

O CARÁTER HIPOTÉTICO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO: UMA ANÁLISE DA CONSTRUÇÃO DA LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

THE HYPOTHETICAL NATURE OF SCIENTIFIC KNOWLEDGE: AN ANALYSIS OF THE CONSTRUCTION OF THE LAW OF UNIVERSAL GRAVITATION

Leonardo Albuquerque Heidemann¹, Rodrigo Weber², Eliane Angela Veit³

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Instituto de Física/leonardo.h@ufrgs.br

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física/rodrigo.weber@ufrgs.br

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Instituto de Física/eav@if.ufrgs.br

Resumo

Cada vez mais é urgente a necessidade de se tratar da natureza da Ciência no ensino de Física. Contribuindo com professores e pesquisadores que pretendam explorar o episódio histórico relacionado com a proposição da Lei da Gravitação Universal com o objetivo de evidenciar os processos envolvidos na prática científica, nos embasamos na noção de hipótese para reconstruir uma narrativa que demonstra como interconexões entre elementos pessoais e contextuais influenciaram Newton em seu trabalho. Assim como Lima e Heidemann (2023), assumimos que toda afirmação cujo conteúdo excede o conteúdo empírico de uma pesquisa pode ser considerada uma hipótese. Os resultados são dispostos em um diagrama que evidencia os diferentes tipos de hipóteses empregadas (cosmovisivas, ontológicas e representacionais), sintetizando os elementos metafísicos e descritivos assumidos pelo cientista; dando subsídios para debates focados na análise das potencialidades e limitações dos estudos de Newton; e demonstrando o papel dos pensamentos renascentistas e iluministas nas ideias construídas.

Palavras-chave: Hipóteses; Lei da Gravitação Universal; Natureza da Ciência.

Abstract

The urgency to address the nature of science in the teaching of Physics is increasingly paramount. Aiming to assist educators and researchers seeking to delve into the historical episode linked to the proposition of the Law of Universal Gravitation, with the objective of highlighting the processes entwined in scientific practice, we draw upon the notion of hypothesis to reconstruct a narrative that demonstrates how interconnections between personal and contextual elements influenced Newton in his work. Echoing Lima and Heidemann (2023), we posit that any assertion whose content surpasses the empirical content of research can be deemed a hypothesis. The findings are depicted in a diagram that elucidates the various types of employed hypotheses (cosmovisive, ontological, and representational), synthesizing the metaphysical and descriptive elements assumed by the scientist, thereby providing grounds for debates focused on analyzing the potentials and limitations of Newton's studies, showcasing the role of Renaissance and Enlightenment thoughts in the formulated ideas.

Keywords: Hypotheses; Law of Universal Gravitation; Nature of Science.

Introdução

Os movimentos anti-científicos nos deixam estupefatos, com dificuldades de explicar como os seus discursos alcançaram notoriedade. Muitas reflexões que fogem do escopo deste trabalho são possíveis nesse cenário, mas uma implicação especialmente pertinente para quem se preocupa com o ensino de Física é sintetizada nas palavras de Gurgel (2023, p. IX): "*Se há pouco algumas pessoas poderiam achar que discutir a natureza das ciências seria um 'luxo filosófico', hoje a Epistemologia está no centro dos debates sociais*". O debate sobre a prática científica, portanto, se impõe no ensino de Física como fundamental para o exercício da cidadania.

As dificuldades para aproximar a epistemologia das salas de aula se renovaram em um tempo de negacionismo científico exacerbado. Gurgel retrata isso destacando que recair em um cientificismo ultrapassado seria um retrocesso, visto que representaria uma defesa da Ciência que não se sustenta epistemologicamente. O autor complementa destacando que o dilema em que nos encontramos demanda identificarmos uma forma de, ao mesmo tempo, defender e criticar as ciências, "*um equilíbrio difícil de se obter e de natureza instável*" (idem, 2023, p. IX).

Neste trabalho, entendemos que uma alternativa para demonstrar as limitações e potencialidades do conhecimento científico (ou seja, para criticá-lo e defendê-lo), abordando desde a sua gênese até o seu produto, é destacando como as hipóteses embasam o conhecimento científico. Para isso, assim como Lima e Heidemann (2023), entendemos que uma hipótese é uma proposição científica que vai além das evidências, ou seja, são afirmações que generalizam o que é experienciável e dirigem o trabalho científico. A assunção, por exemplo, de que a geometria é a linguagem universal, assumida por Newton e por tantos outros cientistas no Renascimento, é um exemplo de hipótese que guiou a construção da Lei da Gravitação Universal, como será exposto nas próximas seções. A análise dessa hipótese mostrará também como ela é herdada por Newton em função do seu contexto histórico e cultural. Desse modo, compreender o papel das hipóteses na fundamentação dos episódios históricos possibilita o entendimento das relações

entre o contexto histórico de produção do conhecimento e o pensamento dos cientistas, assim como as limitações e potencialidades desse conhecimento.

Admitindo que a compreensão do caráter hipotético do conhecimento é uma alternativa para abordagem de elementos epistemológicos no ensino de Física, um outro desafio se impõe: identificar as hipóteses basilares dos diferentes conhecimentos científicos do campo da Física. É claro que, após tal identificação, a estruturação de atividades de ensino focadas nessas relações ainda é necessária (alternativas são apresentadas em Lima e Heidemann, 2023). Neste trabalho, nos limitamos ao primeiro passo desse processo. Tomamos como objetivo expor os resultados de um estudo bibliográfico para explicitar as hipóteses assumidas por Newton em um episódio histórico de fundamental importância para a Física e para o seu ensino: a proposição da Lei da Gravitação Universal. Especificamente, procuramos responder à seguinte questão de pesquisa: *Quais são as principais hipóteses (cosmóvisivas, ontológicas e representacionais) mobilizadas por Newton na proposição da Lei da Gravitação Universal?*

Este estudo faz parte de uma investigação mais ampla, em que se deseja investigar as implicações da estruturação de uma disciplina de Mecânica Clássica para um curso de Licenciatura em Física parcialmente pautada em abordagens históricas. Na próxima seção, expomos o quadro teórico-metodológico adotado para, em seguida, expor os resultados e as considerações finais do estudo.

Quadro Teórico-Metodológico

É impossível, como destacam Pietrocola, Ricardo e Forato (2020), realizar uma transposição didática envolvendo episódios da história da ciência com absoluta acurácia historiográfica. Uma alternativa para amenizar os riscos envolvidos demanda, entre outras coisas, um enfoque transdisciplinar, visando a superação das barreiras colocadas pela especialização das áreas, reconhecendo que a elaboração de narrativas históricas é inevitavelmente impactada, de forma implícita ou explícita, pelos valores, crenças e metodologias usadas nas análises. Admitindo que a investigação aqui realizada não é propriamente um estudo historiográfico, mas uma análise da literatura dirigida pelas ideias de Lima e Heidemann (2023), este trabalho foi conduzido a partir de um levantamento bibliográfico não sistemático pautado por

uma busca no Google Acadêmico¹ usando os termos “história”, “espaço”, “velocidade”, “tempo”, “massa”, “força”, “aceleração”, “energia”, “mecânica celeste”, “gravitação” e “referenciais”.

Dentre as 105 obras inicialmente consultadas, entre livros, artigos e teses, apenas 34 foram selecionadas para a reconstrução do episódio histórico associado à Lei da Gravitação Universal, a maioria delas artigos, seguidos por livros. Foram selecionadas obras que: a. exploram conceitos relacionados à gravitação, como os trabalhos de Descartes, Kepler e Gilbert; b. contextualizam o ambiente histórico e cultural que influenciou Newton na concepção de suas ideias fundamentais, incluindo as ideias aristotélicas, de Huygens e Hooke; e c. contribuíram para o avanço do conhecimento sobre gravitação, mesmo que provenientes de campos distintos da física, como os desenvolvimentos no cálculo diferencial e integral e os avanços técnicos relacionados à medição precisa do tempo.

O conceito de hipótese é polissêmico e amplamente explorado na área de pesquisa em ensino de Física. Tomando as definições de Lima e Heidemann (2023), consideramos que: i. toda afirmação cujo conteúdo excede o conteúdo empírico de uma pesquisa pode ser considerada uma hipótese; ii. uma categorização didaticamente útil para a compreensão da construção do conhecimento divide as hipóteses em três tipos: cosmovisivas, ontológicas e representacionais².

As *hipóteses cosmovisivas* se comprometem com afirmações metafísicas e/ou epistemológicas, como a afirmação de que a geometria é a linguagem universal, que influenciou os métodos utilizados por Newton. As *hipóteses ontológicas* se relacionam diretamente com a essência dos entes descritos na teorização como, por exemplo, a hipótese manifestada por Newton de que a mesma força que mantém a lua em órbita é responsável pela queda de um objeto na superfície da Terra. As *hipóteses representacionais* envolvem a transformação do evento investigado para que ele possa ser estudado à luz de uma teoria, como a hipótese de que as dimensões de um planeta podem ser desprezadas (planeta pontual), utilizada por Newton em seus estudos sobre gravitação.

¹ A plataforma foi selecionada por conta de seu amplo alcance, possibilitando a análise de artigos, teses, dissertações e livros com base em sua relevância determinada pelo motor de busca do Google.

² Optamos aqui por não explorar a categorização dos autores relacionada ao papel lógico das hipóteses, nos limitando a analisá-las apenas em relação a sua natureza. Destaca-se que as categorias de hipóteses não são fixas, pois uma hipótese pode tanto mudar de *status* de um contexto científico para outro como pode ser categorizada em mais de um tipo ao mesmo tempo.

Hipóteses basilares na proposição da Lei da Gravitação Universal

Lima e Heidemann (2023) propõem uma estrutura diagramática para representar as relações entre hipóteses e o contexto em que são propostas. Na Figura 1, expomos o esquema construído a partir da análise histórica da Lei da Gravitação Universal. Em seguida, apresentamos, limitados pelo número de páginas imposto pelas regras do evento, os elementos mais importantes dessa estrutura.

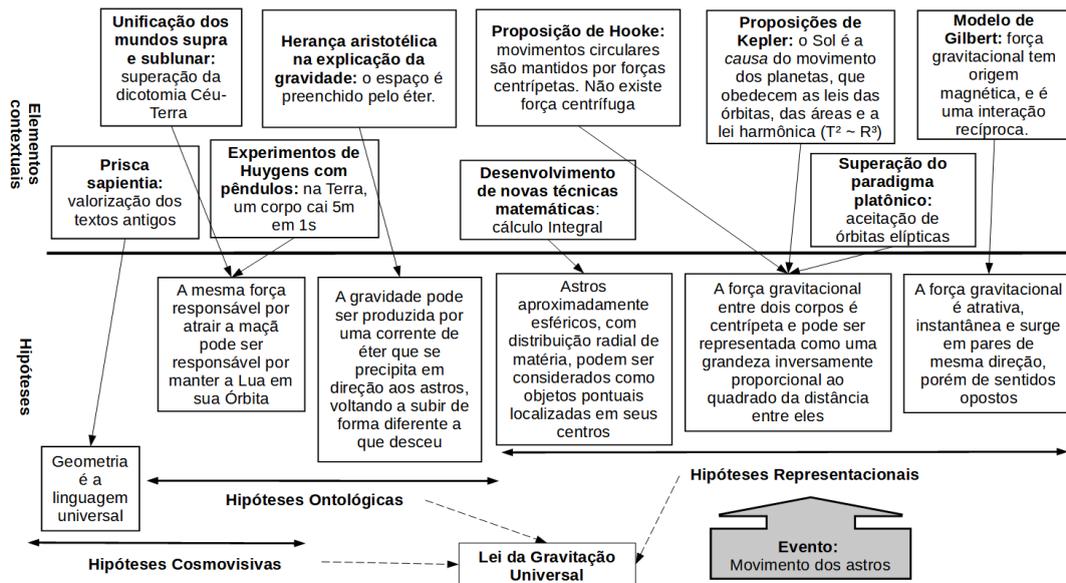


Figura 1 - Síntese das principais hipóteses assumidas na construção da lei da Gravitação Universal. Fonte: Autoria própria.

Na base da Figura 1, é destacado que o objetivo de Newton era representar o movimento de astros, o que demandava formulações de leis que descrevem o fenômeno da gravidade. As principais hipóteses assumidas por Newton têm raízes na sua juventude, muito antes da escrita do *Principia* e da elaboração das suas três leis. Neste ponto, é conveniente alertar que é vinculada a Newton a falsa ideia de que ele entendia que não fazia hipóteses (Da Silva; Peduzzi, 2012). Mais adiante será destacado como tal concepção não se sustenta historicamente. As hipóteses aqui elucidadas foram de fato concebidas por Newton, sendo fundamentais na construção de sua teoria.

Newton (1643-1727) viveu uma época de transição entre o Renascimento e o Iluminismo e incorporou aspectos que caracterizam ambos os movimentos. Uma das características mais marcantes do Renascimento foi a redescoberta dos textos clássicos gregos, como o *Corpus Hermeticum*, do astrônomo Ptolomeu (90-168 d.C), que teve profundo impacto no pensamento dos eruditos, inclusive de Newton. Por

ser percebida como uma obra muito antiga, acabou consolidando as crenças correntes em uma *prisca theologia* ou *prisca sapientia*, a percepção de que, em meio a todas as religiões, existe algo de verdadeiro que teria sido revelado em um passado muito distante e se perdido. Newton, assim como os crentes dessa ideia, via nos textos antigos as fontes mais confiáveis, pois estariam mais próximas do conhecimento revelado, e usava a geometria em sua Ciência porque entendia essa linguagem como a mais antiga, e portanto mais próxima da usada por Deus na revelação (Ramati, 2001). Assim, uma hipótese cosmovisiva adotada por Newton foi a de que *a geometria é a linguagem universal*, pois é a linguagem de Deus.

Em decorrência de seus estudos em Cambridge, Newton já vinha tendo contato com ideias de pensadores influentes de sua época, como Descartes. A análise de suas notas mostra que ele tinha um pensamento alinhado ao de seus contemporâneos que compartilhavam da crença básica em um “universo cheio” e mediado por interações gravitacionais de contato. Por isso, conjecturou uma hipótese de natureza ontológica, segundo a qual *a gravidade na Terra é causada por uma corrente de éter, que se precipita do espaço em direção à Terra, impelindo os corpos para baixo* (McGuire; Tamny, 1983). Segundo Westfall (1983), apesar de ter rejeitado a hipótese do éter em 1679 (antes da publicação do *Principia*), Newton voltou a evocar o éter em 1719, na explicação dos fenômenos luminosos. Apesar das controvérsias em torno do papel do éter nos anos subsequentes da vida de Newton, a hipótese do éter parece ter papel crucial nos estágios iniciais da formulação da teoria da Gravitação Universal.

Quando Newton estava em Woolsthorpe e buscava se refugiar da peste que assolava Londres, teria ocorrido o mitológico episódio da queda da maçã em sua cabeça. Apesar de tal episódio ter sido frequentemente deturpado durante sua difusão, Martins (2006) destaca que ele teria resultado em uma mudança de concepção em Newton sobre a *extensão* da ação da gravidade, levando-o à hipótese simultaneamente cosmovisiva e ontológica de que *a mesma força responsável por atrair a maçã pode ser responsável por manter a Lua em sua órbita*. É uma hipótese cosmovisiva na medida em que afirma a universalidade da gravidade, superando a dicotomia céu-Terra; ao mesmo tempo, ontológica, pois afirma que a ação da gravidade existe sob a forma de uma força.

A concepção comum no meio acadêmico era a de que o equilíbrio de todos os planetas decorreria de uma tendência centrífuga contrabalanceada por outra força, de tendência centrípeta (Westfall, 1983). Entretanto, Robert Hooke supôs, de forma revolucionária, que o movimento circular é uma combinação de um movimento inercial (tangente) e outro atrativo (centrípeto). Além disso, ele teria incitado Newton, que já admitia a concepção inercial, mas desconhecia a possibilidade de se dispensar a força centrífuga, a determinar a trajetória de um corpo que se desvia de sua trajetória inercial em função da ação de uma força centrípeta dependente do inverso do quadrado da distância. A proposição de Hooke foi fundamental para que Newton consolidasse a hipótese representacional de que *a força gravitacional entre dois corpos é centrípeta e pode ser expressa como inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles*.

William Gilbert, em um modelo de atração entre planetas análogo à atração entre ímãs, propôs a noção de reciprocidade entre as forças de interação gravitacional, o que soa como um prelúdio à terceira lei de Newton. Kepler e Galileu ressaltaram o argumento de Gilbert quando tentaram defender o modelo heliocêntrico copernicano, o que provavelmente conferiu alguma notoriedade às ideias desse pensador (Baldwin, 1985), a tal ponto que é razoável imaginar que Newton as conhecia. Assim, pode ser que as discussões de Gilbert e Kepler tenham influenciado na hipótese representacional de que *a força gravitacional é atrativa, instantânea e surge em pares de mesma direção, porém de sentidos opostos*.

Por fim, um aspecto que permitiu a operacionalização da teoria da Gravitação Universal foi o desenvolvimento do teorema das cascas esféricas (Cohen; Westfall, 2002), que, com origem no desenvolvimento de novas técnicas matemáticas, como o Cálculo, possibilitou a hipótese representacional de que *os astros aproximadamente esféricos, com distribuição radial de matéria, podem ser considerados como objetos pontuais localizadas em seus centros*.

É importante destacar que a maior parte dos historiadores da Ciência entende que Newton não acreditava na possibilidade de ação à distância. Entretanto, com o passar do tempo, ele abandonou a concepção do éter, passando a aceitar a possibilidade do vácuo. Assim, até hoje se debate o que ele realmente pensava sobre o mecanismo da gravidade.

Considerações finais

A compreensão dos processos envolvidos na construção da Ciência não é um elemento meramente motivacional ou uma alternativa para problematizar os conteúdos no ensino de Física. Seu *status* hoje é outro: é primordial para o exercício da cidadania. Por isso, esperamos, com este trabalho, contribuir com pesquisadores/as e professores/as que buscam explorar episódios históricos no ensino e na pesquisa em ensino de Física, evidenciando, a partir do enfoque nas hipóteses científicas, algumas das nuances da construção da Ciência, especialmente aquelas derivadas de relações entre contexto histórico e a produção desse conhecimento.

Referências

BALDWIN, M. R. Magnetism and the Anti-Copernican Polemic. **Journal for the History of Astronomy**, v. 16, n. 3, p. 155–174, 1985.

COHEN, B.; WESTFALL, R. S. (org.) Newton: textos, antecedentes, comentários. Rio de Janeiro: Contraponto, EDUERJ, 2002.

DA SILVA, D. A.; PEDUZZI, L. O. A Relação entre as Hipóteses e o Papel de Deus na Doutrina Newtoniana. In: PEDUZZI, L. O. Q.; MARTINS, A. F. P.; FERREIRA, J. M. H. (Ed.) Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino, Natal: EDUFRN, 2012, p. 309-330.

GURGEL, I. Por que confiar nas Ciências? Epistemologias para o nosso tempo. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2023.

LIMA, N. W.; HEIDEMANN, L. A. Diferentes níveis de hipóteses científicas: uma proposta para discutir fatores epistêmicos e sociais das Ciências na formação de professores de Física a partir de fontes históricas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 45, n. 1, p. e20220330, 2023.

MARTINS, R. A. A maçã de Newton: história, lendas e tolices. In: SILVA, C. C. (Ed.). Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino. Livraria da Física, 2006. p. 167-189.

McGUIRE, J. E.; TAMNY, M. Certain philosophical questions: Newton's Trinity notebook. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.

RAMATI, A. The hidden truth of creation: Newton's method of fluxions. **The British Journal for the History of Science**, v. 34, n. 4, 2001.

PIETROCOLA, M.; RICARDO, E.; FORATO, T. History, Didactics, and the Transformation of Scientific Content. In: PIETROCOLA, M.; RICARDO, E.; FORATO, T. (Eds.). Science Education Research in Latin America. Brill Academic Publishers, 2020. p. 367–393.

WESTFALL, R. S. Never at Rest: A Biography of Isaac Newton. Cambridge University Press, 1983.