

A VERDADEIRA MEDIDA DE MOVIMENTO E DA FORÇA DE UM CORPO NO INÍCIO DO SÉCULO XVIII.

Teoria do Conhecimento I
Professor Luís Pinguelli Rosa
Fábio Ferreira Barroso
Doutorando HCTE/UFRJ
Junho/2019.

INTRODUÇÃO

O texto disserta sobre a disputa histórica (sec. XVIII) pela verdadeira medida do movimento: a quantidade de movimento (Descartes e Newton) ou a *vís viva* (Leibniz). Problema que foi tratado pelo matemático Jean d'Alembert em seu livro *Traité de Dynamique* em 1743 que concluiu que as duas formas de análise do movimento são corretas.

MOTIVAÇÃO

Preparando uma aula sobre conservação do momento linear (sinônimo de quantidade de movimento), para o ensino médio, deparei-me com um texto sobre História da Ciência no final do capítulo. Esse texto descrevia o contexto do início do século XVIII sobre a disputa da melhor maneira de medir o movimento: a força em relação ao tempo (Descartes) ou em relação ao deslocamento (Leibniz). Ao fim da leitura montei uma estratégia pedagógica, que incluía comentários históricos dos conceitos apresentados e uma análise experimental sobre as colisões. Essa abordagem do conteúdo foi apresentada na forma de pôster em janeiro de 2013 no SNEF (Simpósio Nacional de Ensino de Física) evento bienal realizado pela Sociedade Brasileira de Física (SBF).

O INÍCIO DO CONCEITO DE MOVIMENTO

A mais antiga observação sobre o movimento dos corpos vem do fato que o movimento de um corpo sempre acaba, a menos que se mantenha sobre esse corpo uma força motora. Aristóteles (384 a.C. a 322 a.C.) fazia essa distinção entre **movido** e **movente**; também fazia separação entre a **física da terra** (onde o movimento natural era o retilíneo) e a **física do céu** (onde o movimento natural era o circular).

A Revolução Científica (que se inicia no século XVI) é caracterizada pela intervenção do homem na natureza (empirismo), que deixa de ser apenas contemplada (indutivismo) e passa a ser objeto de estudo e experimentação.

René Descartes (1596 – 1650) descreve em seu livro ***Principia Philosophiae*** (1644) o que chamou de primeira lei da natureza. Determinando que cada objeto permanece em seu estado original de movimento até que algo o modifique, era uma tentativa de descrever o que conhecemos hoje como a inércia dos corpos.

“Presenciamos diariamente a prova desta primeira regra nas coisas que atiramos para longe; não há razão para continuarem a mover-se quando estão fora da mão que as lançou, a não ser que [de acordo com as leis da Natureza] todos os corpos que se movem continuem a mover-se até que o seu movimento seja travado por outros corpos (DESCARTES, 1997).”

Descartes, devido a sua crença, partiu da premissa de que Deus quando criou o mundo colocou neste uma determinada quantidade de movimento constante, pois do contrário Deus revelaria a sua imperfeição.

“Deus, em sua onipotência, criou a matéria ao mesmo tempo que o movimento e o repouso de suas partes, e graças à sua cotidiana influência, Ele mantém tanta quantidade de movimento no Universo hoje quanto Ele colocou quando o criou (DESCARTES, 1997).”

O filósofo acreditava que os fenômenos físicos deveriam ser descritos matematicamente após a observação dos efeitos. Sua explicação para o movimento de rotações dos planetas ao redor do sol segue um modelo de um grande corpo esférico no centro de um recipiente com água e corpos esféricos menores ao redor. Quando o grande corpo gira, o fluido acompanha a rotação fazendo com que todos os corpos menores girem ao redor do maior. Esse

modelo poderia explicar a rotação, mas não explicava a velocidade de rotação diferente dos planetas.

Com Galileu Galilei (1564–1642), a natureza deixa de ser estudada de maneira contemplativa. Ele se utilizava de experimentos para verificar hipóteses e concluir questões sobre os fenômenos observados. O cientista aprimorou a técnica de polimento para as lentes esféricas possibilitando a construção de lunetas muito avançadas para a sua época.

Nesta nova configuração de se fazer ciências (Método Científico) as técnicas avançaram muito, pois os experimentos deveriam ser preparados para testar as teorias. Com isso, a sociedade experimentou avanços em suas técnicas, como: equipamentos de medições de distâncias e tempo, polimento de materiais, instrumentos ópticos, etc.

A QUESTÃO DO TEMPO ABSOLUTO X TEMPO RELATIVO

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) foi um famoso crítico da lei de conservação cartesiana. Escreveu um artigo em 1686 cujo título era “**Uma breve demonstração do memorável erro de Descartes**” e no ano seguinte, 1687, Isaac Newton (1642 – 1747) publica sua obra prima os **Princípios Matemáticos da Filosofia Natural**, no qual define a diferença entre tempo absoluto e tempo relativo.

“1 - O tempo absoluto, verdadeiro e matemático, por si mesmo e da sua própria natureza, flui uniformemente sem relação com qualquer coisa externa e é também chamado de duração; o tempo relativo, aparente e comum é alguma medida de duração perceptível e externa (seja ela exata ou não uniforme) que é obtida através do movimento e que é normalmente usada no lugar do tempo verdadeiro, tal como uma hora, um dia, um mês, um ano.”

Leibniz contrapôs a ideia de Newton afirmando que o tempo não poderia existir independente das coisas materiais. O tempo é sempre relativo, pois o concebemos sempre em função de algo material. Entre 1715 e 1716, em seus últimos anos de vida, troca cartas com Samuel Clarke, filósofo discípulo de

Newton, tratando de questões de inflexão entre sua teoria e a de Newton, incluindo que não concebia a possibilidade da existência de tempo absoluto.

A VERDADEIRA FORÇA DO MOVIMENTO

Na concepção de Leibniz, a força viva ($\sum mv^2$) era intrínseca ao corpo, não tinha relação externa. Para Descartes, o movimento era explicado através de sua quantidade de movimento ($\sum mv$). Newton concebeu a ação da força a distância e não como algo interno aos corpos (não concebia o conceito de energia). Afirmou ainda, que a natureza se revela da forma mais simples possível e que explicações menos complexas devem estar mais próximas da verdade concordando com a teoria de Descartes.

Leibniz propõe um experimento para demonstrar o erro na teoria de Descartes. Um **corpo A** de massa **M** ao cair de uma altura **H**, adquire uma “**força**” e deveria retornar a mesma altura quando seu movimento fosse invertido. Partindo desta premissa, um **corpo B** de massa **2M** ao ser solto de uma altura **H/2** deveria adquirir a mesma “**força**” que a da situação anterior.

Veja a demonstração para a velocidade de lançamento do **corpo A** até atingir a altura máxima **H**.

$$V^2 = V_{0A}^2 + 2gH$$

$$0 = V_{0A}^2 - 2gH$$

$$V_{0A}^2 = 2gH$$

$$V_{0A} = \sqrt{2gH}$$

A velocidade de lançamento do **corpo B** até atingir a altura máxima **H/2**.

$$V^2 = V_{0B}^2 + 2gH$$

$$0 = V_{0B}^2 - 2g \frac{H}{2}$$

$$V_{0B}^2 = gH$$

$$V_{0B} = \sqrt{gH}$$

Segundo a teoria de Descartes, a força do **corpo A** ao retornar ao chão, dividida pela força do **corpo B** ao retornar ao chão não seriam iguais, como percebemos:

$$\frac{MA \cdot VA}{MB \cdot VB} = ?$$

$$\frac{M \cdot \sqrt{2gH}}{2M \sqrt{gH}} = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

Mas segundo a teoria de Leibniz,

$$\frac{MA \cdot VA^2}{MB \cdot VB^2} = ?$$

$$\frac{M(\sqrt{2gH})^2}{2M(\sqrt{gH})^2} = 1$$

Com esta análise Leibniz confrontava a teoria da quantidade de movimento, pois seu quociente era diferente de 1, ou seja, a “força” de subida do corpo não seria a mesma “força” da descida do corpo, logo não havia conservação na quantidade de movimento.

Leibniz chamava de **vis viva** o que hoje conhecemos como energia cinética, multiplicado por um fator $\frac{1}{2}$. Em sua proposta, os dois corpos **A** e **B** apresentam a mesma energia potencial gravitacional inicial. Logicamente, em um sistema conservativo a energia cinética ao final deve ser igual, em módulo, a energia inicial. Com isso seu quociente resultava em 1.

A quantidade de movimento somente se conserva em um sistema isolado, ou seja, aquele sistema livre de forças externas. Desta forma, a proposta experimental de Leibniz se equivoca ao relacionar dois objetos diferentes em sistemas diferentes, sendo então impossível do quociente ser igual a 1.

A polêmica entre os que defendiam a teoria de Descartes e a teoria de Leibniz sobre a força continuou até o ano de 1743 quando Jean le Rond D'Alembert (1717 -1783) escreve seu livro **Traité de Dynamique**. Em resumo, descreve que tudo o que pode ser diretamente observado no mundo é matéria e seu movimento pode ser determinado através do espaço; forças jamais são vistas e somente são imaginadas para explicar os fenômenos.

D'Alembert conclui que as duas formas propostas estão corretas para análise do movimento, no qual o produto $\mathbf{m.v}$ está relacionado ao comportamento da força ao longo do tempo em que ela atua e o produto $\mathbf{m.v}^2$, relacionado ao produto da força aplicada no corpo ao longo de seu deslocamento.

No século XX, o espaço e o tempo foram unificados pela relatividade restrita de Einstein, transformando-se no espaço-tempo quadri-dimensional (três dimensões espaciais e uma dimensão temporal) que não podem ser desmembrados. A quantidade de movimento e a energia são aspectos distintos de uma mesma grandeza física, isto é, uma representa a ação da força em relação ao tempo e a outra a ação da força em relação ao espaço percorrido. Acontecem simultaneamente no corpo e não podem ser analisadas separadamente. Nos dias atuais, o cálculo mostra que a força newtoniana é a derivada primeira do momento linear em relação ao tempo,

$$F = \frac{dp}{dt} = \frac{d(mv)}{dt}$$

então segue de sua integração no tempo que,

$$\int F \cdot dt = \int \frac{d(mv)}{dt} dt = \int d(mv) = (mv_f - mv_i) = \Delta p$$

De maneira análoga, a partir da integração da força newtoniana ao longo do deslocamento de atuação da força, segue que,

$$\int F \cdot dx = \int \frac{d(mv)}{dt} dx = \int m \left(\frac{dx}{dt} \right) dv = \int mv dv = \left[\frac{m(v_f)^2}{2} - \frac{m(v_{fi})^2}{2} \right] = \Delta EC$$

Nas expressões acima os subscritos i e f se referem respectivamente a inicial e a final.

CONCLUSÃO

A disputa histórica da verdadeira análise do movimento, entre Descartes e Leibniz, quase nunca é contada em livros didáticos, algumas publicações colocam um texto simples ao final do capítulo sobre quantidade de movimento para vender uma ideia de ensino baseado em História das Ciências.

A formação do professor de Física é pautada nas explicações de fenômenos físicos e em operações matemáticas com o objetivo de resolver problemas. A História da Física e das Ciências é colocada em segundo plano na licenciatura, o que dificulta uma abordagem voltada para as origens históricas dos conceitos no ensino médio.

REFERÊNCIAS

- (1) MEDEIROS, A. **A atualidade pedagógica da controvérsia histórica sobre a verdadeira definição da "força de um corpo"**. Ensaio, v. 3, n. 1, p.1-19, 2001.
- (2) Newton, I. **Principia: princípios matemáticos de filosofia natural** - Vol.I (Trad.Trieste Ricciet al.). São Paulo: Nova Stella / EDUSP, 1990, pp. 6-7.
- (3) OLIVEIRA, C. E. S.; FIREMAN, E. C.; BASTOS FILHO, J. B. **A solução atribuída a D'Alembert sobre a 'verdadeira força' é capaz de dirimir a polêmica ensejada pela crítica de Leibniz a Descartes**. Investigações em Ensino de Ciências, V.18, n.3, p.581-600, 2013.
- (4) PONCZEK, R. L. **A polêmica entre Leibniz e os cartesianos: mv ou mv^2 ?** Caderno Catarinense de Ensino de Física, vol. 3, p. 336-347, 2000.
- (5) ROSA, L. P. **Tecnociências e humanidades: novos paradigmas, velhas questões** – Vol.I. São Paulo: Paz e Terra, 2005
- (6) TAKIMOTO, Erika. **História da Física na sala de aula**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2009.