

Considerações metodológicas sobre o uso de fontes primárias no ensino de Física¹

Ricardo Karam*

Resumo

Há mais de cem anos ensinamos e aprendemos física por meio de livros didáticos. Para membros externos a essa comunidade, pode parecer estranho termos que aprender sobre “leis de Newton”, “equações de Maxwell” ou “teorema de Noether”, sem consultarmos as obras escritas por esses autores. Neste trabalho apresento dois episódios que ilustram o uso de fontes originais no ensino de mecânica e termodinâmica. O objetivo dos episódios é tentar extrair aspectos metodológicos gerais que conduzam a um uso produtivo de fontes primárias no ensino de física.

Palavras-chave: Fontes originais, Ensino de Física; Lei da Gravitação Universal de Newton; Gênese da Entropia; Clausius.

Introdução

Sabemos que há uma tradição muito grande em ensinar e aprender física com livros didáticos, e há inúmeras razões para se fazer isso. Uma pergunta que poderia ser feita, entretanto, é o que aconteceria se nós fossemos direto à fonte? Para uma pessoa que não é da física pode parecer estranho o fato de que aprendemos as Leis de Newton não lendo Newton, de que aprendemos as equações de Maxwell não lendo Maxwell, de que a equação de Schrödinger não é aprendida lendo-se Schrödinger. Imagine isso na área de literatura. Se falarmos que não podemos aprender determinado autor lendo diretamente o livro, a fonte original, isso pode parecer um pouco estranho. Por que precisamos desses intermediários? Por que não podemos ir direto à fonte?

* Doutor em Educação pela Universidade de São Paulo. Professor na University of Copenhagen, Denmark.

A ideia pode parecer sedutora à primeira vista, mas quando vamos nos debruçar e abrir uma fonte original, é assustador, com frequência a primeira reação é que o texto é incompreensível. Se tentarmos ler a proposição 11 do Principia do Newton ou o tratado de Maxwell, veremos que os enunciados são muito diferentes do que estamos acostumados. Provavelmente um encontro despreparado com os trabalhos originais pode provocar um sentimento de confusão e nos fazer voltar ao “porto seguro” dos livros didáticos. A partir desse entendimento, a proposta do presente trabalho é discutir a possibilidade de um meio termo, isto é, como podemos fazer uso dessas fontes originais de forma produtiva e que nos oportunize aprender física. O desafio está em discutir sobre uma espécie de didatização de fontes originais.

Para tanto, na seção 2, apresento alguns critérios iniciais que julgo serem importantes para a seleção de originais que podem ser utilizados no contexto didático. Na sequência, apresento dois episódios que exemplificam tais critérios e ilustram o potencial didático do uso de fontes primárias.

Critérios para seleção de fontes primárias no ensino de Física

Nesta seção, serão discutidos cinco critérios que podem ser utilizados na escolha de fontes primárias no ensino de Física. Tais critérios contribuíram para a seleção dos dois episódios que serão discutidos na sequência e podem contribuir para a busca de outros episódios para serem utilizados em sala de aula.

a) Seleção criteriosa: trechos curtos e insights profundos

Nem todo material histórico pode ser explorado facilmente na sala de aula. Há textos que podem ser muito longos, ou adotar notações muito diferentes, ou, simplesmente, não trazem uma contribuição muito significativa em relação ao que já é, usualmente, discutido nos livros didáticos. Por isso, o primeiro critério para a adoção de fontes primárias é a seleção criteriosa dessas fontes.

Em especial, devemos escolher trechos curtos que levem diretamente a algum *insight* profundo, que tragam alguma discussão e entendimento que ajude a compreender o conceito físico em questão e que, normalmente, não é apresentado pelos livros didáticos atuais. Nesse sentido, é necessário que se faça uma análise e um

estudo cuidadoso dessas fontes até se encontrar quais elementos são promissores para contribuir com o ensino de Física.

b) Tradução para notação moderna

Uma vez selecionado os textos adequados, devemos ter clareza que há necessidade de uma tradução para notação e linguagem moderna. Os conceitos físicos se modificam com o tempo, assumindo novas relações e significados. Nesse sentido, é importante fazer observações sobre como o conceito era entendido e apresentado naquela época e como isso se configura hoje.

c) Objetivos educacionais claros

O uso de fontes primárias não deve ser usado apenas como uma curiosidade, mas deve entrar na proposta de ensino como um elemento que ajudará a atingir um determinado objetivo didático. O que você quer focar? O queremos que o seu aluno aprenda com esse trecho? Ter clareza dos objetivos pedagógicos é fundamental para decidir quais fontes utilizar na sala de aula.

d) Ter boas fontes secundárias

Sempre que possível é bom valer-se de fontes secundárias que ajudem a entender um determinado episódio. Ao ler as fontes secundárias, isso pode contribuir para a compreensão do texto, das motivações, dos passos que não são explicados pelo próprio autor. Assim, é importante, sempre que possível, consultar artigos especializados que discutam a obra a ser apresentada.

e) Comparar com os livros didáticos contemporâneos

Principalmente no contexto de formação de professores, pode ser profícuo comparar a forma original com a maneira usual de ensinar. Essa comparação pode contribuir para entender o próprio processo de “transposição didática”, ressaltando como os conceitos e episódios históricos ganham outros sentidos no contexto didático.

Esses critérios, apresentados de uma forma ampla podem parecer abstratos, portanto, na sequência, trago alguns episódios que exemplificam o uso desses critérios.

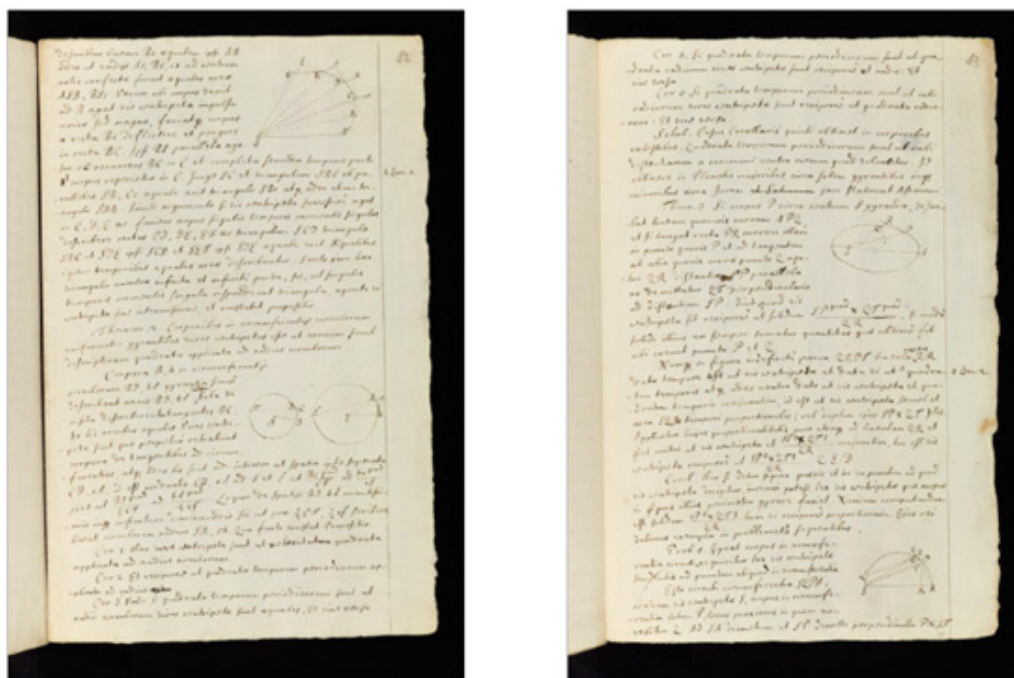
Episódio 1: Força *PQRST* de Newton

O primeiro episódio pode ser chamado de Força *PQRST* de Newton. O objetivo dessa apresentação não é mostrar todos os detalhes do texto e exaurir sua discus-

são, mas, somente, introduzir aspectos gerais que permitam a discussão sobre a potencialidade didática do uso de fontes primárias no ensino de Física.

No primeiro episódio, vamos falar da força *PQRST* do Newton, a partir de dois teoremas apresentados em um manuscrito famoso de Newton “DE MOTU CORPORUM IN GYRUM”. Na verdade, esse trabalho foi que tornou o Newton famoso. Há um episódio em que o Halley foi visitar Newton, perguntando a ele como se relaciona a força proporcional ao inverso do quadrado da distância com a trajetória elíptica da órbita de um planeta em torno do Sol. Para entender a essência do raciocínio de Newton, vamos nos concentrar aqui no teorema 1 e no teorema 3 deste manuscrito.

Figura 1: Duas páginas da obra DE MOTU CORPORUM IN GYRUM publicada por Newton em 1687

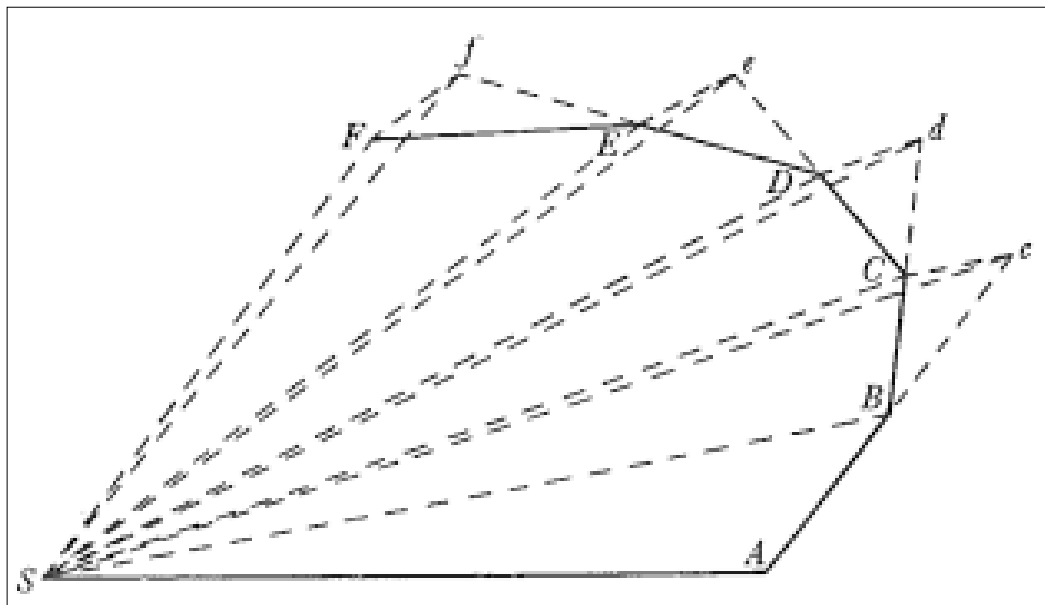


Basicamente o que o Newton fez foi achar uma maneira de explicar, de deduzir, as duas primeiras Leis de Kepler, mostrando *por quê* essas leis são dessa forma.

No primeiro teorema, Newton mostra que se assumimos uma força central, temos como consequência a segunda Lei de Kepler, que afirma que o segmento imaginário que une o planeta ao sol varre áreas iguais em tempos iguais. A demonstração está

baseada na Figura 2: imagine que o Sol está em S . Inicialmente, o planeta se desloca do ponto A até o ponto B , em uma trajetória retilínea e continuaria em linha reta até o ponto c , mas quando ele chega em B , recebe uma força central, uma espécie de “chute” instantâneo, que o desvia. Então, a trajetória dele, que seria de B até c , passa a ser de B até C . O objetivo desse teorema é mostrar que a área varrida quando ele vai de A até B , ou seja, o triângulo SAB é igual à área do triângulo SBC . É um pouco confuso porque há algumas linhas que passam por cima, mas esse é o objetivo². A demonstração tem duas etapas. A primeira é mostrar que os triângulos SAB e SBc têm a mesma área. Isso se deve ao fato de ambos terem a mesma base ($AB = Bc$) e a mesma altura (distância entre a reta que contém Ac e o ponto S). A segunda é provar que os triângulos SBc e SBC possuem a mesma área. Isso ocorre porque eles têm a mesma base (SB) e a mesma altura (distância entre as retas que contêm SB e Cc). O ponto crucial é perceber que o desvio provocado pela ação da força instantânea em B , desvio este representado pelo segmento Cc , é *paralelo* ao segmento SB , pois assume-se que a força em B é *central*. Em essência, esse teorema demonstra que, se assumirmos uma força central, temos como consequência que o segmento que une o planeta ao sol varre áreas iguais em tempos iguais.

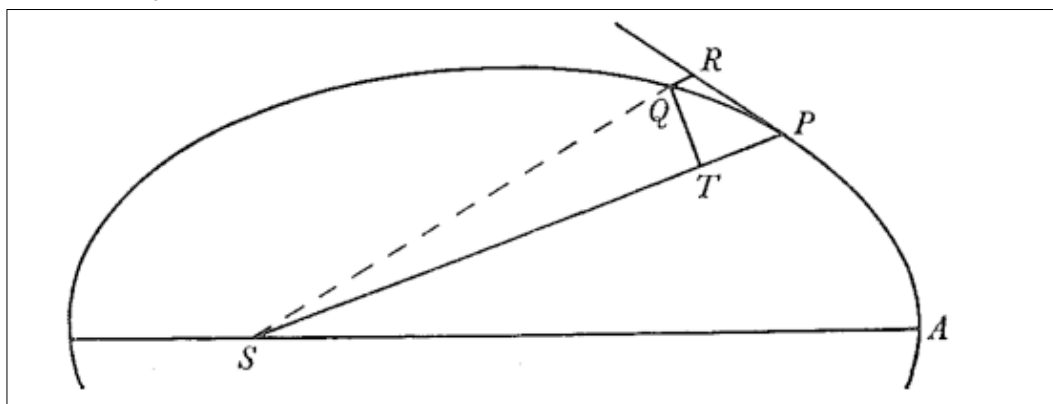
Figura 2: Teorema 1 de Newton



No teorema 1, Newton mostra que, para qualquer força central, temos a segunda Lei de Kepler, e, agora, ele quer quantificar, quer obter a magnitude dessa força que, por sua vez, depende da forma da trajetória da órbita e onde está localizado o centro de força que é o Sol. Esse é o objetivo do teorema 3, no qual Newton obtém uma expressão para a magnitude força, a qual chamamos de *PQRST*.

A demonstração tem como base a Figura 3. Em primeiro lugar, é importante ressaltar que não necessariamente essa curva é uma elipse e, não necessariamente, esse *S* é o foco. É só uma curva genérica. Imagine que o planeta esteja descrevendo essa trajetória e o Sol está localizado em um ponto *S*. Então, o que é *PQRST*? A ideia é a seguinte: suponha que ele está, inicialmente, em *P*, a tendência do planeta devido a sua inércia era continuar de *P* até *R*, mas, agora, ele não vai mais falar de um “chute” instantâneo, mas sim de uma força constante atraindo o planeta para *S*, que vai desviar o planeta da trajetória inercial *PR* e vai fazer o planeta chegar no ponto *Q*.

Figura 3: Força PQRST



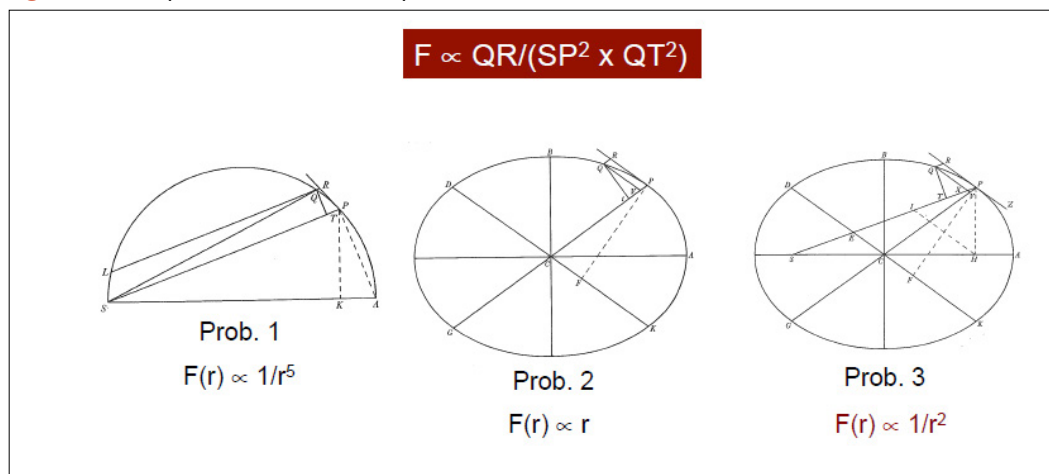
A consideração é infinitesimal, então, supondo que *Q* está muito próximo de *P*, a hipótese que Newton vai fazer é que essa força é constante. Se a força é constante, e dado que força é proporcional à aceleração segundo Newton, vamos ter uma aceleração constante. Se pegarmos a fórmula de Galileu para o movimento com aceleração constante, iremos ver que a aceleração é proporcional à distância e inversamente proporcional ao tempo quadrado. Normalmente, escrevemos $d = \frac{1}{2}at^2$, mas basta isolarmos a aceleração para obter $a = \frac{2d}{t^2}$. Como $F \propto a$, podemos concluir que $F \propto \frac{d}{t^2}$.

Fazendo essa hipótese de força constante, temos o seguinte: a distância de P até Q , na verdade é uma distância na direção da força, então, é justamente esse desvio QR representado na Figura 4, que é o nosso d . E o tempo como vai ser calculado? O tempo vai ser calculado a partir do teorema 1 que é a área que esse segmento varreu e essa área vai ser aproximada - sempre falamos de infinitesimal, pela área desse triângulo SPQ , então, no lugar do tempo vai aparecer a área: base $\times$ altura do triângulo ao quadrado.

$$F \propto \frac{QR}{SP^2 \cdot QT^2}$$

Essa é a fórmula $PQRST$ do Newton. E para que serve essa fórmula? Newton vai usá-la como uma fórmula geral, e ele vai aplicar a diversos casos específicos para achar leis de força diferentes para cada caso. Como é que ele vai fazer isso? Vejam um problema que existe aqui (Figura 4): Q está tendendo a P , na verdade QR está tendendo a zero e QT também está tendendo a zero, quando o ponto Q se aproxima de P . O truque geométrico é o seguinte: para cada forma de órbita e posição do Sol, ele vai atrás dessa relação de $\frac{QR}{QT^2}$ e ele tenta expressá-la em função de SP . SP é a distância entre o solo e o planeta, e ele consegue uma força que é dependente da distância, só para ser bem específico, no manuscrito DE MOTU, Newton resolve três problemas (Figura 4).

Figura 4: Três problemas resolvidos por Newton



No primeiro, ele coloca o Sol em um ponto de uma semi-circunferência, e mostra que quando o Sol está na extremidade, aplicando a fórmula $PQRST$, a força é proporcional a $1/r^5$. Em outras palavras, ele consegue mostrar que QR/QT^2 é $1/SP^3$, onde SP já é a própria distância r .

O segundo problema que Newton resolve, é um problema muito interessante e muito contraintuitivo. Ele pega a elipse e põe o Sol no centro da elipse, *não* no foco, no *centro*. A seguir, ele mostra que, aplicando essa fórmula podemos chegar a uma força proporcional à distância. Considero interessante esse exemplo porque é contraintuitivo, uma vez que temos o oposto da gravitação, quanto maior a distância, maior a força, como se fosse uma mola, uma Lei de Hooke, uma mola conectando o sol ao planeta, na qual ao ficarmos cada vez mais longe do sol a força fica cada vez maior. Entendo que tal exemplo é interessante porque, na verdade, as excentricidades das órbitas são tão pequenas que é meio contraintuitivo imaginar que só por que tiramos o Sol do centro e colocamos num foco, que, na verdade, está bem pertinho, chegamos em um resultado tão diferente qualitativamente. Na verdade, no problema 3, Newton mostra aplicando essa mesma fórmula geral, que para uma elipse com o Sol no foco, a Lei de força é $1/r^2$ e aí ele resolve o problema proposto por Halley.

Permitam-me recomendar um artigo³ que apresenta esse episódio de maneira muito didática e propõe uma atividade para alunos do Ensino Médio com o objetivo de entender o significado da força $PQRST$. Julgo que esta artigo é um excelente exemplo de como é possível levar o raciocínio original para a sala de aula de maneira produtiva.

Algumas lições pedagógicas do primeiro episódio

Quais são algumas possíveis lições que podemos tirar desse episódio? Como podemos justificar o valor educacional do mesmo? Primeiramente, vemos uma conexão mais profunda entre as Leis de Kepler com a Lei da Gravitação Universal de Newton. Conseguimos mostrar que a lei das áreas é uma consequência de assumirmos uma força central, e que a trajetória elíptica com o Sol no foco está relacionada com uma força que cai com $1/r^2$. É muito difícil percebermos a relação entre essas coisas no Ensino Médio.

Para o Newton, força e tempo são entes geométricos, o que fica muito claro neste episódio. Tempo é uma área e força é uma relação entre segmentos, no próprio DE

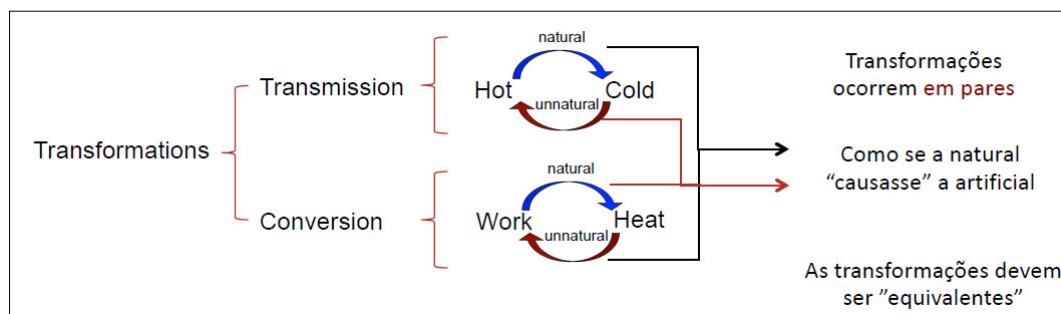
MOTU ele fala em força proporcional ao inverso de um volume. É muito interessante perceber como essas grandezas são geométricas, como o pensamento dele é geométrico. Percebemos também como Newton que a força seja constante para um pequeno Δt , a aproximação linear que fazemos de maneira rotineira. Por fim, nos damos conta de que *PQRST* é uma receita geral, a natureza é que vai nos dizer vai nos dizer qual é a órbita e onde está o sol, para que possamos calcular a lei de força. Trata-se de um excelente exemplo de *hypothesis non figo*!

Episódio 2: A Gênese da Entropia

No segundo episódio, abordaremos a gênese da entropia. Para tanto, discutiremos um trecho de um trabalho que historiadores, em geral, concordam que é o primeiro trabalho em que o conceito de entropia é proposto claramente, embora, ainda, não com esse nome. É um artigo escrito por Rudolf Clausius em 1854, intitulado *Sobre uma forma modificada do segundo teorema fundamental da teoria mecânica do calor*. Olivier Darrigol, um famoso historiador da física, fala que esse é um dos ‘memoirs’ mais estranhos de toda a história da física.

Clausius foi influenciado pelo trabalho de Carnot, teorizando a questão das máquinas térmicas e os processos envolvendo troca de calor e transformação deste em trabalho. A ideia conceitual do artigo está expressa na Figura 5.

Figura 5: Transformações para Clausius



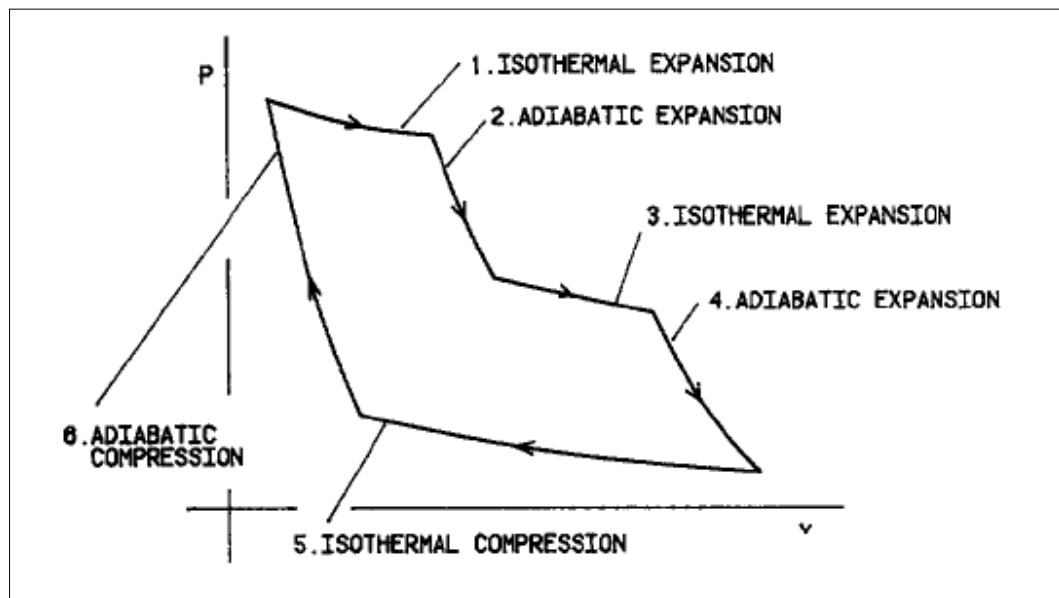
Clausius está propondo falar em transformações de uma maneira geral e dividir transformações em dois tipos: transformações de transmissão e as transformações de

conversão. Transformações de transmissão é muito simples: calor passa do quente para o frio e do frio para o quente. A transmissão de calor do quente para o frio trata-se de um processo *natural*, que acontece espontaneamente. O calor passa do quente para o frio de uma maneira natural, mas do frio para o quente é *artificial*.

Ele faz uma mesma consideração para os processos de conversão de calor em trabalho ou vice-versa. Clausius considera que converter trabalho em calor é um processo natural. É como quando enchemos o pneu da bicicleta, estamos comprimindo o ar e sentimos que ele aquece. Esse é um processo natural, agora o oposto, converter calor em trabalho, especificamente nesses ciclos em máquinas térmicas, é um processo artificial, não é natural.

Essa é a classificação conceitual importante que Clausius coloca no trabalho, e a ideia dele é que em uma máquina térmica operando em ciclos essas transformações ocorrem em pares, é como se a natural *causasse* a artificial. Nesse contexto, ele está falando de ciclos reversíveis e, para ele, essas transformações devem ser equivalentes. Esse é o quadro conceitual. Na sequência, Clausius propõe um ciclo, que representamos na Figura 6.

Figura 6: Ciclo de Clausius (Fonte: CROPPER, 1986).



Clausius propõe um ciclo que vamos chamar do Ciclo de Clausius e que é levemente modificado em relação ao ciclo mais famoso que conhecemos, o Ciclo de Carnot. O Ciclo de Clausius, é muito parecido com o de Carnot, mas em vez de quatro transformações, possui seis. Em um Ciclo de Carnot temos os seguintes processos: expansão isotérmica, expansão adiabática, compressão isotérmica e compressão adiabática. O Clausius coloca mais uma expansão adiabática e uma isotérmica.

Ele quebra a primeira expansão isotérmica em duas; por que ele faz isso? Porque quer separar a quantidade de calor fornecida pelo sistema que é transformada em trabalho, da quantidade de calor que passa pelo sistema da fonte quente para a fonte fria. Ele quer olhar esses processos de conversão e de transmissão separadamente. Clausius propõe o seguinte: na primeira expansão isotérmica, a máquina retira uma quantidade de calor Q da fonte K que está a uma temperatura T . Na segunda expansão isotérmica, ele retira uma quantidade Q_2 de uma fonte K_2 que está na temperatura T_2 . Quando o gás é comprimido isotermicamente, ele vai rejeitar essa *mesma* quantidade Q_2 para uma fonte K_1 a uma temperatura T_1 . Ou seja, aquela quantidade de calor que foi fornecida para o gás na primeira expansão isotérmica é, exatamente, igual ao trabalho líquido desse ciclo.

Com isso, Clausius consegue separar essas duas transformações. Existe uma quantidade de calor Q , que é retirada de uma fonte a uma temperatura T e é *transformada* em trabalho W , e uma quantidade de calor Q_2 que é *transmitida* de uma fonte a temperatura T_2 para outra a uma temperatura T_1 . Aqui temos as transformações de conversão e transmissão. Se revertermos esse ciclo, temos o processo inverso, - se estivermos falando de um refrigerador, não de uma máquina térmica, você vai realizar trabalho e uma quantidade de calor é rejeitada de uma fonte a T_1 para uma fonte T_2 com uma temperatura maior.

Para Clausius há uma *equivalência* entre essas transformações, é como se uma transformação causasse a outra, o que levou a que ele criasse uma grandeza que expresse essa equivalência. Nas palavras dele, essas duas transformações podem ser consideradas fenômenos da mesma natureza e, então, ele fala: temos que encontrar uma lei na qual essas transformações sejam expressas através de quantidades - grandezas matemáticas - na qual o valor matemático dessa transformação vai ser chamado valor de equivalência (*Äquivalenzwert*).

Clausius quer achar alguma grandeza matemática que expresse o seguinte: o valor referente a uma transformação é, numericamente, igual ao da outra trans-

formação. Para tanto, ele faz a seguinte hipótese: ele considera que esse valor de equivalência é proporcional à quantidade de calor transformada/transmitida e à temperatura ou às temperaturas se se tratar de transmissão. Com isso, ele começa a matematizar e escreve uma função que tem essas características: se estivermos falando de transformações de conversão, que é uma função da temperatura vezes o calor convertido em trabalho ou o trabalho convertido em calor:

$$-f(t)Q$$

No caso do ciclo de Clausius, temos calor sendo convertido em trabalho. Se fosse o contrário, teríamos o sinal positivo. Por outro lado, quando temos transmissão, há uma função das duas temperaturas vezes a quantidade calor transmitida:

$$F(t_1, t_2)Q$$

No ciclo de Clausius, fica muito nítido que esses dois processos são equivalentes. Nessa situação, a soma tem que dar zero. Temos aqui o processo natural que é calor Q_2 saindo de T_2 para T_1 e uma quantidade de calor Q , sendo transformada em trabalho. Clausius escreve assim esse processo:

$$F(t_2, t_1)Q - f(t)Q = 0$$

Com isso ele propõe imaginar um outro ciclo de Clausius em que a única diferença é que retiramos uma outra quantidade Q' de uma outra temperatura T' . Somente sobe ou desce aquela primeira isoterma lá do ciclo de Clausius original, fazendo isso chegamos na expressão a seguir,

$$F(t_2, t_1)Q - f(t')Q' = 0$$

igualando as duas ou simplesmente as comparando, concluímos que

$$f(t)Q = f(t')Q',$$

ou seja, a magnitude dessa função de temperatura é inversamente proporcional à quantidade de calor convertida.

Em seguida, Clausius considera um ciclo de Carnot, em que se retira Q' de uma fonte K' que está a uma temperatura T' , e se rejeita Q para uma fonte K de

uma temperatura T e a diferença dessas quantidades é transformada em trabalho. Assim, temos que a quantidade Q foi *transmitida* através do sistema, enquanto $Q' - Q$ foi convertida em trabalho. Matematicamente:

$$F(t', t)Q - f(t')(Q' - Q) = 0$$

Substituindo $f(t)Q = f(t')Q'$ na última equação e eliminando Q , temos a seguinte relação:

$$F(t', t) = f(t) - f(t') ,$$

que expressa $F(t', t)$ em termos de $f(t)$ e $f(t')$ e nos permite expressar essas relações somente em função de $f(t)$.

Retornando a expressão do Ciclo de Clausius, temos:

$$f(t_2)Q_2 - f(t_1)Q_1 + f(t)Q = 0$$

E para o ciclo de Carnot:

$$f(t')Q' - f(t)Q = 0$$

Assim, de maneira geral, relações expressando equivalência de transformações em ciclos reversíveis têm a forma:

$$\sum f(t)Q = 0$$

Já Carnot, mas de uma maneira mais sistemática com Lorde Kelvin, mostra que para um Ciclo de Carnot, a relação entre a quantidade de calor retirada/transmitida de/para a fonte quente/fria (Q_Q e Q_F), e as temperaturas absolutas das fontes (T_Q e T_F) é constante, isto é

$$\frac{Q_Q}{T_Q} = \frac{Q_F}{T_F}, \text{ ou}$$

$$\frac{Q_Q}{T_Q} - \frac{Q_F}{T_F} = 0$$

A origem do conceito de temperatura absoluta de Kelvin, e sua relação com o Ciclo de Carnot, é uma história muito interessante e seria outro episódio com potencial pedagógico, mas não a abordaremos aqui. O que isso nos sugere, por analogia, é que a função de temperatura na verdade é o inverso da temperatura absoluta:

$$f(t) = \frac{1}{T}.$$

O que acontece é que a partir do momento em que essa função de temperatura é o inverso da temperatura absoluta, e se tratarmos com processos infinitesimais, essa somatória passa a ser uma integral

$$\oint \frac{dQ}{T} = 0$$

Isso, claro, para um ciclo reversível, um processo cíclico, mas reversível, essa coisa de equivalência é característica de um processo reversível. Sobre isso Clausius fala: e se não for reversível? Bom se não for reversível essa soma só pode ser sempre positiva. Por quê? Porque você tem os processos naturais acontecendo e não sendo compensados pelos artificiais. E aí ele dá um exemplo, a transmissão de calor por condução: aproximamos dois blocos e vemos o equilíbrio térmico. Somente temos transmissão de calor do corpo, sem realização de trabalho só tem o processo natural, sem o processo artificial. Portanto, essa relação é positiva, então ele anuncia a lei dessa forma. Sempre maior ou igual a zero vai ser igual sobre o processo reversível.

Lições do episódio 2

O desafio é como motivar nos estudantes a necessidade desse conceito estranho que é a entropia. A tentativa neste caso é olhar no Clausius e tentar ver como isso pode ser feito. O Clausius tem essa distinção entre transformações naturais e artificiais, o ciclo de Clausius nos ajuda a separar as coisas, separar transmissão da conversão, e a resposta que o Clausius dá nesse trabalho inicial, que é o primeiro trabalho que propõe entropia, é a seguinte: entropia é uma grandeza matemática criada para expressar a conexão (ou a equivalência) no caso do ciclo reversível, entre a transmissão de calor entre duas temperaturas e a conversão de calor em trabalho.



Considerações Finais

Discutimos ao longo desse artigo, que trazer fontes primárias para o contexto didático pode contribuir para o aprendizado de Física. Em especial, iniciamos questionando por que precisamos de intermediários? Podemos ir direto à fonte e ter uma certa independência para estudar a própria obra. Para nós que ensinamos física, podemos encontrar maneiras diferentes de explicar as coisas, diferentes demonstrações e caminhos. Isso nos ajuda a entender processos e não somente produtos.

E, principalmente, na formação de professores, trata-se de um recurso muito rico para refletir de maneira crítica sobre a transposição didática. Precisamos ensinar desse jeito? Ou seja, isso realmente nos põe em um outro nível para refletir sobre a transposição didática e nos torna um pouco mais humildes, quando entendemos um pouco melhor a dificuldade de aprendizagem dos nossos alunos ao nos depararmos com fontes originais.

No texto, foram propostos alguns critérios para contribuir com a seleção de fontes primárias que possam auxiliar nesse processo didático. Além disso, foram apresentados dois exemplos em que se procurou mostrar a importância de selecionarmos trechos curtos. O professor deve ter objetivos educacionais muito claros com esses trechos. A chance de encontrarmos boas fontes é maior se pegarmos problemas de conteúdo dos mais tradicionais, ou seja, que fazem parte do que ensinamos, e para os quais os originais dão novos *insights*.

Não precisamos generalizar, mas diria que normalmente é melhor apresentar a discussão histórica *a posteriori*, quer dizer, começar a falar de Leis de Kepler, mostrando a força *PQRST* de Newton, talvez não seja a melhor estratégia, mas depois de aprender pela maneira tradicional, podemos refletir e comparar, então, na formação de professores, por exemplo, acredito que há mais chance de sucesso.

Methodological Considerations on the use of primary sources in Physics Education

Abstract

For over a hundred years we have been teaching and learning physics through textbooks. For members outside this community, it may seem strange to have to learn about “Newton’s laws”, “Maxwell’s equations” or “Noether’s theorem” without consulting the works written by these authors. In this work, I present two episodes that illustrate the use of original sources in the teaching of mechanics and thermodynamics. The purpose of the episodes is to try to extract general methodological aspects that lead to a productive use of primary sources in the teaching of physics.

Keywords: Primary sources, Physics Education, Newton’s Gravitation Law, Entropy, genesis of entropy, Clausius.

Notas

- ¹ Transcrição da palestra proferida no I Encontro sobre História e Filosofia no Ensino de Física do Sul do Brasil, realizado em 2021.
- ² Uma animação bastante didática pode ser encontrada em https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Newtons_proof_of_Keplers_second_law.gif
- ³ PRENTIS, J. et al. Elliptical Orbit $\Rightarrow 1/r^2$ Force. *The Physics Teacher*, v. 45, n. 1, p. 20–25, 2007.

Referências

Episódio 1

NEWTON, I. De motu corporum in gyrum (1684). Original em latim disponível em <https://www.newtonproject.ox.ac.uk/view/texts/normalized/NATP00089>. Trad. para o inglês D. T. Whiteside (Ed.), **Mathematical Papers of Isaac Newton**, v. 6 (1684–1691), Cambridge University Press, 1974, p. 30-91.

PRENTIS, J.; FULTON, B.; HESSE, C.; MAZZINO, L. Elliptical Orbit $\Rightarrow 1/r^2$ Force. **The Physics Teacher**, v. 45, n. 1, p. 20–25, 2007

FEYNMAN, R. **Feynman’s Lost Lecture**. WW Norton, New York, 1996.

Episódio 2

CLAUSIUS, R. **The mechanical theory of heat** (1879). Trad. para o inglês de importantes trabalhos de Clausius sobre entropia. Neste artigo apresentamos o memoir 4, p. 91-109. Disponível em: <https://www3.nd.edu/~powers/ame.20231/clausius1879.pdf>.

CROPPER, W. H. Rudolf Clausius and the road to entropy. **American Journal of Physics**, v. 54, 1986.

