incorporação das ideias científicas. Os participantes, aparentemente, colocaram os conceitos apresentados pelo pesquisador e pelo professor doutor como provenientes de figuras de autoridades durante as aulas, porém, em diversos momentos, algumas incertezas se revelavam, conforme sugere um trecho retirado do diário de bordo:

Pesquisador: “Ao final da aula, durante a roda de **conversa informal**, destaco a fala de uma aluna que afirmou que **não estava confiando muito no formato apresentado ‘com essas coisas de simetria’**, mas que, ao final, revelou **‘depois de entender os fundamentos, tudo faz sentido’**”.

03. Como os participantes entendem a necessidade de simplificações e idealizações estéticas?

Essa categoria nasceu da convicção de que os discentes fariam simplificações e idealizações estéticas de forma espontânea, como o uso intuitivo de retas, estimativas e necessidades de atribuir definições ou de darem sentido aos fenômenos, em busca de possíveis compreensões físicas. Um exemplo cabal disso foi a adoção da reta como trajetória preferida para os movimentos, pois é a maneira mais simples para os quantificar, como exemplificado num trecho transcrito das gravações de aula:

Discente 42: “Pense em um **sistema universal** [...] **uma reta**, é um sistema universal que conseguiria adentrar todos os seres [para descrever movimentos]”.

Durante as atividades propostas em sala, foi solicitado, em forma de problema aberto, que os participantes descrevessem a trajetória e a quantidade de movimento de um mosquito, o qual sairia de um determinado ponto da sala até chegar em outro (início e fim determinados pelo professor doutor e diferentes para cada grupo de estudantes). Apresentaremos o recorte de duas análises, transcritas a partir da gravação das aulas. Na

primeira, um grupo de estudantes fez a escolha pelo uso de retas para descrever a trajetória do mosquito. No segundo grupo, houve a tentativa de descrever a trajetória sem considerá-la como uma reta:

Discente 01: “Nosso referencial foi o canto superior [aponta para um dos cantos da sala]. Só que, primeiramente, o que a gente fez foi listar alguns componentes que poderiam interferir no movimento, como, por exemplo, a massa, a velocidade, a distância percorrida, essas coisas... Logo em seguida, **a gente pensou na trajetória mais provável, e o que veio à cabeça foi uma reta** também [em referência ao grupo anterior]. A gente pensou em montar **uma reta** porque **seria mais fácil de trabalhar** e a gente poderia representar graficamente, também. Só que, até aí, a gente não tinha um referencial. Aí, **depois que vocês deram o referencial** [cada grupo recebeu do professor um ponto da sala para serem seu sistema de referência], a gente **começou a pensar no sentido do movimento** e tudo mais. Então, **estabelecemos alguns eixos** e, a partir daí, **foram surgindo vetores em relação a esses eixos**, por exemplo, o mosquito estava ali [aponta uma direção] em relação a esse eixo e tinha um vetor. Depois disso, nós tomamos esses vetores, e a soma desses vetores seriam a trajetória...”

Agora, segue a segunda análise:

Pesquisador: “Teve uma fala do [discente 11] no momento [da execução da atividade] que eu achei bem interessante, né, porque eles pensavam **quais caminhos o mosquito podia fazer e começaram [com] alguns caminhos muito complexos**, né? E, de repente alguém **“ah, é uma reta!”**. E, por que a reta? E aí o que eles me disseram **“ah, porque é simples. Tem que ser simples! A física não iria pensar em alguma coisa tão complexa assim, que ninguém pudesse entender”**. Então, tem que ser simples para poder ter eficiência, senão o conceito não vai explicar muita coisa”.

Discente 11: “A gente iniciou pensando em um **movimento de onda**, oscilatório, ondulatório, por conta da batida da asa”.

Discente 12: “Da frequência, né?”

Discente 10: “[Inaudível] que o mosquito percorria, então sempre seria assim, meio ondulatório”.

Discente 11: “[...] Ele percorreria **uma distância maior do que uma simples reta**, porque a reta é a menor distância. Aí a gente viu que era **muito complicado**, que a gente ia entrar em outros conceitos [...] aí **adotamos uma reta, por ser mais simples mesmo**, como já haviam dito...”

Professor doutor: “**E essa busca da simplicidade**, gente, **é a física**, certo... A física é isso, sempre vai ser a coisa mais simples possível...”

A simplificação estética, por meio do uso de retas, mostrou-se bastante eficiente para a descrição do movimento. Com isso, os professores em formação puderam perceber o quanto a física cria modelos mais factíveis para descrever a realidade.

Outro mecanismo de idealização bastante eficiente está na proposição de atribuírem definições que ofereçam vantagens estéticas para a compreensão de determinado fenômeno. Um bom exemplo é a dificuldade de se quantificar o movimento sem antes definir a massa. O recorte abaixo foi retirado de outro trecho das gravações da mesma aula:

Pesquisador: “[Eles disseram que] **massa é uma medida**, um valor que se consegue quando se põe algo numa balança. **Por que** esse negócio, que quando se põe na balança e te dá um valor, **é importante para quantificar movimento?**”

Discente 05: “Nós discutimos e chegamos em uma resposta brilhante que é: **a massa é relevante** porque a **quantidade de movimento depende da massa** e a **inércia também** depende da massa [gesticula apontando pra equação da quantidade de movimento]”.

Pesquisador: “É legal isso porque **a gente tenta definir** o que é a massa, e a gente dá um monte de voltas e chega aonde? Que **a massa é a massa...** E a gente dá volta de novo porque precisa da massa, tem a massa ali e a gente **não consegue dizer o que ela é**”.

Discente 05: “A gente tentou **vincular a massa à inércia**”.

A massa, segundo as definições newtonianas, seria uma medida que estabeleceria a dificuldade de modificar a quantidade de movimento. Essa concepção, vale ressaltar, foi apresentada como uma definição do próprio Newton (COHEN e WESTFALL, 2002), sem a necessidade de sua demonstração. Assim, nós naturalizamos uma concepção que poderia ser classificada como subjetiva porque não conseguimos dizer o que ela é, de fato, sem recorrermos à ideia ontológica de que ela é uma propriedade intrínseca dos corpos.

Outro fator importante dentro das definições é a de que o referencial deve ser dado por um ponto e não por um plano. Daí o fato de ser importante toda a quantidade de massa estar concentrada no centro de massa, como propôs Newton. Posto que o plano é um conjunto de infinitos pontos e já pode possuir um formato estabelecido, a sua utilização causaria desvantagens estéticas para as descrições físicas. Nessas condições, a transcrição de outro trecho da aula se mostra conclusiva:

Discente 40: “[O referencial dado por um plano] já **altera todo o referencial**”.

Quando se define o referencial como um ponto, todavia, há vantagens estéticas: há a liberdade para escolha do formato e da posição do referencial. Vamos exemplificar: a partir da escolha de um ponto, podemos desenvolver eixos simétricos e criar um sistema de referências, que é construído a partir de escolhas humanas. Pensando em duas possibilidades de trajetórias, uma em linha reta (deslocamento) e outra curva (distância percorrida), mas que saem e chegam ao mesmo lugar, estaremos nomeando diferentes situações do espaço. Mais do

que isso, daremos atributos e propriedades físicas ao espaço, as quais poderemos diferenciar com precisão matemática. Tudo a partir das vantagens estéticas do sistema de referências.

O plano de referência cria a física newtoniana. Sem ele, não há física, porque, por meio dele, conseguimos qualificar o espaço, proporcionando-lhe diferentes propriedades, com diferentes denominações (posições, deslocamentos, velocidades, quantidade de movimento, forças etc.). Se não se escolhe o referencial em formato de cubo, no entanto, como seria a descrição da gravidade para baixo? Ficaria complicado, porque imporia a necessidade de ângulos, por exemplo, para poder qualificar a gravidade tal qual a conhecemos. Em vez de ter o efeito na direção da vertical para baixo, poderíamos ter componentes na vertical para baixo e mais um eixo com ângulo, o que deixaria mais complicado para caracterizá-la. Por isso, a idealização se mostra eficiente. Escolhe-se o cubo, sistema simétrico e tridimensional, representa-se a gravidade para baixo sem componentes em outros eixos. Se essa escolha não ocorresse, possivelmente as análises apresentariam problemas, principalmente do ponto de vista matemático e seriam perdidas as (convenientes) simplificações. Aliás, o próprio ferramental matemático é construído a partir dessas definições.

04. Quais seriam as dificuldades de se estabelecer o plano de referências em três dimensões e suas implicações?

Logo no início das intervenções, ao término da segunda entrada em sala de aula, um ponto crucial foi surgindo: a percepção da dificuldade que os discentes tinham em torno do estabelecimento do sistema de referências em três dimensões. Apesar da normalização e da imposição quanto ao seu formato, a representação da terceira dimensão era normalmente assimétrica em relação às demais. Seria uma limitação dos sentidos ou uma dificuldade de abstração?

Num dos diários de bordo, escrito após a aula com o problema aberto em torno da quantidade de movimento de um mosquito, o pesquisador levantava algumas questões iniciais feitas pelos estudantes:

Pesquisador: “Desde o começo, algumas questões foram surgindo: **por que o referencial é importante? Como desenhar** o sistema de referências? Por que tem que ter **um formato específico** (poderia ser curvo, por exemplo)? **Para onde aponta cada eixo? Quantas dimensões** devem ter?”

Construções ortogonais foram, normalmente, problemáticas. Houve momentos de dificuldade de visualização da terceira dimensão pelos participantes da atividade, sendo necessária a intervenção do pesquisador para demonstrações e exemplificações. Ainda assim, quando tinham que definir um sistema de coordenadas, escolhiam o sistema ortogonal. Todavia, a utilização efetiva e demonstração esquemática se davam, comumente, apenas em dois eixos: os alunos enxergavam a necessidade de representação em apenas dois eixos, com plano perpendicular (o terceiro eixo podia ser qualquer coisa ou simplesmente não existir

pois, aparentemente, não possuía função em uma análise inicial). Os dois eixos perpendiculares, simétricos, são necessários para se fazer as contas. O terceiro eixo, responsável pela tridimensionalidade, no entanto, só tem sua necessidade revelada depois de uma análise mais aprofundada. Nesse contexto, surgiram os questionamentos, como o trecho gravado em aula, transcrito abaixo:

Discente 17: “A gente tinha feito tudo e **não tinha considerado**, aí a [discente] falou ‘não, tem o eixo z’, e a gente pegou, foi lá na frente para tentar enxergar como era **adotando o eixo z**, [sic] a gente viu que **é tridimensional** e a gente teria que calcular assim”.

Discente 16: “Aí surgiu a discussão: **como eu represento** esse eixo z em um papel?”

Acreditamos ser uma dificuldade real ter que se representar a terceira dimensão em uma folha de papel com apenas duas dimensões. Mais do que isso, não é possível acreditar que um indivíduo em formação inicial já apresente a habilidade de abstração necessária para olhar e rapidamente compreender essa representação. Eis um resultado muito importante a ser considerado pelos professores que ministram aulas de física básica.

Muito provavelmente, essa dificuldade se dá por conta da limitação de um dos sentidos humanos: a visão é bidimensional; a terceira dimensão advém da memória e, portanto, exige abstração. Quando olhamos uma pessoa a uma determinada distância, como no fundo de uma sala, vemos-na em tamanho bem menor do que realmente ela tem. Nós, no entanto, sabemos que o tamanho dela não é aquele que detectamos com os nossos olhos. Conhecemos a terceira dimensão porque temos memória para saber que já fomos até o fundo da sala, por exemplo, e porque sabemos que as outras pessoas não são do tamanho dos nossos dedos. Em suma: nossos sentidos são limitados. Existe a terceira dimensão, mas os cinco sentidos não são capazes de compreendê-la em plenitude. O que nos dá a compreensão correta é a nossa memória (ainda que a memória venha, *a priori*, da experiência vivida a partir dos cinco sentidos). Mais uma vez, percebemos como a questão da estética e da simetria aparece muito intimamente relacionada aos nossos sentidos.

Há outras dificuldades de se fazerem construções físicas sem um sistema de referências tridimensional e com os eixos perpendiculares entre si, como ilustra outro trecho transcrito das gravações de aula, a seguir.

Professor doutor: “Bem no genérico, inclusive. Agora, tem um componente... desculpe atrapalhar, mas acho que tem um componente importante de vocês que foi o fato de que, **quando eles pensaram em um sistema de referências**, eles pensaram no sistema x, assim, nessa direção [aponta uma direção], e o y [aponta numa direção perpendicular], e **o terceiro sistema não seria perpendicular...**”

Discente 04: “Era o z...”

Professor doutor: “Era um... um eixo que viria daquele ponto, que era o sistema de referência deles, até o mosquito, não é isso? E aí **eles não estavam conseguindo sair do**

lugar, entende? Ao invés de eles criarem x, y e z [mostra a ortogonalidade dos eixos com a mão], eles criaram x, y e z, mas o z não era perpendicular... aí vocês conseguiram fazer alguma coisa com isso?”

Discente 01: “**Não, a gente não estava conseguindo porque não estava simétrico**, a gente não ia poder calcular. Aí, depois que **a gente colocou perpendicular**, que todos estavam a 90 graus, **teve uma simetria e a gente conseguiu seguir**”.

Professor doutor: “**É, percebem?** Não dá, não conseguem ficar, gente. Tenta, tenta colocar um eixo assim [mostra dois dedos perpendiculares entre si, e um terceiro dedos em direção oblíqua]. Não vai, não vai rolar [sic]. E aí, **para ter uma explicação para esse terceiro** eixo teria que ser uma outra... uma **outra física**, uma outra maneira de... esse eu acho que é o ponto mais importante porque aí, visivelmente, quando eles perceberam que **os três [eixos] tinham que ser perpendiculares**, aí acho que a coisa andou, né? Com medida de distância, velocidade e tudo mais”.

Discente 04: “Uhum [balançando a cabeça em sinal de afirmativo]”.

Com a reflexão acerca de um sistema de referências não ortogonal e as dificuldades advindas para a descrição do movimento, os próprios professores em formação concluíram a necessidade da existência da simetria entre os eixos.

Superadas as dificuldades em torno do eixo tridimensional, ou minimamente contornadas, podemos inferir a importância do sistema de referências, dadas as suas implicações estéticas, tanto de sua natureza essencialmente humana em termos de formato e posição, quanto de suas implicações para a construção do movimento e, generalizando, para a construção da própria física, como mostram dois recortes das produções textuais:

Discente 01: “A física descreve os fenômenos da natureza a partir de embasamento científico e linguagem matemática. **O referencial se trata da visão específica** para um caso dentro do sistema. **A natureza abrange diversos sistemas**, que dentro deles se expandem em diversos casos. Portanto, **a física só pode ser expressa através do referencial**”.

Discente 02: “Não pode haver física sem um sistema de referência. **As noções** de espaço, tempo e velocidade, assim como de peso e outras forças, **dependem** de características do espaço abrangido e **do referencial adotado**”.

Inferimos, a partir das respostas, que os discentes compreenderam a possibilidade da existência de diferentes referenciais para a descrição de mesmos fenômenos físicos, e que as noções que desenvolvemos desses fenômenos, tais como posições, velocidades ou forças, dependem do referencial adotado. Há, aqui, ao final das nossas atividades, indícios da compreensão da natureza essencialmente humana do sistema de referência, em termos de formato (do porquê de ser simétrico) e de suas implicações estéticas, como as imprecisões e relatividades resultantes das diferenças de referenciais adotados, que impregnam todo o estudo dos movimentos.

Apesar dessas compreensões, no entanto, é preciso salientar os alertas feitos aos professores em formação inicial pelos que ministram a disciplina no sentido de se aterem à dificuldade de ensinar aos seus alunos a importância e os conceitos estéticos que impregnam o referencial e toda a física construída a partir dele. Com o grau de abstração é alto, alertamos que o tema exige uma grande discussão antes de desenhar o sistema na lousa.

05. Quais elementos diferem a estética pessoal dos participantes de uma estética científica baseada na crença de simetrias?

Por fim, analisaremos, na última categoria, se a estética pessoal dos participantes difere ou não da estética científica apresentada durante a abordagem. Nosso pressuposto era de que o conflito entre as diferentes estéticas poderia apresentar um novo formato de se ver e entender os fenômenos físicos, sendo o tema um facilitador de aprendizagem.

As respostas abaixo foram retiradas das produções avaliativas, após o término da abordagem envolvendo estética e simetria, nas quais os estudantes deveriam responder a seguinte questão: ‘cada um de nós possui uma estética pessoal resultante da nossa cultura, dos nossos gostos, da nossa singularidade. Sabendo disso, responda: a sua estética pessoal, ou seja, a sua maneira de enxergar, compreender e explicar o mundo, é muito diferente da estética científica apresentada durante as discussões de aula?’. Posto assim, as respostas abaixo são de cunho pessoal dos participantes, sendo escritas sem a interação direta com o pesquisador ou o professor doutor.

Para melhor agrupar as respostas, as dividimos em três subcategorias: i) visão estética pessoal difere da estética científica abordada; ii) visão estética pessoal não difere da estética científica abordada; iii) não há certeza se a visão estética pessoal difere da estética científica abordada.

Por se tratarem de declarações de cunho pessoal, acreditamos que a reprodução configura um resultado bastante pertinente para os objetivos desse trabalho. Assim, apresentamos algumas respostas.

i) Visão estética pessoal difere da estética científica abordada

Discente 13: “É diferente, devido à falta de embasamento teórico que tenho devido à falta de professores e interesse na época de ensino médio, porém, vai ficando mais próximo da visão científica cada vez que me aprimoro”.

Discente 30: “Sim, porque, por exemplo, a gente não vê a gravidade agindo a olho nu, ou o tempo andando, mas tudo está lá. A física enxerga além dos olhos humanos. Por isso que nossa visão é tão diferente da física”.

Discente 38: “Sim, pois a visão científica, principalmente na física, adquire modos de analisar o mundo, como considerar que para calcular uma distância, a mesma deve ser

calculada em linha reta, mesmo sabendo que uma distância nunca será em linha reta, existem ‘n’ coisas entre o caminho”.

ii) Visão estética pessoal não difere da estética científica abordada

Discente 24: “Não, pois inconscientemente, mesmo com a cultura, procuramos simetrias, por exemplo: rostos simétricos são mais aceitáveis à sociedade”.

Discente 35: “A estética científica se assemelha à minha estética pessoal, porque considero necessário, por exemplo, a assimetria da introdução de um sistema de referências no espaço. É sempre necessário na minha vida, saber em relação ao que as coisas estão sendo postas, pois dependendo da situação, a referência muda toda a condução do acontecimento. Por outro lado, minha visão se diferencia da estética da física clássica, porque essa se mostra determinista e não busco certeza sobre as coisas”.

Discente 36: “Não é muito diferente, pois ao me comparar com as leis de Newton, posso afirmar que não possuo homogeneidade e simetria (como a segunda lei de Newton), pois tenho a liberdade de mudar de opinião, e de não ser sempre “igual/a mesma”. Além disso, essas modificações são resultantes de “forças externas” (que, no caso, seria o estudo e a busca pelo conhecimento)”.

iii) Não há certeza se a visão estética pessoal difere da estética científica abordada

Discente 15: “Não diria diferente, e sim não tão abrangente. A estética científica explica coisas que não era possível dominar até a aula”.

Discente 21: “Em parte. Muitos conceitos são difíceis de imaginar, mesmo que sejam cotidianos em nossas vidas, o motivo seja [sic] talvez porque não se dê a devida atenção ao mundo à nossa volta sob um aspecto como os abordados na física”.

Discente 23: “Primeiro: a nossa estética pessoal não consegue levar em conta todos os entes envolvidos (forças externas, visões de mundo, diferentes culturas, etc.), enquanto a estética científica trabalha com todos estes pontos que envolvem a ciência da natureza (quando não consegue, simplifica e reduz possíveis parâmetros ou dados para poder explicar um fenômeno).

Segundo: Existe algo em comum, na medida em que tal qual a estética científica, a estética pessoal é relativa e depende do “outro”. Semelhante à noção de forças externas para se terem movimentos”.

O quadro 02 mostra as concepções apresentadas e suas frequências.

Quadro 02 – Estética científica x estética pessoal.

Concepções apresentadas	Frequência
Visão estética pessoal difere da estética científica abordada	07
Visão estética pessoal não difere da estética científica abordada	16
Não há certeza se a visão estética pessoal difere da estética científica abordada	05
Inconclusivo ou não responderam	20

Inferimos que há o desejo por parte dos estudantes de incorporar a visão científica à sua própria visão estética, ainda que sem muita clareza do quanto não sabem; por isso é majoritária a resposta de que as suas visões pessoais não diferem das visões dos cientistas. Se faz necessário pensar em modelos de aula que permitam esse tipo de reflexão. Por fim, é importante justificar a grande quantidade de respostas inconclusivas ou mesmo a ausência de respostas: como as respostas foram retiradas das produções avaliativas, houve uma parcela de estudantes que não responderam a essa questão (10 participantes) e outra parcela que não realizaram a avaliação (10 participantes).

Com o intuito de finalizar as análises, questionamo-nos como os estudantes compreenderam a importância da abordagem com estética e simetria e qual a imagem que a física passou a ter para eles.

Para isso, buscamos compreender como os participantes entenderiam o papel da nossa abordagem na formação do pensamento newtoniano. Seria possível ensinar as leis de Newton, com maior profundidade, rompendo com a reprodução de um modelo tradicional e já naturalizado, em formato e conteúdo, sem que fossem considerados os aspectos estéticos e simétricos e explicitadas as escolhas humanas e arbitrárias que Newton adotou? Os recortes das produções textuais sugerem que não:

Discente 10: “Não é possível, porque **é preciso fundamentar o que originou a física clássica** e seus pensamentos que definem os conceitos que fundamentam as leis de Newton, **sem isso, o ensino é raso, baseado em acreditar no que é apresentado**, e não em fazer o aluno entender o fato”.

Discente 8: “Não, **as convenções são parte da física e necessárias para seu estudo e compreensão**. A idealização e simplificação dos fenômenos físicos são importantes para o nosso estudo. **Deixarmos de citá-las ao ensinar, é omitir fatos importantes**, propostos pelo próprio Newton no desenvolvimento de seus trabalhos [...] Quando **as leis** são passadas **sem esses conceitos**, elas **se tornam um exercício de memorização, não de compreensão**”.

Há indícios de compreensão quanto à necessidade de explicitarem as bases estéticas da física para um ensino mais profundo das leis de Newton, posto que, sem essas bases, o ensino tende a tornar-se sem sentido, no qual parece prevalecer a memorização em razão da compreensão do fenômeno, e a omissão das subjetividades para a definição de conceitos em

razão da discussão de definições prontas, já acabadas. Dessa forma, o ensino das leis de Newton pode tornar-se dogmático, prevalecendo um falso pragmatismo em vez de uma reflexão mais profunda que inclua uma compreensão das bases que as fundamentam.

Nesse sentido, explicitar essas bases pode contribuir para a compreensão de uma física como uma construção humana. Assim, propusemos a reflexão acerca dessa compreensão nas produções textuais, utilizando fragmentos da obra de Menezes (2005), com a seguinte questão: ‘o texto está de acordo com a proposição de que a Física é um produto da cultura humana e não da natureza?’. Os recortes, a seguir, sugerem maior abrangência do papel humano na construção dos conceitos físicos, das proposições de Newton ao papel da cultura humana:

Discente 03: “Sim, a física é na verdade **uma idealização humana na tentativa de compreender os eventos naturais**. Um exemplo disso se dá nas próprias proposições de **Isaac Newton** [...], onde ele **impõe necessidades fundamentais** para que **os estudos** que ele introduz **sejam possíveis**”.

Discente 04: “Sim, pois para falar de velocidade, movimento relativo e referenciais, **a cultura humana precisou criar medidas padrão**, definir o que essas coisas são, **definir as formas de analisar e descrever um fenômeno**, considerando referenciais que precisam ser **escolhidos pelo ser humano** em seu estudo. Todos esses elementos fazem parte da física e, conseqüentemente, da cultura humana que realiza os estudos que a constroem”.

VI. Sobre aprender as leis de Newton com essa abordagem

Pudemos, dessa forma, inferir que houve tendência ao desenvolvimento de uma maior reflexão acerca da necessidade de estabelecerem alguns conceitos subjetivos na física, como a definição newtoniana de massa como quantidade física inerente à natureza dos corpos materiais, que se mantém inalterada ao longo de todas as mudanças de movimento, por exemplo, para a descrição e generalização de outros conceitos. Notamos, também, que houve reflexão acerca do papel humano dentro da construção de conceitos e modelos físicos, conforme Quadros (1986), posto que a estética é inerente ao ser humano e atua diretamente em sua forma de sentir, interpretar e construir o mundo.

Por fim, encerrando nossas análises, buscamos entender qual era a imagem que a física passou a ter para os estudantes, conforme os recortes das produções textuais:

Discente 11: “Através de **perguntas e observação**, assim como Newton, entender **o processo de formação desses conceitos** facilita a forma de se aprender sobre como o mundo funciona, como tudo **se relaciona, de forma lógica e se baseia em como enxergamos os fenômenos**, definindo nossos referenciais e buscando explicá-los, **assim se faz ciência**”.

Discente 19: “A partir da **compreensão da epistemologia física**, é possível **relacionar as invenções sociais com a natureza**, o quão necessário é **a quantificação e**

conceptualização da percepção dos fenômenos [...] o estudo da natureza não seria possível sem antes a concepção humana do que os cerca, o universo”.

Discente 32: “**Os fenômenos físicos**, como os observados por Newton, **podem existir na natureza**. Porém, **para estudá-los e exemplificá-los** é imprescindível o uso de conceitos, **criado pelo homem”.**

Esse formato, proposto em nossa abordagem para a disciplina, pareceu trazer um resultado bastante positivo, pois indicou uma possível contribuição com o rompimento de uma aprendizagem mecânica, que pode pôr em dúvida os modelos físicos consagrados como verdades absolutas e trazer à tona a importância do fator humano dentro das teorias.

VII. Considerações finais

Este trabalho aponta que, embora não haja consenso sobre as concepções de estética e de simetria, sua importância na formulação dos princípios fundantes da física é inquestionável, haja vista a sua presença nos três princípios de conservação. No que tange às leis de Newton, a discussão de estética e de simetria é central para que sejam bem compreendidas, ainda que haja divergências sobre as concepções desses conceitos entre as diferentes épocas.

São numerosos os resultados obtidos acerca dessa concepção estética, de modo que destacaremos, neste momento, apenas alguns deles: i) os estudantes não têm como princípio fundamental o ideal de perfeição presente nas concepções de espaço por trás dos princípios de conservação. Eles naturalizam mais o que a física denomina de fator externo, que modifica essa perfeição, como a quebra constante das simetrias locais ocasionada pela ação da gravidade; ii) os estudantes precisaram atribuir propriedades físicas relacionadas a um pensamento concreto (gravidade, por exemplo) para poderem analisar fenômenos físicos que dependam de uma concepção acerca de um espaço ideal; iii) os estudantes apresentaram grandes dificuldades em relacionar sua visão estética inicial à ideia de um sistema de referência tridimensional e simétrico entre os seus eixos propostos pela física; iv) os estudantes têm necessidade de abordagens que os ajudem a fazer maior incorporação de ideias abstratas na compreensão dos fenômenos físicos; v) os estudantes não têm clareza de suas próprias visões estéticas.

O ensino e o destaque da consciência da estética e da simetria presentes na física, todavia, pareceu evidenciar aos estudantes a própria concepção que eles têm – algo que antecede a formulação dos conceitos físicos. Quando os estudantes tiverem consciência desse fato, pelo que constatamos neste trabalho, os conceitos passaram a ser compreendidos de uma forma mais aprofundada e enriquecida de significados.

Ao tentarmos entender quais eram as concepções presentes nos licenciandos em ciência acerca das questões estéticas e simétricas em torno da construção científica de temas

da mecânica newtoniana, concluímos que as mesmas são altamente influenciadas pelos sentidos, conforme já apontavam os nossos referenciais.

O ensino do sistema de referência, por sua vez, precisa ser feito com mais tempo e atenção, dada a sua importância para a construção da física. Não pode ser banalizado, sendo apresentado apenas como uma pequena introdução a ser dada no começo do curso e que, imagina-se servirá apenas como suporte aos demais conceitos – supostamente – mais importantes da física. Tanto a sua tridimensionalidade como a necessidade de simetria entre os seus eixos precisam ser construídos pelos estudantes – e isso exige tempo.

Por nossos participantes da pesquisa serem estudantes com admitida alta dificuldade de aprendizagem sobre física, essa maneira de trabalhar pareceu-lhes dar mais sentido ao que foi ensinado, além de maior familiaridade. Para o professor, também serviu para mostrar o quanto alguns conceitos merecem ser discutidos com mais tempo – algo que só a matematização ou a repetição de definições já acabadas poderia mascarar. Pensar numa disciplina com uma abordagem por estéticas e simetria, ainda que com as eventuais dificuldades de abstração em torno do tema, ressignificou os conhecimentos a serem ensinados e trouxe inovações curriculares que pareceram re-humanizar o ensino de mecânica newtoniana.

Dessa forma, sugerimos maior presença desta abordagem no ensino de física, notadamente no ensino das leis de Newton, em especial nos cursos de formação de professores de física e ou de ciências, a fim de que seja evitada a naturalização dos conteúdos e das estruturas curriculares.

Referências

ANDRÉ, M. E. D. A. **Etnografia na prática escolar**. 8. ed. Campinas: Papyrus, 1995. 128 p.

ANDRÉ, M. E. D. A. O cotidiano escolar, um campo de estudo. In: PLACO, V.; ALMEIDA, L. **O coordenador pedagógico e o cotidiano da escola**. São Paulo: Loyola, 2006. p. 9-20.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, LDA, 2011. 279 p.

BUENO, S. **Grande dicionário etimológico prosódico da língua portuguesa**. São Paulo: Edição Saraiva, 1965. v. 3.

COHEN, B.; WESTFALL R. S. **Newton: textos, antecedentes, comentários**. Tradução: Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto/EDUERJ, 2002.

CARVALHO, A. M. Metodologia de pesquisa em ensino de física: uma proposta para estudar os processos de ensino e aprendizagem. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 9, 2004, Jaboticatubas, MG. Sociedade Brasileira de Física, 2004.

- HEGEL, G.W. F. **Curso de estética: o belo na arte**. São Paulo: Martins Fontes, 1996.
- HENRY, P.; MOSCOVICI, S. **Problèmes de l'analyse de contenu**. Langage, 1968.
- KANT, I. **Crítica da faculdade do juízo**. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1993.
- LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986. 99 p.
- LUDWIG, A. C. W. Métodos de pesquisa em educação. **Educação em Revista**, Marília, v. 14, n. 2, p. 7-32, Jul.-Dez. 2014.
- MACHADO, J. P. **Dicionário Etimológico da Língua Portuguesa**. 4ª. ed. Lisboa. Livros Horizonte, vol. II, 1987.
- MENEZES, L. C. **A Matéria uma Aventura do Espírito: fundamentos e fronteiras do conhecimento físico**. 1. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005. 277p.
- MENEZES, L. C. Simetrías, Irreversibilidad del Tiempo e Imponderabilidad en la Física. **Prometeica - Revista De Filosofía Y Ciencias**, Ciudad de Córdoba, Argentina, Año II, n. 4, p. 90, 91, mayo-jun. 2011.
- MCGUIRE, J. E.; RATTANSI, P. M. **Newton and the 'Pipes of Pan'**. Notes & Records. The Royal Society of London. 1966. p. 108-143.
- MOREIRA, M. A. Grandes desafios para o Ensino da Física na Educação Contemporânea. In: **Conferência Interamericana sobre Enseñanza de la Física**, XI, Guayaquil, Equador, 2013.
- NEWTON, I. **Philosophiae naturalis principia mathematica**. London: Joseph Streater, 1687.
- PALCHA, L. Os diários na formação de professores de ciências: impactos formativos em pesquisas da área de ensino. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, XII, 2015, Panamá. **Anais...** p. 33091-33107.
- PIRES, F. F.; SILVA, J. A. Estética e simetria no ensino de física: uma proposta para o ensino de mecânica. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS, X, 2015, Águas de Lindoia, SP. **Anais...**

PIRES, F. F.; SILVA, J. A.; FORATO, T. C. M. Estética e simetria na mecânica: o caso das leis de Newton. **Enseñanza de las Ciencias**, n. extraordinário, p. 3611-3615, 2017.

PIRES, F. F.; SILVA, J. A.; FORATO, T. C. M. Estética e simetria nas leis de Newton: uma análise de alguns livros didáticos usados na formação inicial de professores de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 36, n. 2, p. 337-365, ago. 2019.

PRIGOGINE, I. **O fim das certezas: tempo, caos e as leis da natureza**. 1. ed. São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista, 1996. 199p.

QUADROS, O. J. **Estética da vida, da arte, da natureza**. 2. ed. Porto Alegre: Livraria Editora Academia, 1986. 231p.

RANGEL, F. O. *et al.* Evasão e vulnerabilidade acadêmica numa licenciatura em ciências. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS, X, 2015, Águas de Lindóia. **Atas...** 2015a.

RANGEL, F. O. *et al.* Evasão e Vulnerabilidade. In: MEMBIELA, P.; CASADO, N.; CEBREIROS, M. I. (Org.). **Presente y futuro de la enseñanza de las ciencias**. 1 ed. Santiago de Compostela: Educación Editora, 2015b. v. 1. p. 173-177.

RANGEL, F. O. *et al.* **Evasão ou mobilidade: conceito e realidade em uma licenciatura**. **Ciência & Educação**, v. 25, p. 25-42, 2019.

SUASSUNA, A. **Iniciação à estética**. 9. ed. Rio de Janeiro: Editora José Olympio, 2008. 396p.



Direito autoral e licença de uso: Este artigo está licenciado sob uma [Licença Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).