

BREVES IMPRESSÕES SOBRE FEYNMAN E HALLIDAY EM TORNO DA CINEMÁTICA

Raquel Anna Sapunaru¹

Raphael Rolim Costa²

RESUMO: O livro de física que aborda temas sobre mecânica, escrito por Halliday et al., conhecido como “Halliday 1”, é o livro base do ensino da física nos primeiros anos dos cursos de exatas das universidades brasileiras. Porém, nem sempre ele traduz os anseios e as necessidades de seus leitores, sejam eles discentes ou docentes. Este fato motivou uma breve pesquisa cujo resultado encontra-se no presente artigo. Aqui, procurou-se analisar o livro de Halliday et al. sob a luz do livro de Feynman et al., considerado por muitos docentes de física demasiadamente avançado para o básico dos cursos de exatas. O tema escolhido como parâmetro de comparação foi a cinemática.

Palavras-chave: Cinemática; Ensino; Aprendizagem.

INTRODUÇÃO

Na física, a cinemática, do grego *kinema*, movimento, é o estudo do movimento, independentemente das causas que o produz, ou, para ser mais precisos, o estudo de todos os movimentos possíveis. Segundo Gerard de Brussels:

[...] a cinemática, que estuda o movimento tomado por ele mesmo, isto é, os aspectos temporais e espaciais ou dimensões do movimento sem qualquer vínculo com as forças que causam mudanças no movimento [...] (BRUSSELS apud CLAGETT, 1959, p.163).

Ao lado do conceito de espaço, objeto da geometria, conhecido desde a antiguidade, a cinemática introduziu o conceito formal de tempo, isto é, o tempo na física. A título de ilustração, cabe observar que a cinemática não deve ser confundida com a cinética, um termo geral que se refere a uma grande variedade de processos: por exemplo, de acordo com o **Dicionário de Houaiss de Física** (2005), na mecânica a cinética é usada como um adjetivo para qualificar duas grandezas, implicando assim a massa e também a energia e o momento cinéticos.

Historicamente, pode-se datar o nascimento da cinemática moderna com as observações de Pierre Varignon, na Academia Real de Ciências de Paris, em 20 de janeiro de 1700, segundo o livro **Histoire de L'académie Royale des Sciences**, publicado em 1761. Nessa ocasião, Varignon definiu o conceito de aceleração e mostrou como era possível deduzir a velocidade instantânea com a ajuda de um simples procedimento, a saber: o cálculo diferencial. De acordo com o que foi registrado na **Histoire de L'académie Royale des Sciences**:

[...] o senhor Varignon acrescentou algo considerável a uma teoria que ele havia feito em 1698: os movimentos variáveis, ou seja, acelerados ou retardados, segundo uma proporção que tenha sido feita.

A velocidade é uma relação do espaço com o tempo ou o quociente de uma divisão do espaço pelo tempo. Quanto maior for o espaço e menor o tempo, mais o quociente da divisão ou a velocidade é grande; e, quanto menor for o espaço pela relação da grandeza do tempo, menor é a velocidade. É então visível que o tempo multiplicado pela velocidade produz o espaço; que o espaço dividido pela velocidade deve produzir o tempo e que dados dois desses três valores, conclui-se o terceiro sem dificuldades. Mas, isso tudo só é visível

¹ Professora de Filosofia da Ciência do Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

² Bacharelado em Ciência e Tecnologia do Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

quando os movimentos são uniformes, ou seja, quando os espaços percorridos em tempos iguais são iguais, ou, o que é a mesma coisa, quando os espaços são sempre proporcionais aos tempos. (1761, p. 87-88).

A partir da ideia de cinemática de Varignon, no presente trabalho será feita uma analogia desta por dois grandes livros as **Lições de Física – Volume I** de Feynman et al. e os **Fundamentos de Física – Volume 1** de Halliday et al. O que se quer é evidenciar a forma distinta com que cada autor trata a cinemática, tendo em vista o ensino e a aprendizagem desse assunto. Utiliza-se o método comparativo entre as abordagens em torno da cinemática.

A DESCRIÇÃO DO MOVIMENTO

A descrição do movimento conforme colocada por Feynman et al. (2008), apesar de seguir uma linha matemática, tem sua abordagem e conclusão construídas como se fosse uma história. Isso quer dizer que uma pessoa dotada de um conhecimento matemático básico seria capaz de lê-las e entendê-las.

Primeiramente, Feynman et al. (2008) são metedidos ao resgatarem a ideia do movimento como mudança. Em **Aristotle the Physics** (2006), o movimento também conhecido como “movimento espacial” pode ser entendido como um subconjunto da ideia de “mudança”. Além disso, Aristóteles também apontou como tipos de mudanças o “movimento substancial”, mudança de forma; o “movimento qualitativo”, mudança de propriedade; e, o “movimento quantitativo”, mudança de valor. Discretamente, Feynman et al. (2008) parecem invocar a ideia aristotélica de mudança e movimento ao dar como exemplo a mudança do pensamento de uma mulher. Para os autores, diferentemente do movimento de uma nuvem, entendida como uma mudança de lugar quantificável, o pensamento de uma mulher só muda, sem deslocamento ou qualquer possibilidade de quantificação, pelo menos por enquanto. Em seguida, Feynman et al. (2008) discutem a questão da importância do ponto que se desloca e ressaltam que tudo deve seguir uma certa proporção. Como exemplo, ele diz que um carro que mede aproximadamente 4m pode ser considerado como um ponto caso se desloque num percurso de 160 km.

Na sequência, Feynman et al. (2008) demonstram um cuidado muito grande ao citar grandezas por entenderem muitas vezes que a física geralmente se apoia em pilares questionados pelos filósofos. Em um primeiro momento, assumem que tanto os filósofos, quanto eles falam quase sempre sobre as mesmas coisas, mas não exatamente sobre as mesmas coisas. Nesse sentido, Feynman et al. (2008) são muito sutis ao questionarem “O que queremos dizer com tempo e espaço? Acaba que essas profundas questões filosóficas têm que ser analisadas com muito cuidado na física.” (FEYNMAN et al., 2008, p.8-2). Contudo, mais adiante, parecem mudar de ideia ao simular, jocosamente, a seguinte conversa entre filósofos: “Você não sabe o que está falando! O segundo diz ‘O que você quer dizer com saber? O que você quer dizer com falar? O que você quer dizer com você?’, e assim por diante.” (FEYNMAN et al., 2008, p.8-2). No fundo, Feynman et al. (2008) afirmam que, no que tange a física, não se pode ser dogmático ou ter certeza de tudo, mas também não se pode duvidar ou questionar tudo como fazem os filósofos. No caso particular do exemplo caricato da discussão entre filósofos dado por Feynman et al. (2008) são ressaltados problemas semânticos relativos à atribuição de uma existência incapaz de levar o leitor a algum lugar. Em outras palavras, segundo Feynman et al. (2008), ao entrarem na discussão sobre a natureza do espaço e do tempo, as pessoas tendem a permanecerem impossibilitadas de estabelecer uma relação quantitativa com o movimento físico. Para Feynman et al. (2008) “Não podemos definir *nada* precisamente! Se tentarmos, chegamos àquela paralisia mental que os filósofos têm [...]” (FEYNMAN et al., 2008, p.8-2).

Retornando a questão física do movimento, como exemplo, para entender o deslocamento, eles utilizam um carro em movimento, sem mudança de direção, com velocidade variável. A partir daí, eles obtêm os dados

empíricos desse deslocamento, ou seja, a velocidade, o tempo e a distância. Os dados obtidos são explicados, para que posteriormente sejam entendidos em forma de gráfico. O interessante é que Feynman et al. (2008) não buscam entender a função que descreve esse movimento: eles usam os dados e os gráficos obtidos para que em seguida seja equacionada uma função que faça sentido matemático. Feynman et al. (2008), então, assumem que a função existe para modelar e generalizar essa situação, mas, também admitem que o movimento nada mais é que um carro completando uma distância em velocidades diferentes em um certo intervalo de tempo. Com isso, Feynman et al. (2008), adotando a visão do físico, passam por cima do conceito de movimento devido à sua alta abstração, quando pensado sem algo empírico para suportá-lo. Isso faz com que eles evitem o aporisma que às vezes persegue as discussões filosóficas. Porém, cabe ressaltar que em hora alguma Feynman et al. (2008) desconsideram a existência de tal conceito.

Já para Halliday et al. (2009) a introdução do movimento se dá como uma grandeza bem intuitiva e, ao mesmo tempo, aplicável ao mundo físico, sem se voltar para quaisquer questionamentos de ordem filosófica. Antes de qualquer análise, eles colocam algumas condições para discutir o movimento, pois o interesse é analisar apenas o aspecto físico do problema. Isso fica bem claro na seguinte afirmação:

[...] tudo o que necessitamos no momento é a ideia de que o deslocamento tem duas características: (1) seu *módulo* é a distância (como, por exemplo, o número de metros) entre as posições inicial e final; (2) sua *direção*, de uma posição inicial para uma posição final, pode ser representada por um sinal positivo ou um sinal negativo se o movimento é retilíneo (HALLIDAY et al., 2009, p.16).

Mesmo enfatizando as questões físicas, evitando quaisquer desvios, Halliday et al. (2009) não fazem uso de comparações com o cotidiano, mas sim de exemplos elaborados em forma de problemas fictícios que simulam um cotidiano, partindo diretamente para a discussão matemática, o entendimento de signos e a discriminação das grandezas. Desse modo, eles subtraem a chance daqueles que estão aprendendo a física básica de adquirirem uma visão mais profunda sobre o movimento. Um bom exemplo, encontra-se na definição de posição e deslocamento. Para Halliday et al.:

[...] se uma partícula se move de $x_1 = 5\text{m}$ para $x_2 = 12\text{m}$, $\Delta x = (12\text{m}) - (5\text{m}) = +7\text{m}$. O resultado positivo indica que o movimento é no sentido positivo. Se, em vez disso, a partícula se move de $x_1 = 5\text{m}$ para $x_2 = 1\text{m}$, $\Delta x = (1\text{m}) - (5\text{m}) = -4\text{m}$. O resultado negativo indica que o movimento é no sentido negativo. (2009, p.16).

Comparando ambas as abordagens de Feynman et al. (2008) e Halliday et al. (2009) em torno das primeiras questões da cinemática fica patente a preocupação de Feynman et al. (2008) em atribuir fundamentos à física, discutindo suas nuances, fazendo o leitor pensar, mas sem abandonar a empiria que a física exige; enquanto Halliday et al. (2009) demonstram só se preocuparem com a solução de problemas, nem sempre práticos ou reais.

A VELOCIDADE

Feynman et al. (2008) tratam as sutilezas do conceito de velocidade de forma relativa, aproximada, visto que parece não estarem confortáveis para proferir uma definição absoluta. Mais uma vez, eles expressam sua preocupação com os questionamentos filosóficos. Logo de início, Feynman et al. (2008) apontam os problemas que os gregos antigos tinham para lidar com a velocidade, a saber: entender seu conceito e calculá-la. Na Grécia antiga, o conceito de velocidade era puramente intuitivo, ou seja, sabia-se, por exemplo, que quanto maior o passo, mais rápido se chegaria ao destino desejado, mas isso era muito pouco. Para ilustrar as reais dificuldades

que os gregos antigos tinham em entender o movimento, Feynman et al. (2008) lançam mão dos dois primeiros paradoxos de Zenão. Segundo Aristóteles:

Há quatro argumentos de Zenão sobre o movimento, fonte de dificuldades para quem os quiser resolver. No primeiro, a impossibilidade do movimento é deduzida do seguinte modo: o móvel transportado deve atingir primeiro a metade antes de atingir o termo [...]. O segundo chama-se de Aquiles. É o seguinte: o mais lento em uma corrida jamais será alcançado pelo mais rápido; pois este, o perseguidor, deverá primeiro atingir o ponto de onde partiu o fugitivo e assim o lento estará sempre mais adiantado. É o mesmo raciocínio que o da dicotomia: a única diferença está em que, se a grandeza sucessivamente acrescentada estiver bem dividida, ela não o será em dois. Conclui-se do argumento que o mais lento não será alcançado pelo mais rápido; e isto pela mesma razão da dicotomia: nos dois casos conclui-se pela impossibilidade em atingir o limite, estando a grandeza dividida de uma ou outra maneira; mas, neste, acrescenta-se que mesmo este herói em velocidade não poderá alcançar, em sua perseguição, o mais lento [...]. Estes são dois dos argumentos [...] (ARISTÓTELES apud BORNHEIM, 1977, p. 63).

Já no fim da Idade Média, início da Renascença, no entendimento do comentador medievalista Marshall Clagett (1959), a cinemática teria sólidas origens na Grécia antiga. Porém, Clagett (1959) aponta Gerard de Brussels, na primeira metade do século XIII, em seu livro **Liber de Motu**, como o autor da definição da velocidade conforme a conhecemos, ou seja, um espaço dividido pelo tempo. Sem entrar em maiores detalhes, a dedução dessa relação por Brussels originou-se da geometria euclidiana, seguindo a tendência da emergência da geometria do movimento, uma das principais correntes de atividade científica daquela época. Todavia, o trabalho de Gerard de Brussels só ficaria completo no século XIV, através dos filósofos William Heytesbury e Nicolau Oresme.

Em seguida, Feynman et al. (2008), numa possível homenagem a Platão, tratam a velocidade, usando um exemplo em forma de diálogo entre uma senhora e um policial. A partir daí, uma história vai se desenrolando e ao mesmo tempo as sutilezas relacionadas ao conceito de velocidade são explicadas. Eis uma parte do diálogo:

Quando uma senhora em seu carro é parada por um policial, o policial vem até ela e diz, ‘Senhora, você estava andando a 100 quilômetros por hora!’ Ela diz, ‘Isto é impossível, senhor, eu estava viajando por apenas sete minutos. Isto é ridículo – como eu posso andar 100 quilômetros em uma hora quando eu não andei uma hora?’ (FEYNMAN et al., 2008, p. 8-3).

Na busca por uma explicação melhor para a senhora, Feynman et al. (2008) diminuem a distância percorrida e o tempo gasto para percorrê-lo, a fim de se adaptarem à situação. Para um carro, a distância em segundos é essencial, uma vez que sua velocidade varia menos. Já para o exemplo de uma bola caindo, tem-se uma variação bem maior, o que fez Feynman et al. (2008) chegarem a seguinte conclusão: quanto menor o tempo, mais precisa será a velocidade e mais satisfatória será a resposta para a senhora. Em suma: a precisão da velocidade advém, obrigatoriamente, de uma boa medida.

A definição de velocidade partiu da ideia de pegar uma distância infinitesimal, x e um tempo infinitesimal, c , correspondente, criar uma razão, ir diminuindo o tempo e acompanhar os acontecimentos na razão criada. Em outras palavras, Feynman et al. (2008) introduzem a definição de limite e logo após apresentam sua notação formal. Desse modo, a velocidade descrita através de uma pequena distância, em um curto tempo, é:

$$v = x/c \tag{1}$$

e, tomando-se um tempo cada vez menor, ou seja, no limite, a velocidade é:

$$v = \lim_{t \rightarrow 0} x/c \tag{2}$$

É bem interessante a forma com que o Feynman et al. (2008) explicam o funcionamento do limite, pausadamente, com uma didática de dar inveja a qualquer professor de matemática, relacionando-o com o conceito de velocidade. Também é patente suas preocupações ao citar um limite quando o tempo tende a um valor igual a zero. “A velocidade verdadeira é o valor dessa razão, x/t , quando t se torna tão pequeno a ponto de desaparecer. Dito de outro modo, depois de fazer a razão, toma-se o limite de t se tornando menor e menor, isto é, se aproximando de 0.” (FEYNMAN et al., 2008, p.8-5). Daí, segue-se uma breve explicação histórica sobre as bases dos cálculos diferencial e integral.

Ao contrário de Feynman et al. (2008), Halliday et al. (2009) não tratam a velocidade como sendo uma grandeza única e com várias aplicações, mas sim, a dividem em partes que são abordadas separadamente. Novamente, em momento algum, há uma abordagem histórica ou filosófica sobre o assunto, pois o intuito de Halliday et al. (2009) é explicar cada aplicação da velocidade de modo que o leitor consiga resolver os problemas em forma de exercícios no final de cada capítulo. A matemática utilizada já foi, suposta e assumidamente, absorvida anteriormente pelo leitor, de modo que não há qualquer preocupação em relaciona-la profundamente com os problemas-exercícios.

Halliday et al. (2009) exploram uma inusitada didática introduzindo a “Ideia-Chave” e as “Táticas para Solução de Problemas” e essa didática se repete nos capítulos posteriores. A “Ideia-Chave” tem por objetivo ensinar o leitor a interpretar o problemas, detendo-se no âmago do tema abordado. Já as “Táticas para Solução de Problemas” apontam os caminhos reais para as soluções dos problemas apresentados no referido tópico, no caso, a velocidade. Curiosamente, as “táticas” apresentadas revelam um vasto conhecimento dos autores dos erros mais frequente dos leitores. Nesse sentido, crê-se que Halliday et al. (2009) doutrinam seu leitor na desconstrução mecânica de problemas, sem se preocupar muito com seu entendimento.

A VELOCIDADE COMO UMA DERIVADA

Seguindo a linha do conhecimento das notações especiais, Feynman et al. (2008) introduzem novos símbolos, diferentes de c e t , para compor os termos Δt e Δs , objetivando facilitar a explicação da velocidade como uma derivada. Assim, a equação (2) é reescrita da seguinte maneira:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta s / \Delta t \quad (3)$$

Cada símbolo é tratado como sendo uma escolha arbitrária, ou seja, eles explicam o emprego de cada um, mesmo que alguns deles sejam deveras conhecidos, como, por exemplo, o delta (Δ), variação. Nesse ponto, Feynman et al. (2008) explicam que na relação $\Delta s / \Delta t$ não se pode simplesmente cancelar os Δ .

Cabe ressaltar que Feynman et al. (2008) demonstra sempre a preocupação de explicar cada símbolo introduzido. Desse modo, o leitor pode apreender e aprender o que ele se propõe a ensinar. Além disso, Feynman et al. (2008) usa um linguajar que facilita o entendimento, assumindo sempre que o leitor não tem um vasto conhecimento prévio do assunto que está sendo tratado.

Sendo assim, na introdução da equação utilizada pelos físicos para descrever a velocidade, $\Delta s = v \cdot \Delta t$, Feynman et al. (2008) estabelecem diversas condições, como, por exemplo, se a velocidade não variar em um certo intervalo de tempo, eles assumem que ela só é válida com uma boa aproximação. Logo após, eles explicam, em passos lentos, como se deriva uma função, focando no entendimento físico, a saber:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta s / \Delta t = ds/dt \quad (4)$$

Porém, eles advertem o leitor dizendo que “Quando nos acostumamos com as palavras, as ideias são mais facilmente entendidas.” (FEYNMAN et al., 2008, p.8-6). Esse parece ser o segredo da didática de Feynman et al. (2008): discursar antes de calcular.

Por fim, Feynman et al. (2008) montam uma tabela de derivadas com funções arbitrárias e introduz um método muito simples, quase que mecânico. Talvez seja por isso que eles observaram a necessidade de explicar a derivada da forma como o fizeram.

Por outro lado, a intenção do Halliday et al. (2009) nesses tópicos sobre a velocidade, como citado anteriormente, parece ser dividi-la em algumas partes e posteriormente analisa-las, separadamente. Assim, a velocidade instantânea seria a rapidez com que um objeto se move em um instante qualquer. Particularmente, sobre a velocidade instantânea escalar, eles a considera como o módulo da velocidade instantânea vetorial e esse conceito existiria apenas para diferenciar as duas velocidades.

A partir daí, eles incrementam a ideia de derivada, mas não a explicam e tampouco a exemplificam de modo satisfatório, como fez Feynman et al. (2008). Posto isso, assumindo plenamente que o leitor está familiarizado com o conceito e o manejo do cálculo diferencial, Halliday et al. (2009) equacionam:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta s / \Delta t = ds/dt \quad (5)$$

e, em seguida, abusam da representação gráfica. Contudo, eles também não ensinam como montar ou ler os gráficos que são apresentados dentro de um exemplo resolvido e tampouco a interpreta-los de forma elucidativa.

A DISTÂNCIA COMO UMA INTEGRAL

Ainda utilizando o exemplo da seção anterior, Feynman et al. (2008) supõem uma bola em queda livre, mas analisando a situação inversa, ou seja, com o objetivo de encontrar a distância percorrida pela bola, já que a velocidade é conhecida. Usando a equação já citada anteriormente:

$$\Delta s = v \cdot \Delta t \quad (6)$$

Feynman et al. (2008) encontram uma distância a cada velocidade, v , e tempo, t , de segundo em segundo, até o fim da queda. Feito isso, eles obtêm um número de pequenas distâncias e, a distância total será a soma de todos esses pequenos “pedaços” de espaço. Depois, Feynman et al. (2008) introduzem o símbolo do somatório e o conceito de integração ao escrever a equação:

$$s = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \sum_i v(t_i) \Delta t_i \quad (7)$$

e, em suas próprias palavras:

Os matemáticos inventaram um símbolo para esse limite, análogo ao símbolo da diferencial. O Δ se transforma em d para nos lembrar que o tempo é tão pequeno quanto puder, a velocidade é então chamada de v no tempo t , e a adição é escrita como uma soma com um grande “s”, \int (do Latim *summa*), que ficou distorcido e agora é infelizmente apenas chamado de um sinal de integral. (FEYNMAN et al., 2008, p. 8).

Então, escrevemos:

$$s = \int v(t) dt \quad (8)$$

Feynman et al. (2008) descrevem a oposição existente entre a integração e a derivação que facilita no estudo de equações. Logo em seguida, eles mostram que é possível trabalhar sua própria tabela de integrais pela diferenciação de todos os tipos de funções. Contudo, mais do que ressaltar a oposição dos cálculos, eles explicam a analiticidade da derivada e a não-analiticidade da integral afirmando que “Cada função pode ser diferenciada analiticamente, isto é, o processo pode ser realizado algebricamente, e leva a uma função definida. Mas não é possível de uma maneira simples escrever um valor analítico para qualquer integral que se deseje.” (FEYNMAN et al., 2008, p.8-8). Por isso, grosso modo, pode-se dizer que as funções diferenciáveis são mandatoriamente integráveis, mas o inverso não se aplica necessariamente. Ainda, por mais complicada que seja a função, pode-se derivá-la e obter uma função conhecida, mas no que tange a integração não funciona desse modo. De acordo com

Feynman et al. (2008) “Você pode calculá-la, por exemplo, fazendo a soma acima, e então, fazendo novamente com um intervalo menor de Δt e novamente com um intervalo menor de Δt até que você tenha o resultado aproximadamente certo.” (FEYNMAN et al., 2008, p.8-8). A seu turno, Halliday et al. (2009) dão um tratamento diferente a essa questão, lançando mão do conceito de aceleração que ainda não foi apresentado por Feynman et al. (2008).

A ACELERAÇÃO

Feynman et al. (2008), mais uma vez fazem uma pergunta-problema objetivando introduzir o conceito de aceleração ao longo da busca de uma resposta satisfatória. Dessa vez, a pergunta é: “Como a velocidade *muda*?” (FEYNMAN et al., 2008, p.8-8). Pode-se destacar, além do que foi dito antes, a preocupação de Feynman et al. (2008) com uma escrita simples e de fácil entendimento para o leitor. Assim, mantendo seu estilo, Feynman et al. (2008) partem do mesmo exemplo usado no tópico “Velocidade”, mas agora, discutem o que causa a mudança da velocidade de um carro, questionando: “Em outras palavras, de quantos metros por segundo a velocidade muda em um segundo, isto é, quantos metros por segundo, por segundo?” (FEYNMAN et al., 2008, p.8-8). Desse modo, eles chegam à conclusão que a aceleração é “[...] uma taxa temporal de mudança da velocidade.” (FEYNMAN et al., 2008, p.8-8), isto é, a derivada da velocidade, lembrando que a derivação já foi abordada no tópico anterior. Por isso, eles ficam tranquilos ao aplicar esse conceito sem necessidade de explicá-lo. No entanto, ao utilizá-lo no exemplo seguinte, cada passo é bem explicado.

A relação velocidade-tempo é dada pela expressão:

$$v=gt \tag{9}$$

onde g representa a aceleração da gravidade¹; e, a relação da distancia percorrida no mesmo tempo é:

$$s=1/2 gt^2 \tag{10}$$

Visto que $v=ds/dt$ e a aceleração é a derivada temporal da velocidade, teremos:

$$a=d/dt(ds/dt)=d^2s/dt^2 \tag{11}$$

Para finalizar, Feynman et al. (2008) introduzem o movimento em três dimensões e assumem sua complexidade, preferindo por essa razão tratá-lo primeiramente, em duas dimensões e, posteriormente, estender as ideias para três dimensões: “Definimos um par de eixos em ângulo reto um com o outro, e determina-se a posição da partícula em qualquer momento medindo o quão longe ela está de cada um dos dois eixos.” (FEYNMAN et al., 2008, p.8-9). Mais adiante, eles completam: “A extensão desse processo para três dimensões necessita somente de um outro eixo, que forme um ângulo reto com os dois anteriores, e medir a terceira distância.” (FEYNMAN et al., 2008, p.8-9). Para fins elucidativos, os seis graus de liberdade em um espaço tridimensional podem ser entendidos como três graus translacionais e três graus de rotação. Segundo a definição de Roditi:

Para um sistema mecânico, qualquer um dos parâmetros ou coordenadas independentes necessários para caracterizar a sua configuração. O plural graus de liberdade é frequentemente usado para indicar o menor número desses parâmetros que estabeleçam uma caracterização unívoca. Uma partícula puntiforme necessita de três coordenadas independentes para especificar sua posição no espaço, i. e., três graus de liberdade [...] (RODITI, 2005, p. 110).

Complementando, por convenção, as translações são positivas na direção da direita, a frente e acima (eixos x , y e z).

Retomando, a pergunta agora é: “[...] como podemos determinar a velocidade?” (FEYNMAN et al., 2008, p.8-10). Levando a risca o método de perguntas e respostas utilizado largamente por Feynman et al. (2008), na

¹ A dinâmica newtoniana que envolve a aceleração da gravidade g , não faz parte do escopo deste artigo.

sequência eles questionam: “Agora, dadas as componentes da velocidade, como podemos achar a velocidade ao longo do verdadeiro caminho do movimento?” (FEYNMAN et al., 2008, p. 8-10).

Na primeira dimensão:

$$v_x = dx/dt \quad (12)$$

Na segunda dimensão:

$$v_y = dy/dt \quad (13)$$

Na terceira dimensão:

$$v_z = dz/dt \quad (14)$$

Enquanto isso, Halliday et al. (2009) mostram-se bem mais objetivos e bem menos questionadores e, como no tópico anterior, dividem o conceito de aceleração em partes. Primeiramente, é dada uma breve explicação para que o leitor entenda o que é a aceleração, sua definição e suas aplicações. Ao citar os operadores matemáticos, como a derivada, Halliday et al. (2009) não se preocupam, mais uma vez, em explicar a operação, pois assumem que o leitor já tem um conhecimento prévio da mesma. Os tópicos do Halliday et al. (2009) foram divididos em “Aceleração Constante” e “Aceleração em Queda Livre”. Contudo, mesmo que em todos os tópicos eles utilizem uma breve elucidação e um exemplo simples acompanhado de gráficos, sua explicação é muito direta e pouco teórica, deixando a desejar no quesito entendimento. Conclui-se que, mais uma vez, Halliday et al. (2009) seguem uma *didática* simples e objetiva, mas rasa no que tange à verdadeira compreensão do fenômeno físico apresentado, pois o objetivo dos autores é simplesmente preparar o leitor para resolver os exercícios no final do capítulo.

CONCLUSÃO

No início dos anos 50, Feynman esteve no Brasil acompanhando algumas aulas e palestras dos cursos de física e engenharia, além de observar algumas avaliações e conversar com diversos alunos. Ao final de sua estada relatou sua experiência em um livro intitulado *Surely You're Joking, Mr. Feynman!: Adventures of a Curious Character* (2010). Nele, o físico observa que os estudantes brasileiros, alguns dos leitores de quem se falou ao longo do presente trabalho, decoram tudo e não entendem coisa alguma. Particularmente, sobre os alunos do curso de física, formador de professores de física, Feynman comenta:

Depois de muita investigação, eu finalmente descobri que os estudantes decoraram tudo, mas não sabem o que aquilo significa [...] Tudo foi inteiramente memorizado, ainda que nada tenha sido traduzido em palavras significativas. (FEYNMAN et al., 2010, p.212).

Porém, a maior surpresa veio dos alunos de engenharia. Em suas próprias palavras:

Eu lecionei um curso na escola de engenharia sobre métodos matemáticos na física, no qual tentei mostrar como resolver problemas por tentativa e erro. Isso é algo que as pessoas não aprendem geralmente, então comecei com alguns exemplos simples de aritmética para ilustrar o método. Eu fiquei surpreso que somente oito de oitenta alunos apresentaram suas tarefas. Então eu [lhes] dei uma lição forte sobre realmente fazer [e] não somente sentar e me ver fazendo [a tarefa]. (FEYNMAN et al., 2010, p.214).

Infelizmente, passados muitos anos desde a visita de Feynman ao Brasil, continua-se constatando o presente repetindo o passado e, percebe-se o quão atual sua crítica se apresenta.

O livro texto de física mais utilizado no ensino superior brasileiro, ou seja, o Halliday et al., em todas as edições, impõe aos leitores uma metodologia completamente baseada em reprodução e repetição, perpetuando o que Feynman já havia dito ser um problema: tem-se tudo decorado e nada compreendido. Feynman concluiu que, para os leitores, os livros de física estão repletos de palavras artificiais, sem qualquer significado, que não

representam conceitos, visto que ninguém jamais as traduziu de modo que eles pudessem entendê-las de forma plena. O Halliday et al. (2009), por exemplo, no que tange à cinemática, define um conceito em termos de outros e, um desses outros em termos do primeiro, ou seja, utilizando argumentos circulares, sem que se tenha uma explicação válida, na qual é possível compreender o conceito ou o fenômeno físico, imaginá-lo e enxergá-lo.

Por fim, após algumas breves impressões sobre os livros de Feynman et al. (2008) e Halliday et al. (2009) no que diz respeito à cinemática, encerra-se que os autores tinham um interesse em comum, a saber: ensinar seus leitores algumas propriedades físicas, para que, posteriormente, ele pudesse entender e resolver problemas do cotidiano. Porém, na busca desse ensinamento, os autores utilizaram trajetórias didáticas distintas. Feynman et al. (2008), como um “físico-filósofo”, não deixou de abordar e respeitar a filosofia, conceituando a física e, ao utilizar uma linguagem menos matemática, tornou seu livro mais prazeroso e inteligível. A seu turno, Halliday et al. (2009) assume que seu livro deveria ser direcionado para um leitor com um conhecimento prévio dos cálculos diferencial e integral. Bem organizado e padronizado, Halliday et al. (2009) se preocupa em ensinar o leitor a resolver os exercícios, mas será que houve o verdadeiro entendimento?

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORNHEIM, G. **Os Filósofos Pré-Socráticos**. São Paulo: Cultrix, 1977.

CLAGETT, M. **The Science of Mechanics in the Middle Ages**. Madsin: The University of Wisconsin Press, 1959.

FEYNMAN, R. P.; et al. **Feynman Lições de Física**. Volume 1. Porto Alegre: Bookman, 2008.

FEYNMAN, R. P.; et al. **Surely You're Joking, Mr. Feynman!:** Adventures of a Curious Character. Kindle Edition. New York. W. W. Norton & Company, 2010.

HALLIDAY, D.; et al. **Fundamentos de Física**. Mecânica. Volume 1. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

HISTOIRE DE L'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES. 1761. Disponível em: < <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k3559z>>. Último Acesso: 05 dez. 2016.

RODITI, I. **Dicionário Houaiss de Física**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2005.

ABSTRACT: The physics textbook on mechanics, written by Halliday et al., known as "Halliday 1", is the basic textbook of physics teaching in the early years of the exact courses of Brazilian universities. However, it doesn't always shows the desires and needs of its readers, being them students or teachers. This fact motivated a brief research which result is found in the present article. Here, we examine Halliday et al. under the light of the book written by Feynman et al., considered by many physics teachers too advanced for the basics levels of exact courses. The chosen theme as a parameter of comparison was kinematics.

KeyWords: Kinematics; Teaching; Learning.