

# Reflexões acerca de ambiguidades envolvendo o conceito de

# calor

## para subsidiar discussões em sala de aula



.....  
Osmar Henrique Moura da Silva<sup>#</sup> , Ricardo Vignoto Fernandes 

<sup>1</sup>Departamento de Física, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, Brasil.  
.....

### Palavras-chave

ambiguidades relacionadas ao calor  
reflexões conceituais  
implicações pedagógicas  
Ensino Médio

### Resumo:

Trabalhos anteriores situaram determinadas dificuldades educacionais relacionadas ao conceito de calor ao levantarem aparentes ambiguidades conceituais existentes em livros de física básica comumente utilizados em anos iniciais de graduações, fornecendo reflexões qualitativas para subsidiar o professor em discussões em sala de aula. Continuando essa linha de raciocínio, o presente trabalho objetiva apresentar distintas reflexões a partir de outras ambiguidades aqui apontadas como contribuição aos subsídios educacionais sobre esse conceito fundamental em termodinâmica, de modo a caracterizar recomendações com linguagem conceitual consistente mediante implicações pedagógicas que serão estabelecidas e direcionadas ao nível médio de ensino. Espera-se que os cuidados apontados possibilitem inibir as ambiguidades conceituais aqui reunidas e atreladas à noção científica de calor, por vezes subestimada na classificação de um dos conceitos físicos mais difíceis tanto de ser ensinado como de ser aprendido.

### 1. Introdução

Silva e cols. [1] situaram determinadas dificuldades educacionais relacionadas ao conceito de calor, caracterizando reflexões qualitativas para subsidiar o professor em sala de aula. Em essência, esses autores promoveram discussões a partir da vinculada situação em que esse conceito toma significado, isto é, em um contexto de diferença de temperaturas, porém sinalizando definições divergentes encontradas em livros de física básica dos anos iniciais de gradua-

ções que, nesse contexto, ora declaram o calor como “a energia transferida...” [2, p. 217; 3, p. 183; 4, p. 399; 5, p. 449, 6, p. 160], ora o declaram como “a transferência de energia...” [5, p. 450; 6, p. 160; 7, p. 347; 8, p. 183; 9, p. 20; 10, p. 113]. Trabalhos na literatura ressaltam essa ambiguidade presente em livros didáticos de graduações [11, p. 392; 12, p. 2].

Assim, tal ambiguidade<sup>1</sup> traz razoável precaução pedagógica ao conduzir uma discussão no Ensino Médio, por exemplo, partindo de uma questão aparentemente tri-

**Silva e cols. situaram determinadas dificuldades educacionais relacionadas ao conceito de calor, caracterizando reflexões qualitativas para subsidiar o professor em sala de aula**

<sup>#</sup> Autor de correspondência. E-mail: [osmarh@uel.br](mailto:osmarh@uel.br).

Este é um artigo de acesso livre sob licença Creative Commons



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Copyright © 2023, Copyright by Sociedade Brasileira de Física. Printed in Brazil.

vial, como: “Não é correto se afirmar que um corpo tem uma certa quantidade de calor, embora o seja dizer que este corpo transferiu calor para um outro. Como é possível um corpo fornecer algo que não tem?” [7, p. 405].

Acerca dos fenômenos térmicos, sabe-se que a literatura em educação científica tem apontado modos de pensar do senso comum que estabelecem relações entre os esquemas de calor e frio e as sensações físicas provocadas por eles, preponderando a concepção espontânea de que a temperatura é diretamente proporcional à quantidade de calor existente em um corpo [13, p. 30; 14, p. 264; 15; 16, p. 1543]. Inclusive, aí está enraizada a noção de substancialização do calor [13, 16-18] com semelhanças à histórica teoria do calórico [15, p. 189; 19]. Diante disso, Silva e cols. [1] alertam para os cuidados educacionais e mencionam situações nas quais deve-se evitar transmitir entendimentos equivocados a exemplo da “afirmativa comum, porém imprecisa, a de que em um processo dissipativo, trabalho é convertido em calor” [20, p. 90-91].<sup>2</sup> E em síntese à resposta do parágrafo anterior, Silva e cols. [1] estabelecem reflexões pedagógicas favoráveis ao entendimento de Sears e cols. [7, p. 347]: “Seria muito melhor usar a palavra “calor” apenas em referência a um método de transferência de energia e, quando essa transferência se completasse, referir-se à quantidade total de energia assim transmitida”. Viabilizado esse entendimento, “além de não fazer referência ao calor em um corpo, satisfaz o uso da expressão quantidade de calor que tem desempenhado um papel tão importante em tantos livros didáticos e tabelas, sendo quase impossível de ser evitada” [7, p. 347].

Nessa linha de raciocínio que trata das dificuldades educacionais envolvendo o conceito de calor e, particularmente aqui, o uso da expressão da quantidade de calor, o presente estudo objetiva apresentar distintas reflexões em contribuição aos subsídios pedagógicos sobre esse conceito fundamental em termodinâmica. A partir de outras ambiguidades a serem destacadas e reunidas, busca-se, deste modo, defender uma recomendação pedagógica com linguagem conceitual consistente mediante implicações que serão estabelecidas e direcionadas ao nível médio de ensino. Todavia, antes de prosseguir com as reflexões, o [Quadro 1](#) mostra um levantamento de tais ambiguidades presentes em alguns livros didáticos de física analisados neste estudo, totalizando 27 livros selecionados, dos quais 19<sup>3</sup> são do ensino superior e 8 do Ensino Médio.

**“Não é correto se afirmar que um corpo tem uma certa quantidade de calor, embora o seja dizer que este corpo transferiu calor para um outro. Como é possível um corpo fornecer algo que não tem?”**

**Para Sears e cols., “Seria muito melhor usar a palavra “calor” apenas em referência a um método de transferência de energia e, quando essa transferência se completasse, referir-se à quantidade total de energia assim transmitida”**

Para situar uma das preocupações ainda persistentes ao averiguar os livros de Ensino Médio indicados no [Quadro 1](#), Guimarães e cols. [21, p. 29] chegam a definir simplesmente que o “calor corresponde à energia térmica que é transferida de um corpo para outro”, podendo-se aí apontar dois problemas conceituais: 1) Deixam de enfatizar a imprescindível condição de uma diferença de temperaturas;<sup>4</sup> 2) Tradicionalmente, por décadas, calor e energia térmica têm sido fisicamente concebidos em livros de graduação como sinônimos,<sup>5</sup> e, por esse entendimento, a proposição dos autores carrega um pleonasma que desfavorece o aprendizado do conceito de maneira que a redundância desses termos no âmbito das palavras não confere mais vigor ao que está sendo expresso. Similar definição é notável em Pietrocola e cols. [22, p. 167]: “Calor é a energia na forma térmica que se transfere de um corpo para outro, ou, em outras palavras, a energia térmica em trânsito”. Entretanto, é oportuno esclarecer que o termo “energia térmica” foi recentemente abolido em alguns livros de graduação [6, 23], quando muito associado diretamente a uma energia interna [24] ou distinguido nessa associação [25, 26].<sup>6</sup> Por outro lado, os autores Bonjorno e cols. [27, p. 21] chegam a intitular uma seção como “Calor e Energia Térmica”, introduzindo entre os alunos uma mensagem equivocada de duas grandezas físicas distintas. Tais apontamentos, portanto, exemplificam alguns dos fatores que interferem de forma negativa na superação das concepções alternativas já mencionadas nesse contexto.

De antemão ao caminho de traçar orientações pedagógicas que podem subsidiar o enfraquecimento dessas concepções alternativas dos estudantes, o [Quadro 1](#) traz alguns aspectos que merecem ser destacados com relação à permanente barreira educacional: 1) É incomum livros de Ensino Médio abordarem também a noção de calor como um método de transferência de energia, o que não ocorre em livros de graduação, inclusive os teoricamente mais avançados da disciplina de Termodinâmica;<sup>7</sup> 2) Como consequência disso, mesmo com alguns livros do Ensino Médio explicitando alguma breve passagem de uma expressão que associe o produto  $mc\Delta T$  a outra grandeza que não seja a quantidade de calor  $Q$ ,<sup>8</sup> o entendimento relacionado de um método de transferência de energia a essa grandeza específica e a essência da noção de trocas de energia por determinado método à variação da energia interna  $\Delta U$  vê-se pedagogicamente desamparada. Ao passo que a primeira das ambiguidades, associada à definição de calor, tem sido alarmada [11, p. 392; 12, p. 2] e, até certo ponto, deba-

Quadro 1: Levantamento de ambiguidades conceituais presentes nos livros didáticos analisados.

Particularidade	Ambiguidades providas	Grau de instrução	Livros didáticos
Definição de calor	É a energia transferida em virtude de uma diferença de temperaturas.	Ensino Superior	[2, p. 217], [3, p. 183], [4, p. 399], [5, 449], [6, p. 160]
		Ensino Médio	[27, p. 13], [40, p. 46], [41, p. 38]; [42, p. 118], [43, p. 309], [44, p. 61]
	É a transferência de energia em virtude de uma diferença de temperaturas.	Ensino Superior	[5, p. 450], [6, p. 160], [7, p. 347], [8, p. 183], [9, p. 20], [10, p. 113]
		Ensino Médio	[45, p. 141]
Simbologia empregada à grandeza quantidade de calor	$Q$	Ensino Superior	[5, 6, 25, 29, 32, 33]
		Ensino Médio	[21, 22, 27, 41, 43, 44]
	$\Delta Q$	Ensino Superior	[2, 8, 28, 30, 31]
		Ensino Médio	[40, 42, 45]
Ênfase da correspondência do produto $mc\Delta T$	apenas à $Q$ (ou $\Delta Q$ )	Ensino Superior	[5], [8]
		Ensino Médio	[21, 22, 27, 42, 44, 45]
	Igualmente para uma ou mais grandezas como $\Delta U$ , $\Delta E_p$ , $W_e$ , etc.	Ensino Superior	[2, p. 213], [6, p. 163], [25, p. 600], [28, p. 628], [29, p. 606], [31, p. 406], [32, p. 190], [33, ps. 102 e 128]
		Ensino Médio	[40, p. 136], [41, p. 166], [43, p. 344]

tida [1]. A próxima seção busca estabelecer reflexões acerca das ambiguidades restantes indicadas no [Quadro 1](#) para, enfim, caracterizar demais subsídios pedagógicos e prosperar nas contribuições iniciais de Silva e cols. [1] para o professor do Ensino Médio.

## 2. A quantidade de calor em correspondência ao produto $mc\Delta T$ : o conceito por trás de uma quantidade calculada

Como exemplo da reflexão almejada, o resultado do cálculo envolvendo as grandezas  $mc\Delta T$  representa, indiscutivelmente, uma quantidade de energia, que, para o caso particular de uma situação de diferença de temperaturas, está associada ao conceito físico de calor. Esta seção trata de levantar e discutir ambiguidades conceituais relacionadas aos dois lados da equação  $Q = mc\Delta T$  para promover posteriormente algumas sugestões pedagógicas.

### 2.1. Quanto ao lado esquerdo da equação $Q = mc\Delta T$

Acerca do conceito de calor (quantidade de calor ou “fluxo de calor”<sup>10</sup>), é importante atentar para a simbologia desigual que há entre os livros de física básica destinados aos anos iniciais de graduação: ora empregando-se  $\Delta Q$  [28, p. 630], [30, p. 630], [31, p. 397], [2,

p. 208] [8, p. 196]; ora empregando-se  $Q$  [6, p. 162], [32, p. 191], [29, p. 187], [5, p. 470], [25, p. 600] ao lado esquerdo da expressão em correspondência ao produto  $mc\Delta T$ . Afinal, essa aparente ambiguidade do emprego do símbolo  $\Delta$  (delta) na situação torna-se opcional ou não? Obviamente que em um contexto pedagógico é sempre ideal deparar-se com uma uniformidade daquilo que se pretende ensinar, de modo a agilizar a instrução por diminuição da complexidade de compreensão do assunto.

No sentido de uma resposta satisfatória à pergunta levantada e na ponderação de o símbolo  $\Delta$  caracterizar uma diferença finita entre dois valores de uma grandeza, cujo significado é o de representar uma variação, um incremento, um acréscimo, um intervalo, tem-se, para início da reflexão, o que de fato ocorre de modo simbólico e inalterável nos livros acerca da variação de temperatura denotada por  $\Delta T = T_2 - T_1$ , presente no produto  $mc\Delta T$ . Além disso, em quaisquer livros de termodinâmica, seguem como típicos exemplos dessa consistência simbólica o da variação do volume ( $\Delta V$ ), da variação da pressão ( $\Delta P$ ), da variação da energia interna ( $\Delta U$ ), da variação da entalpia ( $\Delta H$ ), da variação da entropia ( $\Delta S$ ), entre outros, isto é, variações de grandezas físicas que permitem a descrição dos estados de equilíbrio, cada uma delas denominada como va-

riável ou função de estado. Em diferenciação, grandezas como o calor  $Q$  (quantidade de calor ou “fluxo de calor”), assim como o trabalho  $W$  (o trabalho mecânico de expansão, o trabalho elétrico, etc.), permitem a descrição do processo ou da transformação, cada uma delas denominada de variável ou função de processo. É significativo apontar que estas últimas são grandezas com comportamento de funções de linha, o que inviabiliza, de início, a representação simbólica  $\Delta$ , que apenas deve estar associada a grandezas físicas que sejam funções de estado (ponto<sup>11</sup>).

Como apontam Keller e cols. [5, p. 470], a razão da exclusão do símbolo  $\Delta$  à grandeza  $Q$ , em correspondência ao produto  $mc\Delta T$ <sup>12</sup>, é “porque o calor é uma transferência de energia e não uma mudança em uma variável de estado. Em contraste a isso, a variação de temperatura é denotada por  $\Delta T$ ”. Ainda, assinalam Sears e Zemansky [32, p. 191], ao usarem “o símbolo  $Q$  para a quantidade de calor” ( $Q = mc\Delta T$ ), que, quanto a uma “associada variação infinitesimal de temperatura  $dT$ ”, consideram “ $dQ$ ”, porém alertando “à definição de calor”, pois, em verdade, ressaltam que “ $dQ$  não representa nenhuma variação”. Em outras palavras, embora  $dQ$  não “constitua variação alguma” de  $Q$ ,  $dQ$  (ora “associada” na expressão) intuitivamente leva a entender de modo análogo aquilo representado de variação infinitesimal de temperatura  $dT$ , o que não permite ser o raciocínio desejado e didaticamente inteligível, devido à comparação com a expressão  $Q = mc\Delta T$ , pela qual o símbolo  $\Delta$  se vincula somente à temperatura.

Este peculiar emprego ou não do símbolo  $\Delta$  na grandeza quantidade de calor  $Q$  ocorre também na primeira lei da termodinâmica (PLT), cuja reflexão é equivalente. Analisando os livros dos anos iniciais de graduação para o ensino de física, constata-se a definição desta lei tanto na forma  $\Delta U = \Delta Q - \Delta W$  [28, p. 623], [30, p. 287], [31, p. 526], [8, p. 187] quanto na forma  $\Delta U = Q + W$  [2, p. 217], [25, p. 607], [32, p. 257], [29, p. 187], [5, p. 477], independentemente das diferentes convenções de sinais de calor e trabalho.<sup>13</sup> Segundo Tipler e Mosca [25, p. 608], apesar de ser comum escrever a PLT para quantidades muito pequenas de calor transferido, de trabalho realizado ou de variações de energia interna sob a forma diferencial  $dU = dQ + dW$ , sendo nesta equação  $dU$  a diferencial da função energia interna, “ $dQ$  nem  $dW$  são diferenciais de nenhuma função”, mas apenas uma pequena quantidade de energia transferida para ou pelo sistema via calor e/ou via trabalho. Conseqüentemente,

$dW$  e  $dQ$  não são diferenciais exatas, no sentido matemático, mas simplesmente significam uma pequena quantidade de trabalho e calor, respectivamente. Nos livros mais avançados [9, p. 19], [33, p. 90], encontram-se os símbolos  $d'W$  e  $d'Q$ , que tornam explícita a

natureza não exata das diferenciais  $dW$  e  $dQ$  [29, p. 197].

Para distingui-las, é correto separá-las por duas grafias, sendo  $d$  para as diferenciais exatas e  $\delta$ <sup>14</sup> para as inexatas, na medida em que “as definições das diferenciais  $\delta Q$  e  $\delta W$  são elas próprias as definições das grandezas calor e trabalho, pois são obtidas por integração (ao longo de um processo) das respectivas diferenciais” [34, p. 489].

Em resposta à pergunta levantada no primeiro parágrafo desta subseção, vale notar que “o calor que flui para um sistema não pode ser expresso como a diferença entre os valores de uma certa propriedade do sistema entre os estados final e inicial” [33, p. 90]. Conforme Lee e Sears [33, p. 90], na equação

$$Q = \int_1^2 d'Q,$$

tais limites 1 e 2 são símbolos convencionais apenas para especificar o estado inicial e o final de um sistema, “não sendo possível interpretá-los com valores de  $Q$  nestes estados” [33, p. 90], logo impedindo a escrita

$$\int_{Q_1}^{Q_2} d'Q = Q_2 - Q_1 = \Delta Q.$$

## 2.2. Quanto ao lado direito da equação $Q = mc\Delta T$

Continuando o raciocínio anterior e conformando-se matematicamente sem o emprego do símbolo  $\Delta$  na quantidade de calor  $Q$ , a equação  $Q = mc\Delta T$ , usual na calorimetria em análises de trocas de energia por calor utilizando calorímetros, indica “a relação entre a energia  $Q$  transferida para um corpo de massa  $m$  e calor específico  $c$  e a variação de temperatura resultante  $\Delta T$ ” [6, p. 163]. No entanto, um empecilho conceitual, que pode facilmente confundir os estudantes quando o real significado físico do produto  $mc\Delta T$  não é mais bem caracterizado por ocasião inclusive ao que de fato mede um calorímetro, está na má compreensão de que esse produto  $mc\Delta T$  sempre representa única e exclusivamente uma troca de energia por calor. Alertam Serway e Jewett Jr. [6, p. 163] que, “na realidade, a transferência de energia no lado esquerdo da equação ( $Q = mc\Delta T$ ) pode ser feita por qualquer método, não apenas calor”, e exemplificam distintas situações (que não por calor) nas quais a equação poderia ser usada para calcular a variação da temperatura de um corpo.<sup>15</sup> De acordo com eles:

Em cada um desses casos, bem como em muitas outras possibilidades, o  $Q$  à esquerda da equação de interesse

**Para Keller e cols. a razão da exclusão do símbolo  $\Delta$  à grandeza  $Q$ , em correspondência ao produto  $mc\Delta T$ , é “porque o calor é uma transferência de energia e não uma mudança em uma variável de estado”**

não é uma medida de calor, mas é substituído pela energia transferida ou transformada por outros meios. Apesar de o calor não estar envolvido, a equação ainda pode ser usada para calcular a variação da temperatura. [6, p. 163]

Aliás, nesse contexto, não é de hoje a ressalva de Chagas [35, p. 90]: “Apesar desta amplitude de utilização e de seu largo emprego, inclusive em cursos introdutórios e avançados de Química, ainda existem muitos equívocos quanto ao funcionamento de um calorímetro”. Isto, para este último autor, ocorre em razão de uma abordagem inadequada da PLT. Para contorná-la, independentemente dos vários tipos de calorímetros existentes, é necessário identificar as entidades da PLT com as partes físicas desses dispositivos perante o local onde se realiza o processo de estudo e o que pode ser considerado o sistema. Cabe exemplificar o tipo mais comum, o calorímetro isoperibólico, nomenclatura que abrange “desde os modelos mais simples, para uso didático com iniciante, como um béquer num bloco de ‘isopor’ e um termômetro, a modelos mais sofisticados de alta precisão, passando por intermediários para uso didático avançado ou mesmo para pesquisa” [35, p. 91]. Daí, uma compreensão limitada pode surgir pela caracterização do calorímetro com a função de instrumento para determinações de quantidades de calor trocadas entre dois corpos/substâncias com temperaturas diferentes. Esta situação é frequentemente estabelecida quando, no calorímetro, são misturadas duas substâncias líquidas com distintas temperaturas ou quando se deixa nele uma substância líquida para inserção de outra sólida de maior ou menor temperatura para trocas de energia por calor. Situação na qual convém a expressão  $Q_{\text{frio}} = -Q_{\text{quente}}$ , em correspondência a  $m_f c_f (T - T_f) = m_q c_q (T_q - T)$ , tendo medido a temperatura final  $T$  da combinação após o equilíbrio ser atingido [6, p. 163; 25, p. 602].

Considerando agora um calorímetro de pás,<sup>16</sup> cujo recipiente contém em seu interior um conjunto de pás fixas (conectadas às paredes do calorímetro) e outro de pás móveis, sendo estas últimas conectadas a um eixo que gira devido, por exemplo, à queda de uma massa externa ao sistema, é admissível constituir uma situação equivalente ao calorímetro de mistura. Imagine uma ocasião em que ambos os calorímetros estão com quantias iguais de água: no de mistura, é posto um pequeno objeto quente para trocas de calor a fim de atingir a temperatura da água em  $T$  ( $T_{\text{inicial}} + \Delta T$ ), enquanto, no outro, o movimento das pás agita e aquece a água até a mesma temperatura final  $T$  ( $T_{\text{inicial}} + \Delta T$ ). Já no calorímetro de mistura, a energia fornecida para a água é a quantidade de calor  $Q = mc\Delta T$ ;<sup>17</sup> no de pás, há a quantidade de energia mecânica total (dada pela variação da

energia potencial da massa em queda)  $\Delta E_p = mc\Delta T$  [28, p. 628], obtendo-se pelo lado direito dessas expressões resultados numericamente idênticos, ainda que no lado esquerdo eles não sejam idênticos qualitativamente.<sup>18</sup> Nesta comparação, a particularidade a ser apreciada está no fato de essas mesmas elevações de temperaturas das iguais quantias de águas (em  $T_{\text{inicial}} + \Delta T$ ) corresponderem em similares elevações das energias internas das mesmas em  $\Delta U$ , porém, sabidos os processos, ora por calor, ora por trabalho [32, p. 190].

Nesse entendimento, discute Chagas [23] a circunstância de uma calibração por outro tipo de calorímetro, consistindo em aquecer o sistema<sup>19</sup> agora por meio de um resistor elétrico posto no interior do calorímetro de mistura, resultando da PLT em  $\Delta U = -W_e$ . Para isso, deve-se ter em mente que “o sistema é formado pelo circuito elétrico, pela água e pelo seu recipiente” [29, p. 605].<sup>20</sup> Volta-se a observar que, neste caso, o trabalho elétrico  $W_e$ <sup>21</sup> corresponde em termos quantitativos à  $mc\Delta T$ , que corresponde à  $\Delta U$ , sem que compareça mais uma vez o termo referente a um fluxo de calor. Essa correspondência cabe aos resultados de quaisquer calorímetros, inclusive no de mistura pelo qual se circunstanciou ser a energia transferida na forma de calor para a substância água, permitindo-se assim escrever: “ $Q = \Delta U_{\text{int}} = mc\Delta T$ ” [25, p. 600].

Diante das ocorrências com os três calorímetros tratados, portanto, a síntese do entendimento está no produto  $mc\Delta T$ , antes de tudo, vir a representar uma variação da energia interna  $\Delta U$  do sistema,<sup>22</sup> que ocorre por determinado processo de transferência dessa energia (calor, trabalho mecânico, trabalho elétrico, etc.). Dando destaque à pergunta: “O que se mede em um calorímetro?”.<sup>23</sup> Responde Chagas [35, p. 93] que, nele: “mede-se  $\Delta U$  ou  $\Delta H$  de um processo, a  $V$  ou  $p$  constantes, respectivamente”. E procede esse autor [35, p. 94] a respeito de outra questão relacionada: “O que é um calorímetro?”, concluindo que “semanticamente seria ‘medidor de calor’, mas vimos que não é isto”. Prontamente como definição de calorímetro, talvez para figurar em um dicionário, ele indica a de um “instru-

mento para medir variações de energia em sistemas onde a temperatura tem um papel relevante” [35, p. 4]. Semelhante definição é enfatizada por Simoni e Jorge [37, p. 108], caracterizando a função ampla deste aparelho.

### 3. Implicações ao Ensino Médio mediante reflexões para uma proposta de orientação pedagógica com linguagem consistente

Há tempos que segue divulgada, por inúmeros trabalhos em educação científica, a mais comum concepção espontânea sobre o calor com forte resistência à

**A síntese do entendimento está no produto  $mc\Delta T$ , antes de tudo, vir a representar uma variação da energia interna  $\Delta U$  do sistema, que ocorre por determinado processo de transferência dessa energia (calor, trabalho mecânico, trabalho elétrico, etc.)**

mudança na esfera escolar, assim qualificada: *o calor é uma substância, sendo ele diretamente proporcional à temperatura* [13, p. 30; 14, p. 264; 15, p. 189; 16, p. 1543; 17; 18]. Ponderando isso, as discussões realizadas na seção anterior admitem algumas implicações pedagógicas que podem ser proveitosas no Ensino Médio. Neste nível escolar, e a título de exemplo, o **Quadro 1** destacou alguns livros de física que foram checados a respeito do caso particular de uma ambiguidade anteriormente discutida: enquanto alguns autores de livros empregam a equação  $Q = mc\Delta T$ , outros empregam a equação  $\Delta Q = mc\Delta T$ .

Pela notável tradição que os currículos trazem, em sua grande maioria, de inaugurar o ensino da física com conceitos de mecânica no primeiro ano do Ensino Médio, os alunos logo se deparam com várias grandezas físicas já atrelando a simbologia  $\Delta$  (delta), como na “variação da velocidade  $\Delta V$ ” ( $\Delta V = V_f - V_i$ ), entre outras grandezas. Com base nisso, aprende-se que o símbolo  $\Delta$  é utilizado para expressar a variação de uma grandeza física, que, de modo fluente,  $\Delta Q$  poderia ficar subentendido como  $Q_f - Q_i$  ( $\Delta Q = Q_f - Q_i$ ), enquanto permanece a instrução enfatizando a impossibilidade de qualquer variação de calor em algo. Pois bem, denominando-se “a quantidade de calor  $\Delta Q$ ”, tem-se agora uma simbologia didaticamente confusa, induzindo de modo implícito no aprendiz a possibilidade equivocada de significação de “variação de calor  $\Delta Q$ ”, por uma questão de consistência de linguagem à denominação inconfundível de “variação de temperatura  $\Delta T$ ”, presente na equação tratada. Em síntese, a contradição ocorre em simbolizar “ $\Delta Q$ ” sem poder mencioná-lo como a “variação de calor  $\Delta Q$ ”. Outro entendimento igualmente confuso e de fácil indução surge ainda na denominação “a energia térmica  $\Delta Q$ ”, pela qual se permitiria pensar definir “a variação da energia térmica  $\Delta Q$ ”, ao passo que predomina inalterada a linguagem dada à “variação da energia interna  $\Delta U$ ” ou à “variação de temperatura  $\Delta T$ ”. Tendo compreendido esse empecilho instrucional e as reflexões físico-matemáticas referenciadas na seção anterior, defende-se aqui a prudência de recomendar pedagogicamente que não se utilize a simbologia  $\Delta Q$  para representar a quantidade de calor, mas apenas  $Q$ ,<sup>24</sup> em equivalência ao produto  $mc\Delta T$ <sup>25</sup>. Pela conveniência desse procedimento, portanto, entende-se que o processo educacional do conceito de calor seja mais bem favorecido na superação da concepção espontânea já apontada e que se comporta como se fosse uma grandeza física típica de função de estado, que, ser dessa forma, auxilia na superação da noção de substancialização do calor dos estudantes [14, 15, 17, 18].

**De acordo com Silva e cols., “a utilização de equipamentos de medição de calor ou temperatura, como calorímetro e termômetro, está associada à “zona empírica”, que fortalece a concepção de senso comum de “o calor (quantidade de calor) ser diretamente proporcional à temperatura”**

A segunda reflexão voltou-se ao uso da expressão  $Q = mc\Delta T$  em calorimetria,<sup>26</sup> sendo muito habitual em atividades experimentais o calorímetro de mistura pelo qual os termos “quantidade de calor recebida” e “quantidade de calor cedida” são praticamente inevitáveis. A princípio, a instrução parece de fácil ajuste ao se advertir que o calor apenas tem significado como energia em trânsito e na ocasião de diferença de temperaturas, porém, é um conceito de pouca simplicidade, pois não é prontamente associado pelo aluno na atividade focada: o calorímetro de mistura é um instrumento que pode favorecer entendimentos de senso comum de calor. De acordo com Silva e cols. [16, p. 1534], “a utilização de equipamentos de medição de calor ou temperatura, como calorímetro e termômetro, está associada à “zona empírica”, que fortalece a concepção de senso comum de “o calor (quantidade de calor) ser diretamente proporcional à temperatura”. Por uma categorização logo após essa “zona empírica”, tem-se a “zona substancialista”, na qual “o calor é entendido como uma substância, uma entidade material que flui de um corpo para outro com facilidade”, e ainda longe da “zona racionalista” que o professor almeja que o estudante alcance [16, p. 1534]. Diante disso, uma vez aprendido que calor é energia, ao admitir que um corpo transfere energia (calor) para outro, segue de maneira óbvia no imaginário dos estudantes que, se o corpo transferiu uma energia que tinha, é porque tinha calor, que é concebido como a energia que foi transferida por se encontrar, inicialmente, no corpo.

A dificuldade conceitual que mais fortemente prevalece por uso restrito de calorímetros de mistura está no modo lógico como o aluno se depara com a contradição de uma substância transferir uma energia que não tem (calor) para outra substância que não armazenou (calor), arquitetando uma ideia dessa interação como se houvesse uma conversão:<sup>27</sup> a energia que sai do corpo mais quente (energia interna) para transferência se converte em calor, e logo penetra no outro corpo mais frio, desfazendo a conversão. Em alerta, isto é um mero raciocínio exemplar equivocado e passível de ocorrer durante a construção do conceito, e ainda que atendesse ao interesse educacional de não referenciar o calor em um corpo, difere da noção científica que o professor almeja ensinar seguindo a teoria cinético-molecular. Conforme ressaltam Cindra e Teixeira [15, p. 190], uma questão-chave no estudo da calorimetria está na instrução da “ideia de que no equilíbrio térmico, uma grandeza intensiva, a temperatura (então relacionada à energia interna), é comum a todo o sistema, e não o calor”, sendo o “motivo de confusão para muitos alunos”. Dessa con-

textualização ao uso de calorímetros, sugere-se pedagogicamente que o calor  $Q$  seja enfatizado de início como uma “transferência de energia<sup>28</sup>” (interna) de um corpo ou de um sistema a outro em virtude de uma diferença de temperatura com relação à alteração das energias internas destes corpos ou sistemas. De acordo com a recomendação de Sears e cols. [7, p. 347], depois de finalizada essa “transferência de energia” denominada de calor,<sup>29</sup> é significativo “referir-se à quantidade total de energia assim transmitida” como a “quantidade de calor  $Q$ ” para atender ao uso inevitável dessa expressão. Assim, deixando de aludir ao calor em um corpo, é preciso notar que esse procedimento pedagógico permite a instrução de um duplo entendimento deste conceito, enfatizando que o “calor é um mecanismo pelo qual a energia é transferida entre um sistema e seu ambiente em função de uma diferença de temperaturas entre eles, e é também a quantidade de energia  $Q$  transferida por este mecanismo” [6, p. 160].

A fim de satisfazer inicialmente o entendimento de calor como um “mecanismo pelo qual a energia é transferida” [6, p. 160], sugere-se que o professor, de modo paralelo à prática de calorímetros de mistura, discuta ao menos como seria o experimento similar de Joule com um calorímetro de pás [36], mecanismo no qual uma energia equivalente é transferida por trabalho. Neste último caso, é importante evitar frases equivocadas como a de “fazer uma estimativa precisa do valor da parcela da energia mecânica que efetivamente era convertida em calor” [38, p. 2],<sup>30</sup> pois não há diferença de temperatura alguma e não se pode mencionar o termo “calor”, sendo o entendimento correto o de um “fator de proporcionalidade conhecido como o equivalente mecânico do calor” [39, p. 106]. Nessa comparação entre o calorímetro de mistura e o de pás, “tudo que se pode realmente dizer é que a variação na energia interna de um sistema, em um processo dissipativo, é a mesma, como se houvesse um fluxo de calor  $Q$  para o sistema, igual em magnitude ao trabalho dissipativo” [20, p. 90]. Portanto, como instrução, o importante é concluir que numericamente (quantitativamente) se tem a mesma coisa (variação da energia interna<sup>31</sup>), mas qualitativamente não, ora por calor, ora por trabalho; entendimento este que inclusive vem, por uma lição implícita, auxiliar a definição ampla de calorímetro como “instrumento para medir variações de energia em sistemas onde a temperatura tem um papel relevante” [35, p. 4; 37, p. 108].

#### 4. Considerações finais

Por meio das ambiguidades aqui ressaltadas a partir de análises dos livros de física básica destina-

dos aos cursos de graduação, buscou-se caracterizar uma proposta de orientação com linguagem conceitual consistente direcionada às discussões em sala de aula sobre a grandeza física quantidade de calor, de modo a subsidiar o professor do Ensino Médio diante de tais ambiguidades ora também conflitantes entre os próprios livros desse nível escolar. Nesse sentido, procurou-se destacar o conceito de quantidade de calor em sua equivalência ao produto  $mc\Delta T$ , que é introduzido aos estudantes por meio da calorimetria e cujo raciocínio apresentado pode, por uma questão de consistência, ser estendido a qualquer menção da grandeza calor (quantidade de calor ou, preferencialmente, fluxo de calor), como na expressão da PLT. Em síntese, pelas pontuações físicas e matemáticas reunidas, é interessante: 1) Não atrelar o símbolo  $\Delta$  à grandeza  $Q$ ; 2) Não se referir ao resultado do produto  $mc\Delta T$  como podendo ser representativo único e exclusivamente de uma quantidade de calor  $Q$ . Defendeu-se aqui que esses dois apontamentos se mostram pedagogicamente benéficos aos respectivos interesses: 1) Melhor diferenciar a grandeza quantidade de calor como não sendo uma função de estado e, por assim ser, decorrer uma lição explícita (e/ou implícita) por fluência dessa comunicação nas aulas, evitando associá-la ao calor em um corpo e esclarecendo concepções de senso comum e/ou vícios de linguagem; 2) Auxiliar a configurar o calor como um método de transferência de energia que não é único, referindo-se o valor numérico obtido na expressão, por último, à quantidade de energia daquela forma transmitida sem prejuízo de satisfazer o uso da expressão quantidade de calor, que desempenha “um papel tão importante em tantos livros didáticos e tabelas, sendo quase impossível de ser evitada” [7, p. 347].

Espera-se que esses cuidados contribuam para inibir as ambiguidades conceituais aqui destacadas e atreladas à noção científica de calor, por vezes, subestimada na classificação de um dos conceitos físicos mais difíceis tanto de ensinar como de aprender. Como consequência disso, tais reflexões podem: 1) favorecer autores de livros didáticos do Ensino Médio que abordem o assunto, diminuindo obstáculos do processo educacional; 2) ser proveitosas em cursos de formação continuada de professores; 3) enriquecer estratégias didáticas específicas e alternativas de futuras pesquisas.

Recebido em: 31 de Outubro de 2022

Aceito em: 12 de Dezembro de 2022

## Notas

<sup>1</sup>É interessante notar que especificar o conceito como uma forma ou um mecanismo de transferir energia (transferência) se distingue do significado direto de energia.

<sup>2</sup>Não é em toda situação de aquecimento que o termo “calor” toma sentido, pois, nesse caso, “tudo que se pode realmente dizer é que a variação na energia interna de um sistema, em um processo dissipativo, é a mesma, como se houvesse um fluxo de calor  $Q$  para o sistema, igual em magnitude ao trabalho dissipativo” [20, p. 90-91]. A ênfase é de que quantitativamente é a mesma coisa, mas qualitativamente, não.

<sup>3</sup>Em que outras edições recentes de alguns deles são logo à frente mencionadas para comparação de mudanças específicas que se mostram relevantes indicar nas discussões.

<sup>4</sup>Esta associação de calor  $Q$  como “a quantidade de energia transferida (da energia térmica ou para a energia térmica) (...)” é estabelecida na última edição de Halliday e cols. [24], mas os autores complementam enfatizando “(...) em consequência da diferença de temperatura entre um objeto e o ambiente”.

<sup>5</sup>A denominação “energia térmica” é fisicamente concebida como sinônimo de “calor” (ou quantidade de calor, ou fluxo de calor) [4, p. 485; 8, p. 187; 28, p. 623]. Cabe de modo explícito o esclarecimento na frase: “Ao transmitir-se de um corpo a outro, exclusivamente, devido à diferença de temperaturas entre eles, é que a energia (calor  $Q$ ) recebe a denominação de energia térmica” [29, p. 193]. Ademais, da mesma maneira que para o termo *calor*, Sears e Zemansky [7, p. 332] afirmam que “a expressão energia térmica de um corpo não possui sentido”.

<sup>6</sup>Halliday e cols. [24] afirmam que “a energia térmica é uma energia interna que consiste na energia cinética e na energia potencial associadas aos movimentos aleatórios dos átomos, moléculas e outros corpos microscópicos que existem no interior de um objeto”. Já, por exemplo, os autores Chabay e Sherwood [26, p. 292] explicitam que: “Energia interna =  $E_{\text{térmica}} + E_{\text{rotacional}} + E_{\text{vibracional}} + E_{\text{química}} + \dots$ ”. Tais definições permitiriam caracterizar outra ambiguidade e dificuldade educacional, mas que, em razão de uma atual tendência observada em alguns livros de cursos graduação de não fazerem mais objeção ao uso do termo “energia térmica” [6, 23], não se objetivou aqui prolongar discussões a respeito desse termo, que, por assim ser, pode inclusive ser evitado.

<sup>7</sup>Conforme Callen [9, p. 20], “calor, como trabalho, é somente uma forma de transferir energia”.

<sup>8</sup>Discussão realizada mais à frente.

<sup>9</sup>Massa  $m$ , calor específico  $c$  e variação de temperatura resultante  $\Delta T$ .

<sup>10</sup>As discussões estabelecidas adiante são independentes dessas denominações e suas diferenciações por alguns autores de livros, como Sears e Zemansky [32, p. 190], que diferenciam o “fluxo de calor” (ou “transferência de calor”), que é a transferência de energia produzida por uma diferença de temperatura, da energia transferida desse modo, definida como *calor*.

<sup>11</sup>“Função de ponto ou propriedade de um sistema, tal como a pressão ou a temperatura” [33, p. 82].

<sup>12</sup>Assim como o fazem na PLT.

<sup>13</sup>Não é incomum a geração de um obstáculo educacional à parte quando se depara com a expressão em livros didáticos em que o sinal do trabalho é invertido em uma comparação com a definição da PLT, antes visto com sinal positivo ou vice-versa, por vezes dado a uma mera convenção e com significados equivalentes. Sabidamente ao professor, também é adequado apresentar a PLT com um sinal de menos entre o calor e o trabalho, ficando  $\Delta U = Q - W$ . De acordo com Serway e Jewett Jr. [6, p. 172], “o motivo é que o trabalho é ali definido como o trabalho realizado pelo gás, em vez de sobre o gás... Portanto, se trabalho positivo é realizado pelo gás, a energia sai do sistema, levando ao sinal negativo na primeira lei”.

<sup>14</sup>Ou  $d'$  ou outra que não  $d$ .

<sup>15</sup>Singulares mecanismos de transferência de energia que podem substituir  $Q$  são: transmissão elétrica por resistor (em que o resistor é parte do sistema), transmissão por radiação eletromagnética, trabalho realizado por uma broca em madeira etc. [6, p. 163].

<sup>16</sup>Análogo ao de Joule [36; 32, p. 190; 31, p. 406; 2, p. 213].

<sup>17</sup> $Q_{\text{quente}} = m_q c_q (T_q - T)$ .

<sup>18</sup>No âmbito escolar, este comparativo é tradicionalmente envolvido na experiência de Joule pela qual se discute a equivalência entre calor e trabalho mecânico “já que, é claro, ela nos habilita a relacionar a quantidade de calor absorvida de uma fonte de calor externa ao produzir uma dada elevação de temperatura, ao total de trabalho mecânico requerido para se obter o mesmo efeito” [28, p. 629].

<sup>19</sup>Por exemplo, a mesma quantia de água dos demais calorímetros citados.

<sup>20</sup>Obviamente que, se o sistema for definido pela água e pelo seu recipiente, com a resistência elétrica e a energia elétrica para ela fornecida ficando no meio exterior, há passagem de calor do meio externo ao sistema (diferença de temperaturas entre a resistência e a água) e o trabalho sobre o sistema é desconsiderado: “Torna-se claro, portanto, que é necessário definir-se inicialmente o sistema e o ambiente, antes de se poder decidir se a mudança do estado do sistema é devida ao fluxo de calor ou à realização de trabalho, ou a ambos” [29, p. 606].

<sup>21</sup> $= -R \int (i)^2 dt$ . Em verdade, o termo trabalho  $W$  “inclui todos os processos que envolvem transferência de energia, mas exclui especificamente aqueles em que a transferência de energia seja devida a diferença de temperatura” [29, p. 194].

<sup>22</sup>Cabe lembrar que em processos adiabáticos, nos quais não há trocas de calor, o trabalho ( $W$ ) se iguala à variação da energia interna ( $\Delta U$ ), escrevendo os cálculos da seguinte forma:  $W = mc(T_{\text{final}} - T_{\text{inicial}})$  [33, p. 128].

<sup>23</sup>De quaisquer tipos quanto às trocas térmicas: adiabáticos, isotérmicos ou isoperibólicos [35].

<sup>24</sup>De acordo com Keller e cols. [5, p. 470].

<sup>25</sup>Raciocínio a ser estendido a qualquer menção da grandeza calor (quantidade de calor ou fluxo de calor), como na PLT.

<sup>26</sup>Permanecendo nos dias de hoje a afirmação de Lee e Sears [33, p. 84]: “Nos cursos elementares de Física, o conceito de calor é usualmente introduzido em conexão com os métodos experimentais da Calorimetria”.

<sup>27</sup>Por força inclusive de interpretação inadequada da expressão da “conversão de calor em energia mecânica ou vice-versa”, logo adiante discutida.

<sup>28</sup>Usando “a palavra calor apenas em referência a um método de transferência de energia” [7, p. 347].

<sup>29</sup>Ou fluxo de calor, por alguns autores de livros.

<sup>30</sup>Assim como de modo histórico, evitar entendimentos como “A partir daí, era possível determinar a relação existente entre a parcela da energia mecânica resultante da queda dos corpos, convertida em calor, e o valor deste calor produzido no interior do vaso calorimétrico” [38, p. 2].

<sup>31</sup>Equivalendo-se ao lado direito da expressão, sendo o produto  $mc\Delta T$  [25, p. 600].

## Referências

- [1] O.H.M. Silva, C.E. Laburú, R. Nardi, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **25**, 383 (2008). doi
- [2] H.M. Nussenzveig, *Curso de Física Básica 2 - Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor* (Editora Edgard Blücher, São Paulo, 2014), 5ª ed.
- [3] D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Fundamentos de Física 2 Gravitação, Ondas e Termodinâmica* (Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 1993), 4ª ed.
- [4] P.A. Tipler, *Física* (Editora Guanabara Dois S. A., Rio de Janeiro, 1984).
- [5] F.J. Keller, W. Gettys, E. Skove, J. Malcolm, *Física - Volume 1* (Makron Books do Brasil Editora Ltda, São Paulo, 1999).
- [6] R.A. Serway, J. W. Jewett Jr., *Princípios da Física. Volume 2 - Oscilações, Ondas e Termodinâmica* (Cengage Learning, São Paulo, 2017).
- [7] F.W. Sears, M. W. Zemansky, H.D. Young, *Física 2 Mecânica dos Fluidos, Calor e Movimento Ondulatório* (LTC, Rio de Janeiro, 1985), 2ª ed.
- [8] J. Orear, *Fundamentos da Física 1* (LTC S. A., Rio de Janeiro, 1981).
- [9] H.B. Callen, *Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics* (John Wiley e Sons, 1985), 2ª ed.
- [10] H.D. Yong, A.R. Freedman, *Física II Termodinâmica e Ondas* (Pearson Education do Brasil, São Paulo, 2006), 10ª ed.
- [11] E. Alomá, M. Malaver, *Enseñanza de las Ciencias* **25**, 387 (2007). doi
- [12] P.M.A. Castro, L.N.A. Castro, *Química Nova na Escola* **37**, 26 (2015). doi
- [13] E.F. Mortimer, L.O. Amaral. *Química Nova na Escola* **7**, 30 (1998). Disponível em <http://qnesc.sbgq.org.br/online/qnesc07/aluno.pdf>.
- [14] C.E. Laburú, S.M. Arruda, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **20**, 259 (1998). Disponível em [http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v20\\_259.pdf](http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v20_259.pdf).
- [15] J.L. Cindra, O.P.B. Teixeira, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **21**, 176 (2004). Disponível em [http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos\\_teses/fisica/artigos/discussao\\_conceitual.pdf](http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos_teses/fisica/artigos/discussao_conceitual.pdf), acessado em 5/1/2022.
- [16] A.P.C. Silva, J.R.R.T. Silva, J.E.S. Neto, *Scientia Naturalis* **3**, 1531 (2021). doi
- [17] O. Aguiar Jr., *Investigações em Ensino de Ciências* **4**, 73 (1999). Disponível em <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/608>.
- [18] A.N. Louzada, M.F. Sampaio, F. Ferrentini, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **37**, 1508 (2015). doi
- [19] C.W. Dampier, *História da Ciência e das suas Relações com a Filosofia e a Religião* (Editorial Inquérito Ltda, Lisboa, 1945), 2ª ed.
- [20] F.W. Sears, G.L. Salinger, *Termodinâmica, Teoria Cinética y Termodinâmica Estatística* (Editorial Reverte S.A., Barcelona), 2ª ed.
- [21] O. Guimarães, J.R. Piqueira, W. Carron, *Física - Ensino Médio (Física Térmica, Ondas, Óptica)*, (Editora Ática, São Paulo, 2017), 2ª ed.
- [22] M. Pietrocola, A. Pogibin, R. Andrade, T.R. Romero, *Coleção Física em Contextos - Volume 2 - Energia, Calor, Imagem e Som* (FTD, São Paulo, 2010), 1ª ed.
- [23] F.W. Sears, M.W. Zemansky, *Física II: Termodinâmica e Ondas* (Pearson Education do Brasil Ltda, São Paulo, 2015), 14ª ed.
- [24] D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica, Volume 2* (LTC, Rio de Janeiro, 2016), 10ª ed.
- [25] P.A. Tipler, G. Mosca, *Física para Cientistas e Engenheiros 1: Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica, Volume 1* (LTC, Rio de Janeiro, 2019).
- [26] R.W. Chabay, B. Sherwood, *Matter & Interactions, V. I and V. II* (John Wiley & Sons, Printed in the United States of America, 2015), 4ª ed.
- [27] J.R. Bonjorno, C.M. Ramos, E.P. Prado, M.A. Bonjorno, R. Casemiro, R.F.S.A. Bonjorno, *Física 2 - Termologia, Óptica, Ondulatória (Ensino Médio)* (FTD, São Paulo, 2016), 3ª ed.
- [28] J.P. McKelvey, H. Grotch, *Física 2* (Editora Harper & Row do Brasil Ltda, São Paulo, 1979).
- [29] R. Resnick, D. Halliday, *Física 2* (LTC, Rio de Janeiro, 1984), 4ª ed.
- [30] S. Frish, A. Timovera, *Curso de Física General - Tomo 1* (Editorial Mir, Moscou, 1967).
- [31] R.M. Eisberg, L.S. Lerner, *Física - Fundamentos e Aplicações, Volume II* (McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, 1983).
- [32] F.W. Sears, M.W. Zemansky, *Física II: Termodinâmica e Ondas* (Addison Wesley, São Paulo, 2008), 12ª ed.
- [33] J.F. Lee, F.W. Sears, *Termodinâmica* (Ao Livro Técnico S. A., Rio de Janeiro, 1969).
- [34] J. Anacleto, A. Anacleto, *Química Nova* **30**, 488 (2007). doi
- [35] A.P. Chagas, *Química Nova* **15**, 90 (1992). Disponível em [http://static.sites.sbgq.org.br/quimicanova.sbgq.org.br/pdf/Vol15No1\\_90\\_v15\\_n1\\_%2814%29.pdf](http://static.sites.sbgq.org.br/quimicanova.sbgq.org.br/pdf/Vol15No1_90_v15_n1_%2814%29.pdf).
- [36] B.C. Carvalho, L.C. Gomes, *Acta Scientiae* **19**, 373 (2017). Disponível em <https://core.ac.uk/download/pdf/270258837.pdf>.
- [37] J.A. Simoni, R.A. Jorge, *Química Nova* **13**, 108 (1990). Disponível em [http://static.sites.sbgq.org.br/quimicanova.sbgq.org.br/pdf/Vol13No2\\_108\\_v13\\_n2\\_%287%29.pdf](http://static.sites.sbgq.org.br/quimicanova.sbgq.org.br/pdf/Vol13No2_108_v13_n2_%287%29.pdf).
- [38] L.A. Carmo, A. Medeiros, C.F. Medeiros, in: *VII EPEF - Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física*, Florianópolis, 2000 (EPEF, Florianópolis, 2000).
- [39] J. Orear, *Física* (LTC, Rio de Janeiro, 1971), 2ª ed.
- [40] D.N.S. Paraná, *Física - Termologia, Óptica e Ondulatória* (Editora Ática, São Paulo, 1999), 7ª ed.
- [41] K. Yamamoto, L.F. Fuke, *Física para o Ensino Médio - Manual do Professor* (Editora Saraiva, São Paulo, 2010), 1ª ed.
- [42] A. Máximo, B. Alvarenga, *Curso de Física - Volume 2* (Editora Scipione, São Paulo, 2000).
- [43] A. Gaspar, *Física - Ondas, Óptica e Termodinâmica* (Editora Ática, São Paulo, 2000).
- [44] L. Godoy, R.M. Dell'agnolo, C. Wolney, *Multiversos: Ciências da Natureza: Ciência, Sociedade e Ambiente: Ensino Médio - Manual do Professor* (FTD, São Paulo, 2020).
- [45] A. Gonçalves Filho, C. Toscano, *Física para o Ensino Médio - Volume Único* (Editora Scipione, São Paulo, 2002), 1ª Ed.