

REFLEXÕES SOBRE O ENSINO DE FÍSICA NA ENGENHARIA

Marcos Antonio Florczak¹

Resumo: Neste artigo é apresentada uma perspectiva de abordagem do ensino de Física nos cursos básicos de Engenharia. Ela tem como objetivo fundamental a apresentação dos conceitos, leis e teoremas baseados em uma construção fundamentada na observação crítica da natureza e no desenvolvimento de uma linguagem formal. O conhecimento da evolução histórica destes conteúdos é uma peça fundamental para entender a evolução desta forma científica de interpretar o nosso mundo. É usada a Mecânica como exemplificação do método.

Palavras-chave: Ensino de Física, ensino de Engenharia, história da Ciência.

Abstract: This paper presents an approach on physics being taught in engineering courses. It aims at introducing physical concepts, its fundamental laws and theorems based on critical observation of nature together with the development of a formal language. The evolution of this scientific way of interpreting our physical world can be enriched by the knowledge of the historical evolution of physics. The method is exemplified by its application on Mechanics.

Keywords: Physics teaching, engineering teaching, history of science.

1. INTRODUÇÃO

As disciplinas de Física Básica nas Engenharias e nos cursos de Ciências Exatas são alvos de grandes críticas, algumas vezes pelo alto índice de reprovação ou por que não se percebem as aplicações “práticas” nos referidos cursos. Por parte dos professores, raramente é percebida uma tentativa de reelaborar sua forma de trabalhar estes conceitos básicos. As explicações para os problemas citados são normalmente atribuídas ao ensino médio ruim, mesmo quando há uma grande concorrência no vestibular e a seleção se torna muito rigorosa. Outras explicações

¹ Doutor em Astronomia. Professor Associado do Departamento Acadêmico de Física, da UTFPR. florczak@utfpr.edu.br

são piores ainda, tais como: a necessidade um curso de cálculo antes de Física 1 ou uma disciplina básica conceitual que antecederia esta disciplina, proporcionando uma espécie de nivelamento dos alunos. Esta idéia revela como os professores destas disciplinas básicas esquecem que a linguagem do Cálculo foi construída a partir de uma necessidade de responder as questões simples de como descrever o movimento, e que a Mecânica Básica deveria ser o próprio desenvolvimento desses conceitos fundamentais.

Poucos se dedicam a uma autoreflexão sobre sua postura em sala de aula. Questões como estas são pouco debatidas: Qual a perspectiva do professor ao tratar dos conteúdos básicos de Física? Quais são os pressupostos adotados no ensino? Por que ensinar Física dentro de uma estrutura pouco questionadora? Por que um conhecimento científico é considerado um conhecimento verdadeiro?

Esta última questão se dá de forma circular: um conhecimento só é verdadeiro se for provado cientificamente, pois o conhecimento científico é, “no mínimo”, aquele mais próximo da verdade! E a opinião de muitos professores não supera este senso comum. Quando Galileu fez a experiência da Torre de Pisa, o seu público não verificou que os dois corpos caíam ao mesmo tempo, pois concretamente isto não acontecia, o que Galileu instaura é um modo de ver o mundo baseado em uma abstração de um evento (Galilei, 2004). Os movimentos dos corpos não eram mais regidos por qualidades, mas por quantidades mensuráveis, e um evento poderia ser descrito por um modelo matemático, e assim ele se distanciava das interpretações atribuídas a Aristóteles. Há muitas interpretações sobre o mundo, e a ciência é uma delas! O desconhecimento da evolução histórica dos conceitos da física faz com que muitos professores apresentem a ciência como a única forma de entender o mundo.

A estrutura do ensino de Física Básica pouco difere entre os cursos de Ciência e da Tecnologia no Brasil. O ensino é feito por 4 módulos típicos que todos conhecem e aprenderam, porque esta é a “melhor forma” de ensinar Física, e poucos pensam diferente. Como as questões são negligenciadas e suas respostas são dadas pelo critério de que deve ser assim por que está bom, inovar significa perder tempo com algo que rende poucos pontos nos currículos.

Citando Thomas Kuhn, no prefácio do livro “A Tensão Essencial”: *...os cientistas não aprendiam definições, aprendiam maneiras padronizadas de resolução de problemas seletos...*

Preparar as aulas se tornou uma tarefa de “resolver o livro no quadro de giz”. Muitos justificam que não se está fazendo Ciência e, sim, Filosofia ao se questionar sobre a origem do nosso conhecimento. Esta afirmação é verdadeira, mas será possível refletir sobre estes assuntos e ensinar Física? Acreditamos não apenas ser possível como necessário tomar estas questões não com o objetivo de resolvê-las, mas de poder esclarecer aos alunos que a atual forma de conceber a Física possui uma história e uma evolução dos conceitos a partir de iniciativas e concepções construídas pelo homem e não descoberta a partir de um mundo dado

e pronto para a humanidade.

Pretendo começar a contribuir, ao tratar do ensino de Física dentro desta perspectiva, sobre o ensino básico de Mecânica. Pretendo abordar algumas das questões que foram surgindo ao olhar os livros didáticos e que não seria possível passar sem tentar respondê-las. Apresentamos a Mecânica em uma estrutura de observação da natureza e a construção de uma linguagem matemática capaz de descrevê-la. A história da Física é o cenário de fundo para um entendimento de como esta forma de interpretar o mundo foi surgindo (Martins, 2006; Rossi, 1992).

2. GEOMETRIA

Embora os livros textos tratem sobre os sistemas de unidades e forma de como medimos os intervalos de tempo e o espaço percorrido por um móvel, pouco ou nada dizem sobre a concepção geométrica em que a Mecânica newtoniana está embasada. Na obra clássica de Newton (*Principia*), ele diz que o tempo, espaço, lugar e movimento não necessitam de definição, pois são do conhecimento de todos, mas que é necessário ao leigo uma distinção entre suas quantidades absolutas e as relativas. Sua concepção de tempo e espaço é de que são idéias que não possuem nenhuma relação com nada externo a sua própria natureza absoluta.

Ao negligenciar a importância deste tópico, podemos omitir as disputas desta concepção com a de Leibniz (Casini, 1995), e esquecer que ela será um tópico fundamental para a teoria da relatividade.

A forma como apresentamos na Mecânica atualmente o conceito do espaço e o tempo é bastante operacional, ou seja, é identificado estas duas grandezas como idênticas a sua medida. E, neste caso, temos uma ruptura da ciência com qualquer interpretação qualitativa sobre o assunto. Na História da Filosofia observamos uma grande quantidade de interpretações diferentes sobre este tema, e nossos alunos podem ter suas próprias concepções sobre este tema.

O problema inicial da Física Clássica se torna o de saber onde colocar a régua e o cronômetro para medir deslocamentos e intervalos de tempo, e qual o padrão utilizado na medida. Nosso sistema de coordenadas deve estar na superfície da Terra ou no centro do Sol? Podemos medir o deslocamento de um móvel e representá-la como uma função unívoca da posição em função de um tempo?

A primeira pergunta acima é fabulosa demais para ser negligenciada; afinal ela revela uma história de conflitos entre Ciência e Religião, entre dogmas e investigação da natureza. Afinal, como podemos convencer alguém que a Terra não está parada, e que é ela que gira em torno do Sol? Uma boa resposta seria o fato de que procuramos escolher os modelos mais simples para descrever a natureza, e como eles foram surgindo. Mas se não for utilizada a história como um argumento que demonstre a construção desta forma de ver o mundo, será muito difícil esclarecer honestamente esta questão.

A segunda questão é igualmente fabulosa. Ela revela que nosso mundo também pode ser descrito por funções matemáticas, e que o movimento em um eixo coordenado não influencia o movimento no outro, o que leva inevitavelmente a construir a linguagem vetorial, que estamos acostumados a empregar.

Se formos bastante honestos com nossos alunos, precisamos deixar claro que o que vamos fazer é encontrar uma forma de descrever o mundo, com um olhar para o que acontece com ele, e outro na construção de uma linguagem, que surgirá como respostas às questões da Física. Não explicamos o porquê do mundo, mas como o mundo parece funcionar. Nós vemos o mundo como algo que pode ser medido e previsto, mas nada nos impede de vê-lo sob o olhar poético.

Esta forma de compreender o mundo neste “pano de fundo” faz com que a próxima questão lógica seja a de como podemos caracterizar o movimento. Sua resposta levará a enunciar a primeira lei de Newton. Mas antes nos deparamos com como medir o movimento, ou seja, qual é o critério para se medir velocidade. Nesta simples pergunta, com a sua resposta, damos o primeiro fundamento físico para o Cálculo Diferencial.

A velocidade de um corpo é definida como distância percorrida num intervalo de tempo, o que torna a pergunta sobre sua velocidade num dado instante de tempo um aparente contrasenso lógico. Ao analisar um corpo caindo, ou outro movimento qualquer, que possamos representar por funções, percebemos a necessidade lógica de tomar intervalos de tempo os menores possíveis. Na sala de aula é importante fazer as contas tomando intervalos de tempo gradualmente pequenos e perceber que o resultado da pergunta sobre a velocidade num determinado tempo conduz a um número. Esta forma de responder à questão da velocidade é o método utilizado na Mecânica, e os conceitos de limites e derivadas surgem por uma necessidade conceitual. O Cálculo Diferencial nesta concepção surgiria como um resultado da formalização rigorosa da Mecânica

Assim como o Cálculo Diferencial surgiria de uma resposta sobre a pergunta de como descrever o movimento, o problema inverso pode ser abordado. Se conhecermos a velocidade de um corpo em função do tempo, como podemos encontrar o seu deslocamento? A resposta é bem conhecida, imaginando um movimento qualquer como a soma de muitos movimentos retilíneos uniformes, que nos possibilitará construir o Cálculo Integral. O melhor exemplo neste caso é calcular o deslocamento de um corpo quando a variação de sua velocidade é linear no tempo, sua solução resulta na equação conhecida como equação horária do MRUV. Esta solução resulta de um cálculo da área física da curva da velocidade em função do tempo.

Linguagem e experimentação surgem juntas. Não estamos na dicotomia teoria e prática, o método que estamos construindo faz com que estas duas formas de ver o mundo se complementem. As questões fundamentais em mecânica são formuladas e respondidas com a própria construção de sua linguagem formal. Cabe ao professor demonstrar em sala de aula esta dupla função da linguagem que é a

descrição quantitativa do mundo e a construção de uma forma de ver este mundo. Newton é conhecido como aquele que melhor sintetizou a visão mecânica do mundo. Suas três leis fundamentais formam a base da forma como a Física interpreta o mundo.

3. PRIMEIRA LEI DE NEWTON

Todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em uma linha reta, a menos que ele seja forçado a mudar aquele estado por forças imprimidas sobre ele.

Este é o enunciado na obra *Principia* (Newton, 1990) e que é utilizado com poucas modificações pelos livros-textos. Pela sua aparente obviedade ela é muitas vezes colocada como um caso especial da segunda lei quando colocada a aceleração igual a zero. Se esta explicação fosse verdadeira, esta lei já teria sido omitida dos livros.

O seu enunciado parece ser um raciocínio circular, pois como podemos identificar o estado de repouso ou de movimento uniforme em linha reta? Através da ausência de forças (ou resultante nula, como é afirmado em vários livros textos)! Mas como sabemos que não há forças atuantes ou, se houver, que seja nula a sua soma vetorial? Até o momento a resposta seria através do seu estado de movimento, e assim prosseguiríamos em um pensamento circular.

Percebendo a dificuldade do tema, poderia se adotar, no início da Mecânica, a descrição de que há quatro forças fundamentais no nosso universo e que podemos então identificar tanto a sua presença como a sua ausência investigando a vizinhança na qual o corpo que vai ser investigado se encontra. Esta explicação parece não se sustentar logicamente, pois como justificar quatro conceitos de forças antes de enunciar a segunda e a terceira Lei de Newton que formaram o alicerce para a estrutura do próprio conceito de força dentro da Física? Não estaríamos invertendo a ordem lógica (e cronológica) desta ciência?

Se existir um referencial privilegiado em que possamos identificar o repouso ou movimento uniforme, poderemos resolver o problema. Se as estrelas fixas proporcionarem este sistema de coordenadas, aparentemente sairemos do dilema.

Alguém dentro de um carro na superfície da Terra, que faz uma curva, observa aparentemente um fato que viola a primeira lei, pois se vê sendo acelerado, saindo do repouso, sem encontrar nenhuma causa para este efeito. Um outro “alguém”, de fora do carro sabe muito bem distinguir o fato de que a pessoa interna ao veículo não observa uma violação da primeira lei. Mas um aluno atento a este discurso diria ser impossível ter um fenômeno na superfície da Terra que corrobore esta lei, e diria com facilidade que o Sol seria o centro de um sistema de observação mais eficiente. Se ele conhecer um pouco de astronomia da nossa Galáxia, dirá que é o centro da Via Láctea, ou sucessivamente, levando a dificuldades aparentemente

insolúveis.

A resposta fisicamente plausível a este questionamento seria aquela que admite que fazemos medidas, suposições, e inferências sobre um certo fenômeno investigado, dentro de um sistema de aproximações e reflexões sobre um tema. Que, embora seja um fato de que a superfície da Terra não seja um local plenamente adequado, no sentido de não possuir um ponto de visão mais ampla do experimento, ela serve para alguns propósitos, como aqueles que Galileu teve ao investigar o movimento acelerado. Ao fazer uma conjectura como esta, estamos deixando claro que o método de trabalho do cientista está intimamente ligado ao seu resultado. E não há uma justificativa que este seja o correto, a não ser que é este que usamos.

Como seria um enunciado dentro desta perspectiva de ensino? Há referenciais melhores que outros, e o melhor é aquele que apresenta uma visão mais ampla das vizinhanças do corpo a ser investigado. Neste referencial, um corpo suficientemente isolado, ou seja, afastado de outros corpos que possam exercer influência sobre ele, mantêm-se em repouso ou em movimento retilíneo uniforme.

Esta forma de conceber a primeira lei do movimento não é nova; os livros-texto têm discursado sobre os referenciais mais adequados, chamados de inerciais, onde esta lei seria verificada.

A primeira lei fornece subsídios para reconhecer uma força que surge apenas dentro de um sistema de coordenadas, como aquela que nos impulsionaria para a porta de um carro em uma curva, de outras que seriam independentes do referencial escolhido. Forças “reais” e fictícias podem ser diferenciadas em função de uma melhor escolha do referencial adotado. Sendo assim, a “força centrífuga”, que seria aquela que aparentemente nos puxa para fora em um referencial girante, desaparecia sob o olhar mais abrangente de um observador mais apropriado.

A primeira lei também provoca outra reflexão. Na ausência de forças, um corpo permanece neste estado de movimento descrito acima; a presença delas o altera, logo, surge a dúvida sobre o que são estes corpos e se há alguma propriedade que um corpo possui que o possa distinguir de outro. A resposta, obviamente, é a massa. É esta característica de resistir a esta mudança do estado do movimento que a caracteriza. Isto torna esta grandeza uma medida essencialmente relacional com a sua vizinhança que provoca a alteração do estado de movimento, e não uma característica intrínseca do corpo.

Neste momento, há todas as possibilidades de formular uma lei quantitativa para as grandezas já mencionadas.

4. SEGUNDA LEI DE NEWTON.

Com a primeira lei podemos reconhecer que há um referencial privilegiado para a observação do comportamento mecânico de um corpo. A superfície da Terra não é um referencial que atenda completamente às exigências formais dessa lei, mas o usamos quando a rotação da Terra pode ser negligenciada, ou quando

podemos corrigir os valores medidos levando em consideração este fato de estarmos em um referencial acelerado.

A análise quantitativa do efeito que uma força tem sobre um corpo surge com a escolha de um instrumento de medida. Como não dispomos de uma forma direta de medi-la, podemos construir um instrumento de uma mola linear que relacione a elongação com uma unidade qualquer de força. Com isto podemos analisar a resposta linear e vetorial da força com a aceleração sobre um corpo padrão. Assim podemos atribuir o número 1 ao corpo-padrão e 1 à força quando esta provocar uma aceleração de 1 m/s^2 no corpo-padrão. O que conduz após uma série de experimento e suas interpretações à forma mais usual da segunda lei, ou seja, $\vec{F} = m\vec{a}$.

Uma outra possibilidade seria a análise da força com um sistema de massa variável, algo semelhante ao empurrar um carrinho de compras com velocidade constante enquanto colocamos objetos (corpos padrões) dentro dele. Com um rigor maior encontraríamos a relação: $\vec{F} = \frac{d\vec{m}}{dt} v$

Estas formas podem ser facilmente agrupadas como o conceito de momento linear, $\vec{p} = m\vec{v}$, sendo: $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$. É esta a forma original desenvolvida por Newton.

Com a escolha de um bom referencial, os problemas de Mecânica se encontram em escolher as forças que estão agindo sobre um corpo. No caso de um objeto na superfície da Terra, a força gravitacional poderá ser aproximada pela força-peso, sendo esta considerada constante. Logo, peso não é sinônimo de força gravitacional, mas um caso particular e aproximado desta lei. E a solução da equação do movimento para esta força no lançamento de um objeto na superfície da Terra tem como trajetória aproximadamente uma parábola. Mas esta solução é uma aproximação, pois a força gravitacional não é constante, varia com o inverso do quadrado da distância, e com a direção.

A negligência da resistência do ar não parece muito apropriada, pois leva a crer que dois corpos de mesma massa soltos chegam ao solo juntos, o que vai contra observações que temos a nossa volta. Por isso, este assunto deve ser tratado com cautela e levar o professor a investigar porque nossos alunos aceitam esta versão sem um questionamento. Esta aceitação indica, provavelmente, a pobreza intelectual do ensino de ciências nos níveis médio e fundamental.

Forças que dependem da velocidade são facilmente resolvidas pelo método de Euler (Tipler, 2000), que usa os conceitos de MRU e MRUV na simplificação do movimento entre dois pontos próximos. E se os alunos estiverem cursando uma disciplina Computação, esta pode ser uma oportunidade para uma interação interdisciplinar, como o ocorre no curso de Engenharia de Computação, da UTFPR.

A equivalência entre a massa que aparece na segunda lei e aquela que aparece na lei gravitacional é justamente uma simetria fundamental da gravitação que não pode passar sem ser estudada. Assim como o problema do peso aparente dentro de um elevador acelerado pode ser útil para falar sobre relatividade geral,

que é um assunto da curiosidade de muitos alunos.

Uma questão fundamental da segunda lei é que ela não é uma definição de força, pois ela é instituída a partir do fato de uma força existir e podermos construir um instrumento que possibilite sua quantificação. Logo esta lei analisa o efeito da força e não sua causa. A causa é atribuída às quatro forças fundamentais, ou ainda, suas formas derivadas (Nussenzveig, 1997).

5. TERCEIRA LEI DE NEWTON

A famosa lei da ação e reação parece ter se tornado um senso comum cujo enunciado parece uma declamação feita de forma irrefletida. Uma alternativa é a forma que H. Moysés Nussenzveig adota em seu livro: Curso de Física Básica: Mecânica. Ele deduz a terceira lei a partir da análise da interação de duas partículas isoladas. A partir da conservação do momento linear, é analisado o que ocorre no instante de interação entre as duas partículas. Tomado estes instantes como muito pequenos, obtemos que as forças mútuas são iguais em módulo e têm sentidos opostos. Esta interpretação é muito interessante pois, ela leva a perceber que a interação não ocorre de forma instantânea, pois há um intervalo de tempo finito durante a colisão.

É essencialmente esta lei que leva a explicação do vôo de um avião, ou do caminhar de uma pessoa.

Apenas com a clareza de que estas leis não são imediatas e simples, mas que requer raciocínio apurado para realmente entendê-las, é que podemos passar ao exercício de usá-las sem estratégias decoradas de formas padrões de resoluções. O grande desafio de um professor é conseguir que o aluno seja capaz de identificar as forças que agem em um corpo e quem é o responsável por elas. E mostrar que o caminho para a solução de um problema mecânico requer um raciocínio oriundo da compreensão do método mecânico e da compreensão das 3 leis.

6. TEOREMAS DE CONSERVAÇÃO.

É comum utilizar definições de trabalho, energia cinética e energia potencial para introduzir o tema da energia mecânica. A justificativa para estas definições é que “dá certo” quando reunimos estes conceitos e os colocamos “a prova” empiricamente.

A conservação da energia mecânica é uma lei empírica. Observamos que existe algo que mantém constante enquanto posição e velocidade de um corpo variam quando submetidos a alguns tipos de forças. Estas forças são chamadas de conservativas devido a este fato. Exemplo: força gravitacional e eletromagnética.

Uma característica importante da função que descreve a conservação da energia mecânica é fornecer uma equação que não envolva derivadas segundas. Problemas que podem usar os teoremas de conservação facilitam muito a solução de problemas mecânicos.

A conservação do momento linear é uma outra simetria com que nossos

alunos convivem e provavelmente a intuem facilmente; afinal, muitos já se empurraram uns aos outros sob patins e perceberam a conservação do produto das massas pela velocidade, inclusive na sua forma vetorial. E podemos usar esta simetria em uma colisão entre duas partículas para deduzir a terceira lei de Newton.

A conservação do momento angular pode ser facilmente obtida em uma aula de laboratório. Com uma plataforma girante e com auxílio de halteres nas mãos, observamos que o produto da distribuição de massa no espaço pela velocidade angular se mantém, desde que a plataforma esteja razoavelmente isolada de torques na direção vertical. Com uma roda girante, ao invertemos seu sentido de rotação quando estamos sob esta plataforma, verificamos o caráter vetorial do momento angular.

Estes 3 teoremas de conservação possuem uma origem empírica, ou seja, observamos que o nosso universo se comporta de forma a manter uma determinada função constante sob determinada circunstância. Em um curso de Mecânica é necessário tornar o desenvolvimento formal destes conceitos compatíveis com as 3 leis de Newton, para isto, é necessário o desenvolvimento de uma linguagem apropriada. Os cursos de Engenharia atendem a esta necessidade quando colocam um curso de Álgebra Linear, Geometria Analítica e Cálculo Diferencial e Integral paralelos aos cursos de Física no seu ciclo básico de formação.

7. CONCLUSÃO

Neste artigo tentei defender um ensino básico de Física que tenha como meta fundamental apresentar os conceitos de Física com uma justificativa formal e experimental em toda a construção do conhecimento científico. A história da Ciência e a reflexão sobre a forma com que estes conceitos foram sendo construídos não é apenas uma alegoria em sala de aula, mas um método verdadeiramente utilizado como ferramenta do processo de ensino.

Cito a frase da Anna Maria Pessoa de Carvalho (1989) contida no seu livro “Física: proposta para um ensino construtivista”: *Ao ensinar Física a nossos alunos, ao fazermos com que eles construam o seu conhecimento em Dinâmica, não podemos nos esquecer de que estamos formando um raciocínio, que estamos ajudando a construir, em cada aluno, uma reestruturação do mundo.*

REFERÊNCIAS

- Carvalho, Anna Maria Pessoa. *Física: proposta para um ensino construtivista*. EPU, 1989.
- Casini, Paolo. *Newton e a consciência europeia*. Unesp, 1995.
- Galilei, Galileu. *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico & Copernicano*. Discurso, 2004.
- Kuhn, Thomas S. *A tensão essencial*. Ed. 70, 1977.
- Martins, Roberto de Andrade. *A história das ciências e seus usos na educação*. In: *Estudos de história e filosofia das ciências*. Ed. Física, 2006.
- Newton, Isaac. *Principia-princípios matemáticos de filosofia natural*. São Paulo: Edusp, 1990.
- Nussenzveig, H. Moyses. *Curso de física básica 1 – mecânica*. São Paulo: Edgard Blücher, 1997.
- Rossi, Paolo. *A ciência e a filosofia dos modernos*. São Paulo: Unesp, 1992.
- Tipler, Paul A. *Física – oolome 1*. Rio de Janeiro: LTC, 2000.