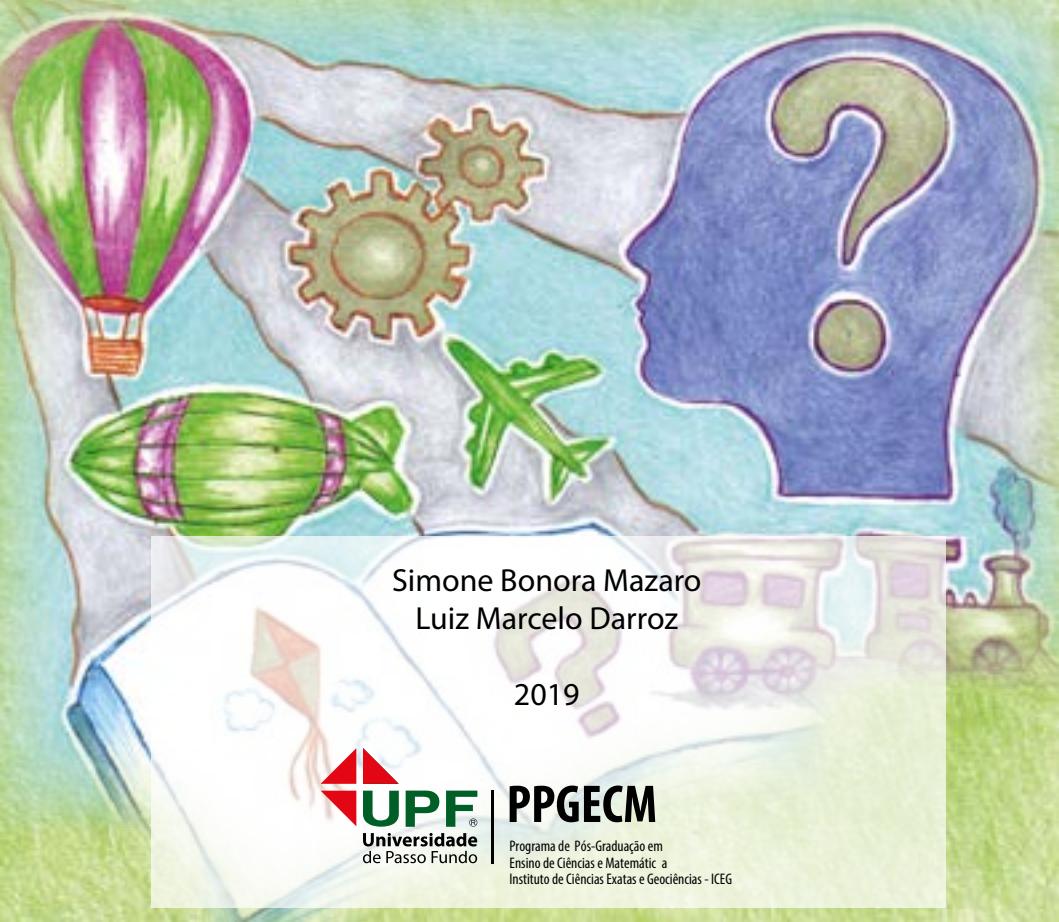


UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE
CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

PRODUTO EDUCACIONAL

**A VOLTA AO MUNDO EM OITENTA DIAS:
UMA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE
TERMODINÂMICA**



Simone Bonora Mazaro
Luiz Marcelo Darroz

2019

Nossos colaboradores:

Sirlete Regina da Silva

Designer gráfico

Nathalia Sabino Ribas

Revisão de texto

Valdir dos Santos (Badu)

Ilustrações

CIP – Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

M475v Mazaro, Simone Bonora

A volta ao mundo em oitenta dias [recurso eletrônico]: uma aprendizagem significativa de termodinâmica / Simone Bonora Mazaro, Luiz Marcelo Darroz. – Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2019.

15 Mb ; PDF. – (Produtos Educacionais do PPGECM).

Inclui bibliografia.

ISSN 2595-3672

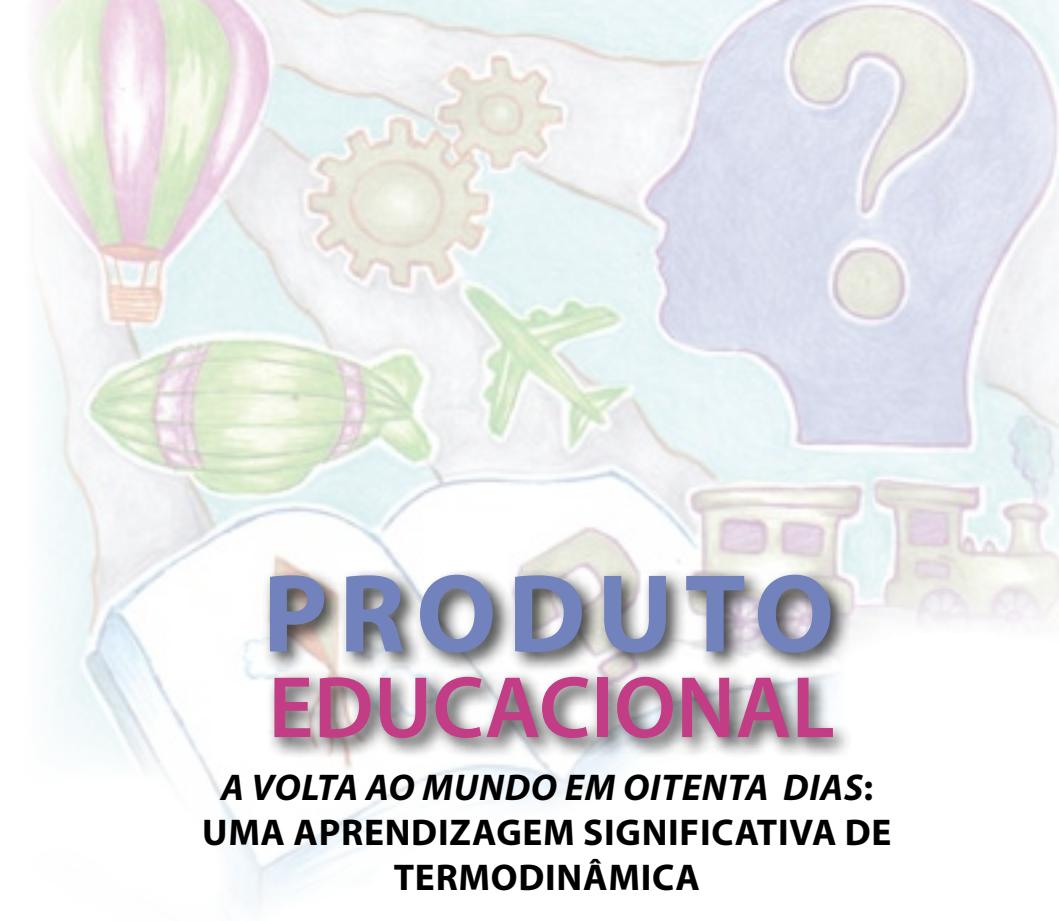
Modo de acesso gratuito: <<http://www.upf.br/ppgecm>>

Este material integra os estudos desenvolvidos junto ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PPGECM), na Universidade de Passo Fundo (UPF), sob orientação do Prof. Dr. Luiz Marcelo Darroz.

1. Física - Estudo e ensino. 2. Termodinâmica. 3. Prática de ensino. 4. Aprendizagem. I. Darroz, Luiz Marcelo. II. Título. III. Série.

CDU: 372.853

Bibliotecária responsável Jucelei Rodrigues Domingues - CRB 10/1569



PRODUTO EDUCACIONAL

*A VOLTA AO MUNDO EM OITENTA DIAS:
UMA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE
TERMODINÂMICA*

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	7
A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA.....	9
<i>A VOLTA AO MUNDO EM 80 DIAS, DE JÚLIO VERNE</i>	13
PRIMEIRA ETAPA: PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA.....	17
SEGUNDA ETAPA DA SEQUÊNCIA: SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA.....	41
TERCEIRA ETAPA DA SEQUÊNCIA: MÁQUINAS TÉRMICAS	56
REFERÊNCIAS	71
SOBRE OS AUTORES.....	74

APRESENTAÇÃO

A educação é um processo universal de transformação do qual todos acabam fazendo parte, em maior ou menor grau, de acordo com o contexto em que estão inseridos. No âmbito do ensino de Física, o processo educacional deve partir da curiosidade, do interesse, da motivação dos estudantes em compreender os fenômenos físicos, ou, ainda, de estímulos externos que favoreçam uma aprendizagem significativa dos conceitos estudados.

Nesse sentido, o presente trabalho apresenta uma sequência didática para o ensino da Termodinâmica, destinada, especialmente, a professores de Física do ensino médio, fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), de David Ausubel, e estruturada com base na obra *A volta ao mundo em 80 dias*, de Júlio Verne.

Este produto educacional está vinculado à dissertação de mestrado intitulada *Aprendizagem significativa de termodinâmica a partir da leitura da obra A Volta ao Mundo em 80 Dias de Júlio Verne*, desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, do Instituto de Ciências Exatas e Geociências, da Universidade de Passo Fundo, na linha de pesquisa Fundamentos Teórico-Metodológico para o Ensino de Ciências e Matemática.

A sequência divide-se em três etapas, nas quais são apresentadas situações capazes de relacionar os conhecimentos escolares com o contexto da história narrada por Verne e o mundo vivencial dos estudantes. Assim, a primeira etapa inicia pela identificação dos conhecimentos prévios dos estudantes sobre Termodinâmica, por meio de

um trabalho com o texto “Como seria dar a volta ao mundo nos dias atuais”, a fim de relacionar os assuntos estudados aos conceitos subsunções para, mais tarde, trabalhar conceitos referentes à Primeira Lei da Termodinâmica. A segunda etapa busca desenvolver os conceitos da Segunda Lei da Termodinâmica, interpretando-os e relacionando-os com determinadas partes da obra literária. Finalmente, a terceira etapa envolve os conceitos de máquinas térmicas, proporcionando aos estudantes sua compreensão, embasada no texto “Da criação à evolução da máquina térmica e sua contribuição para o desenvolvimento da humanidade”.

Para atingir os objetivos propostos, este texto está organizado da seguinte forma: no próximo capítulo discutem-se resumidamente os pressupostos básicos da Teoria da Aprendizagem Significativa, de Ausubel; no segundo capítulo sintetiza-se a história do romance de ficção escrito por Júlio Verne, protagonizado pelo personagem Phileas Fogg; e na continuidade, em três capítulos, apresenta-se a sequência didática. Ao final, registram-se as referências citadas e consultadas para a elaboração deste material.

A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

David Paul Ausubel (Nova Iorque, 1918 – Nova Iorque, 2008) frequentou as Universidades de Pensylvania e Middlesex, graduando-se em Psicologia e em Medicina, fez três residências em diferentes centros de psiquiatria e doutorou-se em Psicologia do Desenvolvimento pela Universidade de Columbia, na qual foi professor por muitos anos. Também atuou como professor nas Faculdades de Educação das Universidades de Illinois, Toronto, Berna, Munique e Salesiana de Roma. Aposentado, passou a dedicar-se à psiquiatria e, nos últimos anos de vida, à literatura.

Representante do cognitivismo, Ausubel defendia as melhorias necessárias ao verdadeiro aprendizado, ou seja, o aprendizado significativo. Do seu ponto de vista, a aprendizagem é um processo de armazenamento de informações e conhecimentos que são incorporados na estrutura cognitiva do aprendiz para serem utilizados quando necessário. Em outras palavras, trata-se da habilidade de organizar e utilizar o conhecimento.

A ideia central da TAS parte de identificar aquilo que o aprendiz já possui em sua estrutura cognitiva, podendo ser um conjunto de ideias ou conhecimentos que se processam de forma organizada nessa estrutura. Segundo ele (1980), para que a aprendizagem significativa ocorra, dois requisitos são importantes: o aprendiz deve querer aprender, e o material ou aula precisa ser potencialmente significativo. Além disso, esse material deve ativar os conceitos

subsunções e interligar conhecimentos, dando ao aprendiz condições de transformar esse conhecimento de maneira significativa.

De acordo com a Teoria da Aprendizagem Significativa, uma nova informação se ancora em conceitos relevantes (subsunções) já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Ausubel destaca as estruturas cognitivas como estruturas hierárquicas de conceitos que correspondem a representações de experiências vivenciais do indivíduo. A ocorrência da aprendizagem significativa resulta na ampliação e modificação do conceito subsunçor. A partir de um conceito mais amplo que se direciona aos específicos, o conhecimento pode ser construído de modo a relacionar-se com novos conceitos, facilitando a compreensão das novas informações, o que dá significado real ao conhecimento adquirido.

Os organizadores prévios, segundo o teórico, consistem em informações e recursos introdutórios que devem ser apresentados aos estudantes antes dos conteúdos curriculares específicos, para servir de ponte entre o que eles já sabem e o que irão aprender de forma significativa. Esses organizadores são mais eficazes quando apresentados no início das atividades e têm por objetivo provocar o interesse e o desejo de aprender. Sua formulação deve primar por um vocabulário bastante familiar ao público a que se destinam, além de clareza e objetividade, a fim de que possam proporcionar a aprendizagem e seu valor pedagógico. Outra característica importante da TAS refere-se ao fato de que o material deve ser potencialmente significativo e relacionável com a estrutura cognitiva do estudante, que, por sua vez, precisa estar disposto a relacioná-lo a essa estrutura.



Ausubel estabelece, ainda, alguns princípios que considera facilitadores da aprendizagem significativa: a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora. A diferenciação progressiva representa as ideias mais gerais inclusivas da matéria, que devem ser apresentadas no início da atividade de ensino e, progressivamente, diferenciadas em termos de detalhes e especificidades. Ou seja, para ele, deve-se partir do amplo para o específico. Já a reconciliação integradora diz respeito à matéria de ensino propriamente dita, que, além de proporcionar a diferenciação progressiva, precisa explorar explicitamente relações entre conceitos e

preposições, destacar as diferenças e semelhanças e reconciliá-los. A reconciliação integradora representa, portanto, a relação entre conhecimentos, dando-lhes novos significados.

Na aprendizagem significativa, os novos conhecimentos vão se tornando significativos para o sujeito de modo progressivo. Por isso, a avaliação deve buscar evidências desse processo. Aprendizagem significativa implica compreensão. Portanto, a avaliação deve identificar indícios de compreensão, não de forma mecânica, “decorada” – que, muitas vezes, pode ser resultante dessa aprendizagem –, mas sim de forma reflexiva e dialogada, que possibilite perceber a diferenciação progressiva de conceitos adquiridos significativamente pelo estudante.

Para Ausubel, a aprendizagem significativa contrapõe fundamentalmente a aprendizagem mecânica. Enquanto na primeira o aprendiz consegue integrar um novo conhecimento com aquilo que já sabia e, assim, estabelecer conexões, na segunda ele recebe a informação, mas não interage, isto é, ele sabe o conteúdo de um único modo. Destaca-se, porém, que as duas formas constituem uma contínua, pois quando o aprendiz não traz em sua estrutura cognitiva determinado conhecimento, ele aprende primeiramente de forma mecânica, e criam-se conceitos subsunções, ou seja, organizadores prévios, para, após, poderem se relacionar com o novo conhecimento.

Segundo Ausubel, na TAS, é muito importante o papel do professor, que precisa preparar bem o material e ter clareza do que deve ensinar e do que deve saber, além de auxiliar o estudante a assimilar o conteúdo e organizar a sua própria estrutura de ensino cognitivo. Ainda, cabe-lhe motivar o aprendiz para querer aprender através do material potencialmente significativo, com histórias, vídeos, jogos, pesquisas, reflexões, levando-o a sair do estado passivo para o ativo.

A VOLTA AO MUNDO EM 80 DIAS, DE JÚLIO VERNE

Júlio Verne nasceu em Nantes, na França, em 8 de fevereiro de 1828. Precursor da ficção científica e escritor, dedicou a maior parte de sua obra à chamada “literatura de antecipação”, ou seja, de ficção científica, e aos romances de aventura, nos quais mostra como compreendeu o mundo em que vivia e os progressos nos meios de transporte e de comunicação.

Figura 1 – O escritor Júlio Verne.



Fonte: Biblioteca Júlio Verne. Disponível em: <<https://goo.gl/FFz6x6>>. Acesso em: 30 maio 2018.

A volta ao mundo em 80 dias, publicado em 1872, é um dos seus livros mais famosos. Esse romance de ficção científica insere-se no contexto da revolução industrial, que iria mudar as condições econômicas e sociais do século XIX, e

revela uma sociedade em pleno vapor, nos quais são nítidos os sinais de globalização.

Em 1872, Phileas Fogg, inglês metódico e distinto, membro do famoso Reform Club de Londres, faz uma aposta, no valor de 20 mil libras, em que se compromete a dar a volta ao mundo em 80 dias, ainda que, em sua época, realizar tal feito fosse praticamente impossível. Acompanhado de seu mordomo, Passepartout, e seguido pelo detetive Fix, da polícia londrina, que o julga como o ladrão do Banco de Londres, o destemido protagonista vivencia diversas aventuras pelo globo terrestre.

Mesmo não tendo saído por muitos anos da capital britânica, Fogg demonstra conhecer todos os trajetos dessa viagem. Junto com Passepartout, parte de Londres no primeiro trem. Durante a viagem, andam em muitos meios de transporte, como trens, navios a vapor e trenós à vela. Os três personagens passam por Suez, Bombaim, Calcutá, Hong Kong, Yokohama, São Francisco e Nova York.

No entanto, quase ao final da viagem, surge um imprevisível que absolutamente pode pôr tudo a perder:

Depois de ter percorrido quase todo o percurso com afinco, ter rompido muitos obstáculos, enfrentando diversos perigos, ter encontrado tempo para fazer algo de bom nesta viagem, conhecer Auda, perder todo este esforço seria um fato brutal, que ele não poderia ter previsto, e contra o qual estava desarmado: isso seria terrível. (2001, p. 36-37)

Fogg perde o trem e viaja de trenó à vela até a estação mais próxima. Os personagens partem para Nova York, e, lá chegando, descobrem que o navio China já havia partido para Liverpool. No dia seguinte, ele contrata o navio Henrietta, mas o capitão não concorda em desviar a rota

para deixá-lo em Liverpool. Fogg embarca mesmo assim e, no meio do percurso, tranca o capitão no compartimento, assumindo o seu lugar. Alguns dias antes de chegarem ao destino, o carvão acaba, e, para garantir a continuidade da viagem, partes de madeira do Henrietta são queimadas para servir de combustível. Fogg devolve o casco do navio ao capitão, acalmando-o.

Quando chegam a Liverpool, o apostador é preso pelo detetive Fix, que o liberta após se dar conta do lamentável equívoco. Como esse episódio atrasa a viagem, Fogg aluga um trem ultrarrápido, opção que se revela inútil, pois a chegada a Londres se dá com cinco minutos de atraso. Isso o deixa muito desapontado, pois, em vista disso, a aposta estaria perdida.

À noite, Fogg pede Auda em casamento. São 20h5min, e Passegpartout vai até a paróquia chamar o reverendo para realizar a cerimônia. Às 20h25min, os cavalheiros do Reform Club estão reunidos no salão, já considerando ganha a aposta. As ruas próximas ao Club estão tomadas de gente. E qual não é a surpresa de todos quando, pontualmente, às 20h45min, Phileas Fogg entra no salão? Sim, ele havia sido o ganhador.

Como? Quando o mordomo foi à igreja, descobriu que ele e Fogg haviam desembarcado em Londres com um dia de antecedência. Assim, voltou correndo e avisou o patrão, que conseguiu chegar em tempo de ganhar a aposta.

É possível um homem como Fogg se enganar tanto? A explicação é simples: dando a volta ao mundo pelo leste, Fogg ganhou um dia. De fato, os dias diminuem à razão de quatro minutos por meridiano quando se vai ao encontro do Sol.

Então, na verdade, Fogg provou que é possível dar a volta ao mundo em 79 dias, e não em 80 dias como havia apostado.

Ao longo da sequência didática, foram utilizadas diferentes traduções da obra de Júlio Verne, optando-se por livros ilustrados, em quadrinhos e com escrita simplificada, adaptações que consideram a faixa etária e os interesses dos estudantes.

PRIMEIRA ETAPA: PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

Aprimeira etapa tem como objetivo analisar a relação entre as variáveis termodinâmicas calor, trabalho e energia interna, em uma transformação gasosa, e aplicá-las à Primeira Lei da Termodinâmica. O tempo estimado para a sua aplicação é de oito períodos de cinquenta minutos cada.

Professor, antes de iniciar esta etapa, é interessante que os alunos leiam a obra *A volta ao mundo em 80 dias*.

Buscando evidenciar o que os estudantes conhecem sobre o tema e identificar os conceitos subsunçores, o primeiro passo consiste em estabelecer um diálogo em que o professor os instigue a construir individualmente um texto que expresse seus conhecimentos prévios sobre Termodinâmica. Para facilitar essa atividade, distribui-se uma folha contendo indagações voltadas a nortear e auxiliar os estudantes na elaboração do texto (Quadro 1).

Quadro 1 – Questões para auxiliar na construção do texto que busca identificar os conceitos subsunçores.

- Questão 1 – Você sabe dizer onde é possível perceber a existência de energia?
- Questão 2 – É possível converter um tipo de energia em outro? Explique.
- Questão 3 – Como funciona o motor de um carro?
- Questão 4 – Para funcionar, um motor à gasolina transforma energia? De que forma?
- Questão 5 – Existem outros motores como o motor à gasolina? Quais? Como funcionam?

A identificação dos conhecimentos prévios dos estudantes por meio do texto é seguida da organização da turma em pequenos grupos para assistirem ao trailer do filme *A volta ao mundo em 80 dias*.¹ Nas cenas desse trailer, que tem duração de 1min35s, são apresentados alguns meios de transporte da época. Logo, a sua exibição visa estabelecer a ligação entre os conceitos subsunçores evidenciados anteriormente e os conteúdos propostos para o momento. Após assistirem ao trailer, os estudantes devem, ainda nos grupos, discutir suas ideias em relação ao tema, para em seguida socializar seu entendimento entre todos os colegas.

Na intenção de relacionar os assuntos estudados aos conceitos subsunçores, distribui-se para os estudantes o texto “Como seria dar a volta ao mundo nos dias atuais?” (Quadro 2).

Quadro 2 – Texto selecionado para relacionar os assuntos estudados aos conceitos subsunçores.

Continua

Como seria dar a volta ao mundo nos dias atuais?



Fonte: GOOGLE. Imagens. A volta ao mundo nos dias atuais. Disponível em: <<https://goo.gl/ohWpcq>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

A obra conta que, em 1872, um refinado cavalheiro inglês, cuja vida era conduzida de forma correta, dentro de horários programados, fez uma aposta com seus companheiros do grande e exclusivo Reform Club, em que afirmou ser possível dar a volta ao mundo em 80 dias, em troca de vinte mil libras (cerca de três milhões de reais), mas estava mais preocupado em manter sua palavra. Phileas Fogg partiu mundo afora com seu recém-contratado mordomo, Passepartout.

Professor, assistir ao trailer do filme antes de discutir e identificar conceitos é uma boa dica.

¹ Disponível em: <<https://goo.gl/Du8zjs>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

Conclusão

Essa história foi escrita por Júlio Verne em *A volta ao mundo em 80 dias*. Esse livro pode ser o precursor da vontade de se aventurar pelo globo terrestre. Os personagens vivem diversas aventuras e muitas vezes precisam improvisar vários meios de transporte, como trens a vapor, navio a vapor, trenó à vela, entre outras, percorrendo um trajeto de quase nove mil quilômetros.

Atualmente o mesmo trajeto levaria cerca de seis dias, ou menos tempo ainda. Com os avanços tecnológicos e a evolução dos meios de transporte desde a primeira Revolução Industrial, isso se tornou uma realidade.

Outra curiosidade que podemos citar sobre o livro é que, já em 1872, as pessoas achavam que o mundo havia ficado menor, isto é, que as distâncias eram percorridas em menos tempo, graças à evolução dos meios de transporte e da tecnologia. De fato, isso fez com que diminuísse bastante o tempo de percurso a longas distâncias.

Pode ser que as futuras gerações, daqui a alguns anos, digam que, em 2018, as pessoas levavam muito tempo para ir à escola, ao trabalho naqueles carros lentos movidos à gasolina, da mesma forma que tinham paciência para viajar várias horas em aviões. Como serão os meios de transporte do futuro?

A sociedade atual, suas indústrias e as novas tecnologias vêm produzindo inúmeros efeitos sobre a humanidade e o meio ambiente, com a emissão de gases poluentes produzidos por usinas termoelétricas, automóveis e fábricas. Um dos principais causadores desses gases é o motor de combustão interna, que queima combustíveis para alimentá-lo e gera gases na emissão do escape.

Esses dispositivos são capazes de converter energia térmica em energia mecânica, sendo utilizados principalmente nos meios de transporte e na indústria. Podemos citar como exemplos a máquina a vapor, a turbina a vapor, os veículos automotores, a geladeira, o ar-condicionado. A liberação de energia pode ser usada para promover calor quando um combustível queima em um motor, produzindo trabalho mecânico. É impossível imaginarmos nossa vida sem esses dispositivos, que a cada dia estão sendo aprimorados.

Do motor do automóvel à panela de pressão, a Termodinâmica está presente em muitos fenômenos do dia a dia. Desde as antigas máquinas a vapor, fundamentais para a Revolução Industrial ocorrida na Inglaterra em meados do século XVIII, os estudos da Termodinâmica possibilitaram a análise dos fenômenos e das propriedades da matéria em condições específicas de variações macroscópicas e microscópicas, incluindo a mudança de temperatura, calor e pressão de um conjunto de partículas. Hoje em dia a Termodinâmica é aplicada desde as máquinas térmicas à meteorologia, com a medição de temperatura, pressão, umidade relativa do ar, nos automóveis, nas turbinas de aviões, nas usinas termoelétricas que se utilizam do calor produzido pela fissão atômica. Enfim, está presente em várias situações do cotidiano.

Fonte: PIMENTEL, 2013.

Após a leitura, solicita-se aos estudantes que grifem, no próprio texto, os conceitos termodinâmicos. Tendo como ponto de partida os conceitos destacados e visando estabelecer a diferenciação progressiva, os conceitos passam a ser trabalhados a partir de algumas situações problemas que envolvem a Termodinâmica.

Para dar início ao conteúdo de trabalho em uma transformação gasosa, propõe-se aos estudantes que, em grupos, assistam a um vídeo² envolvendo conhecimentos físicos sobre o tópico. Espera-se que eles compreendam a expansão e a compressão realizadas pelo gás, assim como o funcionamento de um pistão. Encerrado o vídeo, abre-se espaço para discussões, a fim de identificar o que os estudantes já sabem sobre o conceito de trabalho.

Professor, aqui pode ser útil fornecer uma explicação sobre os pistões que são usados em diversas situações descritas na história e em muitas aplicações mecânicas ao nosso redor, como, por exemplo, no funcionamento de um motor à gasolina.

A discussão pode ser facilitada por meio de alguns questionamentos, como, por exemplo: o que foi possível observar no vídeo? Você conseguaria explicar quais conceitos físicos estão envolvidos?

É importante que o professor não esclareça as questões neste momento, somente instigue a discussão, que irá culminar com a socialização das respostas entre os próprios colegas. Depois dessa reflexão, insere-se a linguagem matemática referente ao conceito de trabalho em uma transformação gasosa. Para isso, é necessário que os estudantes percebam que o aumento da temperatura causa um aumento da pressão interna, levando à variação do volume

² SIERRA, 2013. Disponível em: <<https://goo.gl/i6BZzZ>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

do gás (ΔV) e resultando no deslocamento do êmbolo. Esse deslocamento empurra o êmbolo até igualar a pressão externa.

Força e deslocamento estão diretamente relacionados à realização de trabalho mecânico. A grandeza escalar trabalho ($\Delta \tau$) é definida como o produto escalar entre os vetores força e o deslocamento resultante devido à força F e constante aplicada num trecho ΔS . O trabalho pode ser calculado por meio da expressão:

$$\tau = F \cdot \Delta S \cdot \cos \alpha$$

onde F é a força constante medida em newtons, ΔS é o deslocamento medido em metros, τ é o trabalho medido em joules, e α é o ângulo entre a direção da força aplicada e o deslocamento considerado.

Essa expressão pode ser escrita nos termos das grandezas pressão e volume, que estão associadas às transformações gasosas. Como a expressão p é obtida pela razão entre o módulo da força F e a área A , ou seja,

$$p = \frac{F}{A}$$

o módulo da força F pode ser obtido pelo produto da pressão p pela área A :

$$F = p \cdot A$$

Professor, nesta parte é recomendável estabelecer relações entre os conceitos subsunções e os conteúdos relativos a trabalho, energia interna, aplicações da Primeira e Segunda Leis da Termodinâmica, máquinas térmicas e outros que já fazem parte da estrutura cognitiva do estudante.

Considerando que $\alpha = 0^\circ$, uma vez que a força e o deslocamento têm a mesma direção e sentido, e que o produto $A \cdot \Delta S$ é equivalente a ΔV , tem-se:

$$\tau = F\Delta S \cos \alpha \Rightarrow \tau = p \cdot A \cdot \Delta S \cdot \cos 0^\circ \Rightarrow \tau = p \cdot \Delta V$$

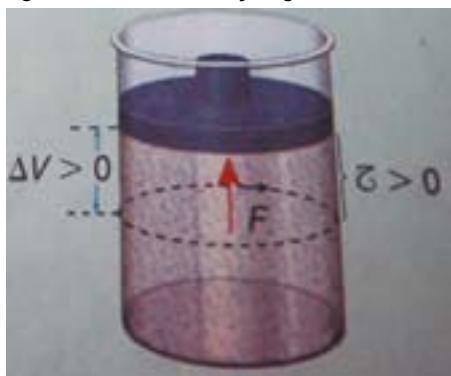
A expressão

$$\tau = p \cdot \Delta V = p \cdot (V_f - V_0)$$

permite calcular o trabalho realizado em transformações gasosas, em que a pressão do gás é mantida constante. A análise deve levar os estudantes a observarem que:

- havendo aumento do volume do gás, como em uma expansão isobárica, então $\Delta V > 0$ e, consequentemente, o trabalho será motor ($\tau > 0$), isto é, realizado pelo gás sobre o pistão e sobre o meio externo (Figura 2);

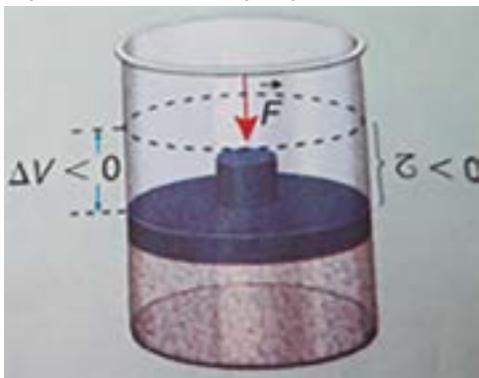
Figura 2 – Transformação gasosa.



Fonte: MARTINI et al., 2016, p. 107.

- havendo redução no volume ocupado pelo gás no recipiente, como em uma compressão isobárica, então $\Delta V < 0$ e, assim, o trabalho será resistente ($\tau < 0$), isto é, realizado sobre o gás, ou seja, o meio externo realizará trabalho sobre o gás (Figura 3).

Figura 3 – Transformação gasosa.



Fonte: MARTINI et al., 2016, p. 107.

Nesta parte, para promover a reconciliação integradora dos conceitos, é necessário comentar com os estudantes que, no trabalho realizado pelo gás, há uma energia que é transferida do gás para o meio externo e, portanto, é perdida por ele, e que, no caso do trabalho realizado sobre o gás, há uma entrada de energia no sistema proveniente do meio externo. A intenção é que os estudantes compreendam que a parte inferior do pistão pode se mover para cima e para baixo à medida que a pressão dentro do pistão muda, conforme visualizado no vídeo.

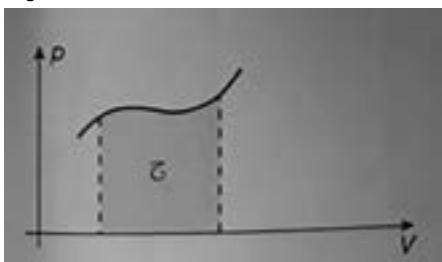
A reconciliação integradora é fortalecida com base no resgate, feito pelo professor, sobre o funcionamento do motor da locomotiva da história de Júlio Verne: o vapor pressurizado gerado na caldeira segue até a câmara da válvula

la, onde é direcionado pelo espaço livre até o pistão, sendo empurrado até a outra extremidade de sua câmara. O movimento do pistão faz a roda girar sobre seu eixo. A roda movimenta a válvula, mudando o curso do vapor pressurizado e do vapor despressurizado. O pistão retorna ao ponto inicial empurrado pelo vapor pressurizado, porém pelo lado contrário. E assim o ciclo continua movendo a locomotiva enquanto houver vapor para alimentar o motor.

A partir do resgate da cena da história e da compreensão do fato que move a locomotiva, passa-se a construir com os estudantes o entendimento de que, quando se aquece o gás, ele adiciona energia às suas moléculas. Pode-se observar o aumento de energia cinética média das moléculas medindo o aumento de temperatura. À medida que as moléculas se movem mais rapidamente, elas também colidem com o pistão com maior frequência. As colisões cada vez mais frequentes transferem energia para o pistão e o movem contra uma pressão externa, aumentando o volume geral do gás. Nesse exemplo, o gás realizou trabalho sobre o meio exterior, que corresponde ao pistão e ao meio.

A expressão $\tau = p.\Delta V = p.(V_f - V_0)$ só pode ser aplicada se a pressão p for constante. No caso de pressões variáveis, o trabalho realizado na transformação gasosa pode ser obtido calculando a área da curva sob o gráfico da pressão p em função do volume V em um plano p em função de V . Caso ocorra uma compressão, é preciso lembrar que o trabalho é negativo ($\tau < 0$).

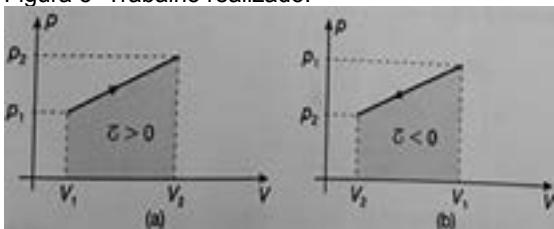
Figura 4 –Trabalho realizado.



Professor, lembre-se que, nas transformações em que a pressão é variável, o trabalho pode ser calculado determinando-se a área sob a curva em um gráfico $p \times V$.

Fonte: MARTINI et al., 2016, p. 108.

Figura 5- Trabalho realizado.



No gráfico (a), o trabalho é realizado pelo gás sobre o meio externo ($\tau > 0$).

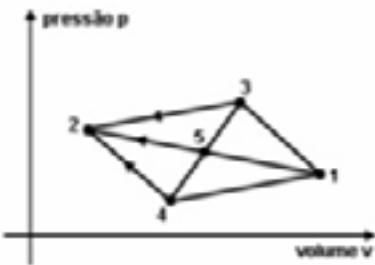
No gráfico (b), o trabalho é realizado pelo meio externo sobre o gás ($\tau < 0$).

Fonte: MARTINI et al., 2016, p. 108.

Na continuidade desta etapa, recomenda-se que os estudantes resolvam algumas situações problemas, para auxiliar no estabelecimento da reconciliação integradora dos conceitos estudados até o momento. Como sugestão, indicam-se as questões contidas no Quadro 3.

Quadro 3 – Questões para promover a reconciliação integradora.

Questão 1 - Um sistema pode seguir por diferentes caminhos durante a transformação gasosa de um estado termodinâmico (1) a um estado (2), como nas locomotivas e barcos a vapor citados no livro. Na figura, estão representados, em um diagrama, pressão por volume, alguns desses trajetos para determinar massa gasosa.



Em qual dos seguintes trajetos:

- $1 \rightarrow 3 \rightarrow 2$
- $1 \rightarrow 4 \rightarrow 2$
- $1 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 2$
- $1 \rightarrow 5 \rightarrow 2$
- $1 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 2$

o trabalho realizado sobre o gás:

- a) é máximo?
b) é mínimo? Por quê? →

Questão 2 - Por que o ar no interior de uma bomba usada para encher bolas ou pneus de bicicleta se aquece durante o processo de calibração desses objetos? Poderíamos relacionar esse processo com o funcionamento da locomotiva presente no livro?

Professor, aproveite para discutir a relação entre o aumento da temperatura e a energia interna do gás dentro do sistema, relacionando-os com a velocidade média das moléculas do gás.

Gabarito:

Questão 1

- a) O trabalho será máximo quando a área for máxima, ou seja, durante o trajeto 1-3-2.
b) O trabalho mínimo que será realizado sobre o gás é referente ao processo 1-4-2, pois é o trajeto de menor área.

Questão 2

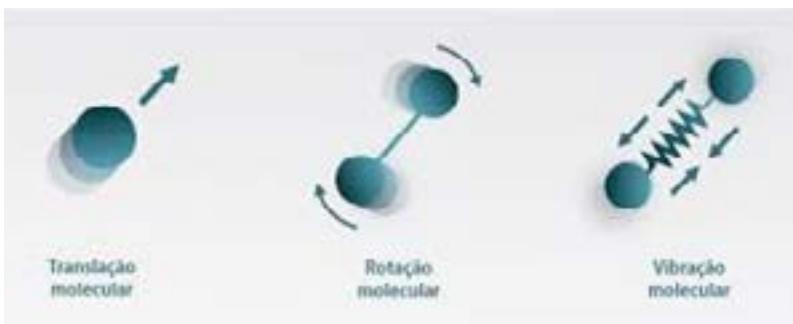
Nas transformações adiabáticas, realiza-se trabalho sobre o gás, diminuindo seu volume. O sistema aproveita a energia interna transferida, aumentando a sua energia interna e a pressão. Essa ação externa é responsável pelo aumento de energia e temperatura. Já no funcionamento das locomotivas, é o contrário: o gás realiza trabalho sobre o meio externo.

Seguindo esta etapa, para integrar os conceitos de energia interna aos já existentes na estrutura cognitiva dos estudantes, apresentam-se alguns questionamentos, a exemplo de: dentro do gás existe energia? Quais os tipos de energia você considera que existe dentro de um gás? O que leva as moléculas a se agitarem mais? Essa agitação proporciona um deslocamento do pistão. Deslocamento significa que tipo de movimento?

A partir das respostas dos estudantes, visando estabelecer a diferenciação progressiva, discute-se com a turma que a energia interna de um sistema (U) é resultante da soma de várias energias, entre as quais, as energias de translação, de rotação e de vibração de suas moléculas. Porém, existe, ainda, outra parcela dessa energia interna, que é a das partículas intra-atômicas. Nessa direção, é importante esclarecer aos estudantes que há, também, a energia potencial associada às forças internas conservativas de suas partículas e, por fim, a energia cinética associada à agitação térmica de suas moléculas.

Com isso, o professor pode dialogar com os estudantes, levando-os a compreender que, conforme a teoria cinética dos gases, todos os gases têm a mesma energia cinética média por molécula desde que estejam à mesma temperatura.

Figura 6 - Energia interna de um sistema



Fonte: ENERGIA interna (U ou E). Disponível em: <<https://bit.ly/2QZM1tT>>. Acesso em: 07 out. 2018.

Isso compreendido, acrescenta-se aos estudantes que essa energia é calculada por meio da expressão:

$$E_c = \frac{3nRT}{2}$$

em que n é o número de mols do sistema gasoso, R é a constante universal dos gases, e T é a temperatura absoluta do sistema.

Como consequência do estudo realizado, os estudantes devem conseguir compreender que se pode, também, determinar a variação da energia interna (ΔU) em uma transformação gasosa calculando a diferença entre as energias cinéticas médias de seus estados final e inicial, e concluir que:

$$\Delta U = E_{cf} - E_{ci} = \frac{3nRT_f}{2} - \frac{3nRT_i}{2} = \frac{3nR\Delta T}{2}$$

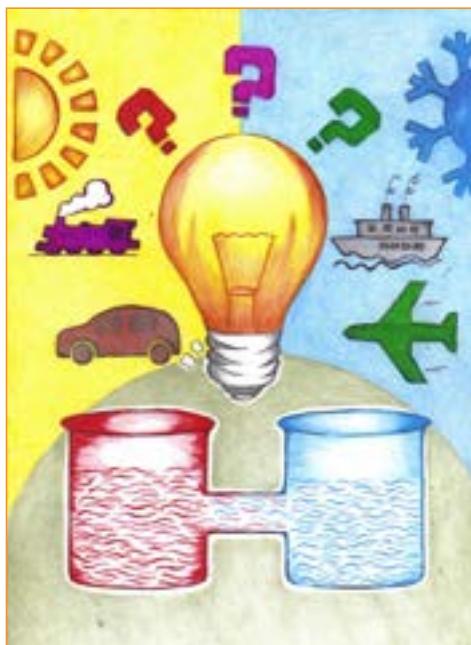
Com tudo isso, torna-se possível estabelecer um diálogo que conduza os estudantes à construção da compreensão de que a teoria cinética dos gases também pode ser expressa por meio da expressão da Lei de Joule para os gases ideais. Segundo essa lei, a variação da energia interna de determinada massa gasosa é função única e exclusiva de sua temperatura absoluta.

Assim, existem as seguintes situações possíveis em uma transformação gasosa:

- se a temperatura absoluta aumentar, então $\Delta U > 0$;
- se a temperatura absoluta diminuir, então $\Delta U < 0$;
- se não houver variação de temperatura absoluta, então $\Delta U = 0$, ou seja, não ocorrerá variação da energia interna de uma transformação gasosa.

Prosseguindo nesta etapa, os estudantes são convidados a assistir a um pequeno trecho do filme *A volta ao mundo em 80 dias*,³ para promover outro espaço que favoreça a diferenciação progressiva dos conceitos estudados. Após a visualização do trecho, a intenção é instigá-los a refletir sobre o que assistiram. Para isso, sugere-se o conjunto de questões contidas no Quadro 4.

Professor, é importante lembrar aos estudantes que, em uma transformação gasosa, o trabalho depende dos estágios entre os estados iniciais e finais, o que não ocorre com a grandeza variação de energia interna (ΔU). A teoria cinética depende apenas das temperaturas inicial e final da massa de gás considerada, e não dos estágios intermediários por que passa o gás durante a transformação.



³ VOLTA AO MUNDO EM 80 DIAS (Around the World in 80 Days). Disponível em: <<https://goo.gl/ZTQCd2>>. Acesso em: 28 maio 2018.

Quadro 4 – Questões para direcionar a reflexão.

Questão 1 - Que conceitos estão envolvidos nesta cena?



Fonte: GOOGLE. Imagens. Volta ao mundo em 80 dias – cenas do filme. Disponível em: <<https://goo.gl/7BySY2>>. Acesso em: 19 maio 2018.

Questão 2 - É possível relacionar conceitos estudados até o momento com os vistos na cena?

Questão 3 - Conseguimos compreender todos os conceitos envolvidos na cena?

Depois de os estudantes refletirem sobre os questionamentos no grande grupo, o professor pode definir a Primeira Lei da Termodinâmica, retomando a Lei da Conservação de Energia, discutida anteriormente, como sendo uma das leis fundamentais da Física e que pode ser enunciada da seguinte maneira:

A energia não pode ser criada nem destruída; pode apenas ser transformada de uma forma em outra, e sua quantidade total permanece constante.

Considerando esse princípio de conservação, é necessário que os estudantes percebam que, se dois sistemas estiverem em contato e isolados de outros sistemas, uma forma de energia poderá ser transformada em outra, e se a energia de um diminuir, a de outro terá de aumentar. Nos processos que podem ser considerados reversíveis, a energia final pode ser convertida em energia inicial do processo. No

Professor, reforce com os estudantes que a Primeira Lei da Termodinâmica expressa o princípio de conservação de energia de um sistema, considerando três formas diferentes de energia: o trabalho mecânico, a variação de energia e o calor.

entanto, a maior parte ou a totalidade dos processos espontâneos são irreversíveis. Nesses processos, ocorre a transformação de uma forma de energia em outra que não pode mais ser reconverte à forma inicial.

Para exemplificar os conceitos estudados, retoma-se a cena do filme em que aparece o carro movido a vapor, o qual se desloca devido ao funcionamento da caldeira, pois a água aquece e se transforma em vapor, que leva os pistões a se moverem, realizando trabalho e fazendo o carro sair do lugar.

A partir da situação descrita, cabe explicar aos estudantes que, na cena, houve balanço energético e, consequentemente, variação da energia interna do sistema e realização de trabalho. A variação de energia interna pode ser observada, na situação descrita, com o aumento de temperatura do recipiente e seu conteúdo e a realização de trabalho. Ou seja, há uma relação entre o trabalho realizado e a diferença entre calor recebido e a variação de energia interna do sistema. Assim, pode-se concluir com os estudantes que essa relação é a base da Primeira Lei da Termodinâmica, que pode ser enunciada da seguinte forma:

Professor, outro exemplo que pode ser citado é o funcionamento de uma panela de pressão usada na cozinha de casa. A chama do fogão troca calor com a panela. Por condução, a panela aquece a água, e, por convecção, a camada de água mais próxima do fundo da panela aquece o restante de água contida no recipiente. A temperatura no interior da panela aumenta e, desse modo, ocorre variação da energia interna do conteúdo desse recipiente. A água entra em ebulição, e o vapor de água formado nesse aquecimento sob pressão escapa pela válvula da tampa. No deslocamento vertical do pino, ocorre trabalho mecânico. Observe que, após esse deslocamento vertical, a dissipação de energia se dá em forma de calor levado pelo vapor para o meio externo.

A variação de energia interna (ΔU) de um sistema é resultante da diferença entre a quantidade de calor (Q) trocada com o meio externo e o trabalho (τ) realizado no processo termodinâmico, ou seja:

$$\Delta U = Q - \tau$$

Como a Primeira Lei da Termodinâmica se aplica a muitos processos termodinâmicos, visando estabelecer a reconciliação integradora dos conceitos relacionados a essa lei, o professor deve analisar e discutir os dados contidos no Quadro 5.

Professor, que tal solicitar que os estudantes busquem descobrir o significado dos tipos de transformações termodinâmicas contidas no quadro?

Quadro 5 – Comportamento das diferentes transformações termodinâmicas.

Transformação gasosa	Descrição	Primeira Lei da Termodinâmica	Exemplos relacionados
Isotérmica	A transformação ocorre com a temperatura constante. $\Delta U = 0$	$Q = \tau$ Todo calor fornecido ao sistema é integralmente transformado em trabalho.	O movimento do êmbolo de um pistão.
Isométrica	A transformação ocorre com o volume constante. $\tau = 0$	$Q = \Delta U$ Todo calor fornecido ao sistema é integralmente transformado em energia interna.	Na bomba de um motor a vapor, a água é comprimida, aumentando sua pressão até se igualar à pressão da caldeira.
Isobárica	A transformação ocorre com a pressão constante.	$Q = \tau + \Delta U$ Uma parte do calor fornecido ao sistema será transformado em trabalho, e o restante, em energia interna.	A água na caldeira vaporiza-se sob pressão constante, aumentando seu volume.
Adiabática	Não há trocas de calor entre o sistema termodinâmico e o meio externo. $Q = 0$	$\tau = -\Delta U$ Todo trabalho recebido ou realizado é convertido em energia interna do próprio gás.	Nas turbinas usadas nos barcos a vapor, o vapor se expande e realiza trabalho fazendo as hélices girarem. O vapor e as hélices estão na mesma temperatura e a transformação é rápida não ocorrendo trocas de calor.

Fonte: adaptado de MARTINI et al., 2016, p. 113-115.

Para fortalecer a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora dos conceitos estudados até o momento, propõe-se aos estudantes que respondam em duplas às questões disponíveis no Quadro 6.

Quadro 6 – Questões.

Questão 1 - De acordo com os conceitos estudados até o momento, as transformações de energia que ocorrem no funcionamento do motor de uma locomotiva a vapor como a descrita por Júlio Verne, discuta o que está contido nas seguintes afirmações:



Fonte: GOOGLE. Imagens. Locomotivas a vapor. Disponível em: <<https://goo.gl/s9wK4i>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

- a) A força expansiva do vapor, que é uma energia térmica, convenientemente aproveitada, pode transformar-se em energia mecânica ou de movimento e ser empregada nas máquinas a vapor como força motriz.
- b) A conversão integral de calor em trabalho é impossível.
- c) A transformação de energia térmica em cinética é impossível.
- d) A locomotiva a vapor e um conjunto de elementos mecânicos têm por objetivo transformar a energia calorífica dos combustíveis em energias mecânicas, transmitir o movimento resultante dos êmbolos aos eixos motrizes e, finalmente, transformar esse movimento retilíneo alternado em circular contínuo para as rodas.

Questão 2 - Quem fornece a energia interna para o vapor de água em uma locomotiva a vapor como a da figura da Questão 1?

Gabarito:

Questão 1

Comentários sobre as alternativas:

- a) O princípio de funcionamento de uma máquina a vapor é a transformação de energia térmica em energia mecânica, utilizando a expansão do vapor da água, e parte dessa energia em força motriz.
- b) Em uma máquina térmica como a locomotiva da figura, a fonte quente é a caldeira, e a fonte fria é o ar atmosférico; o calor retirado da caldeira é parcialmente transformado em trabalho motor, que aciona a máquina, e a diferença é rejeitada para a atmosfera.
- c) É possível, pois em uma locomotiva a vapor o calor retirado da caldeira é transformado parcialmente em trabalho motor, neste caso, movendo a locomotiva.
- d) Sim, para ocorrer o funcionamento da locomotiva a vapor é necessário um conjunto de elementos mecânicos, resultando num movimento retilíneo alternado em circular contínuo para as rodas.

Questão 2

Pode ser o carvão ou a lenha quando queimados.

Para finalizar esta etapa, buscando promover o processo de assimilação dos conceitos estudados e identificar indícios ou evidências de aprendizagem significativa, sugere-se o desenvolvimento de uma atividade experimental, proposta por Mazaro e Darroz (2017), na qual os estudantes devem construir um barco a vapor (Quadro 7). Essa atividade tem como principal objetivo abordar os conceitos estudados sobre a Primeira Lei da Termodinâmica. Para tal, apresenta a construção de um experimento simples e de baixo custo, que simula o funcionamento de um barco a vapor.

Espera-se, com a proposta, proporcionar aos estudantes momentos de reflexão e discussão, levando-os à compreensão dos conceitos sobre o tema, pois as atividades experimentais são consideradas fundamentais para a construção do conhecimento em ciências.

Quadro 7 – A atividade experimental.

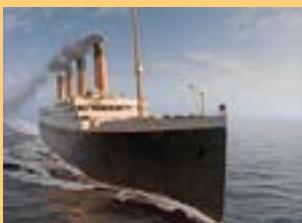
Antes de iniciar a atividade experimental, sugere-se que os estudantes sejam divididos em grupos de três ou quatro componentes. A primeira parte da atividade consiste em uma análise, por parte dos grupos, de duas figuras que contêm imagens de máquinas a vapor.

Figura 1 – Locomotiva a vapor



Fonte: GOOGLE. Imagens. Locomotivas a vapor.
Disponível em: <<https://bit.ly/2MStQU5>>. Acesso em: 5 jul. 2018.

Figura 2 – Navio a vapor



Fonte: GOOGLE. Imagens. Navio a vapor.
Disponível em: <<https://bit.ly/2ufcmJZ>>. Acesso em: 5 jul. 2018.

Após a observação das imagens, solicita-se aos estudantes que, em grupo, construam o equipamento da atividade proposta, um barco a vapor feito de materiais alternativos e de baixo custo:

- uma bandeja de isopor;
- uma lata de alumínio de 300 ml;
- dois canudinhos;
- uma vela de bolo de aniversário cortada ao meio;
- dois tubos de cola epoxi;
- uma pistola de cola quente;
- um estilete;
- uma tesoura;
- um alicate;
- uma caneta de escrever em CD;
- um rolo de fita crepe;
- um acendedor tipo isqueiro;
- um pedaço de tábua com 25 cm de comprimento, 8 cm de largura e 2,5 cm de espessura;
- dois atilhos (borrachas de dinheiro);
- uma folha contendo um molde com as medidas para as dobras do alumínio, um molde para confeccionar o triângulo para a dobra dos canudos e um molde com as medidas da placa de isopor com o modelo do barco proposto por Thenório (2012);
- um recipiente com água.

De posse dos materiais, inicia-se a construção do barquinho a vapor.

Para começar, recortam-se as partes superior e inferior da lata de alumínio, como demonstrado na Figura 3.

Figura 3 – Recorte da lata de alumínio.



Fonte: a autora.

Após recortar a latinha, dobraram-se as laterais da lata ao meio e colam-se com um pedaço de fita crepe (Figuras 4a e 4b).

Figura 4a – Laterais da lata dobradas. Figura 4b – Laterais da lata coladas.



Fonte: a autora.



Fonte: a autora.

Na outra extremidade, pega-se o pedaço de madeira e força-se para a lata ficar bem dobrada (Figura 5).

Figura 5 – Lata dobrada com um pedaço de madeira.



Fonte: a autora.

Em seguida, pega-se o papel com as medidas e cola-se na lata, cortando as sobras. Dobra-se bem, remove-se o papel, colocam-se os canudos no alumínio, conforme as Figuras 6a e 6b.

Figura 6a – Colar o papel com as medidas.



Fonte: a autora.



Fonte: a autora.

Colam-se bem as dobras, para que não vaze água, como mostrado na Figura 7.

Figura 7 – Colar as dobras.



Fonte: a autora.

Mark 4 cm below the fold of the straws, according to Figure 8, cutting them and gluing them well on the aluminum, as shown in Figure 9.

Figure 8 – Cut the straws.



Source: author.

Figure 9 – Glue the straws on the aluminum.



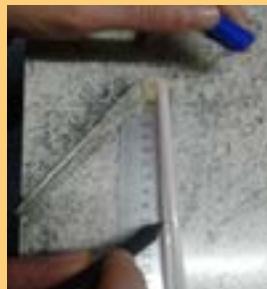
Source: author.

After, make a support in the shape of a triangle with the dimensions shown in Figure 10a. Measure 10 cm, and cut the straws before fitting the aluminum with the straw (Figure 10b). Glue with hot glue on the fold of the straw, as shown in Figure 10c.

Figure 10a – Support in the shape of a triangle. Figure 10b – 10 cm measurement on the straw.



Source: author.



Source: author.

Figure 10c – Glue with hot glue on the fold of the straw.



Source: author.

Recorta-se o molde do barco no isopor, conforme a Figura 11a. Em seguida, prepara-se o suporte para a vela com uma sobra de alumínio, como a Figura 11b, fixando o motor e a vela no barco com as borrachas (Figura 12).

Figura 11a – Recorte do molde do barco.



Fonte: a autora.

Figura 11b – Suporte para a vela.



Fonte: a autora.

Figura 12 – Fixar o motor e a vela no barco com as borrachas.



Fonte: a autora.

Durante o processo de construção, deve-se estimular os estudantes a formular hipóteses sobre quais os fatores que podem causar o movimento do barco a vapor. Dessa forma, eles terão a possibilidade de expor seus conhecimentos prévios e pensamentos, demonstrar a forma como articulam suas concepções acerca do assunto e organizar a atividade experimental.

Seguindo nesta etapa, que consiste na execução do planejado, sugere-se que os estudantes enchem os canudos do barco com água e que o coloquem em um recipiente com água, ascendendo a vela (Figura 13).

Figura 13 – O barco a vapor se movimenta.



Fonte: a autora.

Na tentativa de testar as hipóteses elencadas na etapa anterior, recomenda-se indagar aos estudantes, na medida em que observam o que está ocorrendo, por que o barquinho a vapor navega. A intenção é que, nos grupos, eles se sintam envolvidos intelectualmente na atividade e, dessa forma, sejam capazes de construir conceitos termodinâmicos implicados no processo.

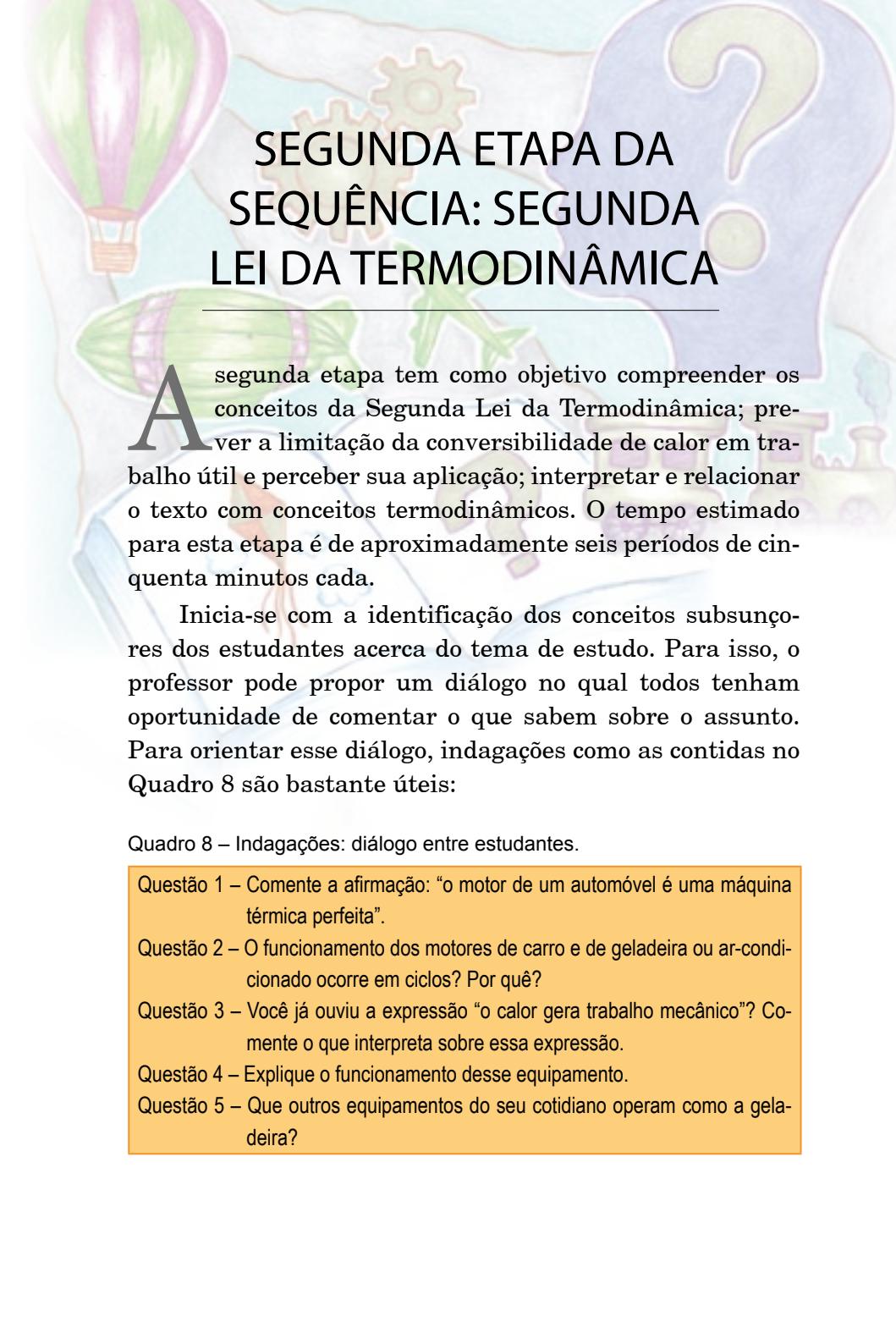
Através da interação com os colegas, espera-se que os estudantes compreendam que o barquinho anda porque há pequenas gotas de água dentro do compartimento de alumínio. Quando essas gotas esquentam, transformam-se em vapor e “expulsam” a água que está nos canudinhos, criando uma espécie de jato. Quando o vapor está prestes a sair, contudo, o contato com a água gelada leva a que ele esfrie e se transforme em líquido novamente. Com a diminuição da temperatura, diminui também a pressão dentro do compartimento de alumínio, fazendo que a água volte para lá. Aí a água esquenta novamente, e assim o ciclo recomeça.

Nessa etapa, ocorre o fechamento da atividade experimental, quando se busca interpretar o observado e relacioná-lo com a teoria. Para isso, através de uma roda de conversa, os estudantes devem ser indagados sobre: o que as imagens contidas nas Figuras 1 e 2 deste quadro têm em comum com o barco a vapor construído? O que a Termodinâmica tem a ver com nosso cotidiano? Qual a relação entre trabalho e energia? No que tange ao barco a vapor, quem realizou trabalho? Qual a relação entre o barco a vapor e o princípio básico de funcionamento de uma máquina a vapor?

Espera-se que com essa atividade os estudantes confrontem suas hipóteses com o observado e com os conteúdos relacionados à Primeira Lei da Termodinâmica.

Após responder às indagações propostas por Mazaro e Darroz (2017), o professor passa a motivar os estudantes para que eles elaborem individualmente um texto com imagens e explicações sobre as relações entre os conceitos termodinâmicos e a atividade experimental como fechamento da primeira etapa, possibilitando identificar os indícios de aprendizagem significativa no seu decorrer.

Depois de analisados pelo professor, os textos são discutidos em uma roda de conversa na sala de aula, para que ocorram a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora desses conceitos.



SEGUNDA ETAPA DA SEQUÊNCIA: SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA

A segunda etapa tem como objetivo compreender os conceitos da Segunda Lei da Termodinâmica; prever a limitação da conversibilidade de calor em trabalho útil e perceber sua aplicação; interpretar e relacionar o texto com conceitos termodinâmicos. O tempo estimado para esta etapa é de aproximadamente seis períodos de cinquenta minutos cada.

Inicia-se com a identificação dos conceitos subsunções dos estudantes acerca do tema de estudo. Para isso, o professor pode propor um diálogo no qual todos tenham oportunidade de comentar o que sabem sobre o assunto. Para orientar esse diálogo, indagações como as contidas no Quadro 8 são bastante úteis:

Quadro 8 – Indagações: diálogo entre estudantes.

- | |
|--|
| Questão 1 – Comente a afirmação: “o motor de um automóvel é uma máquina térmica perfeita”. |
| Questão 2 – O funcionamento dos motores de carro e de geladeira ou ar-condicionado ocorre em ciclos? Por quê? |
| Questão 3 – Você já ouviu a expressão “o calor gera trabalho mecânico”? Comente o que interpreta sobre essa expressão. |
| Questão 4 – Explique o funcionamento desse equipamento. |
| Questão 5 – Que outros equipamentos do seu cotidiano operam como a geladeira? |

Enquanto os estudantes dialogam, é importante que o professor apresente uma postura de mediador, incentivando-os a expor suas compreensões de maneira tranquila e transparente. Recomenda-se que as ideias centrais sejam anotadas em uma folha.

Ao término do diálogo, propõe-se que os estudantes, em pequenos grupos, construam um mapa conceitual com as ideias anotadas anteriormente. Acredita-se que esse material apresentará os conceitos subsunçores que servirão de âncora para o estudo do conteúdo.

O estabelecimento da relação entre os conceitos subsunçores identificados no mapa conceitual construído e os conceitos relacionados à Segunda Lei da Termodinâmica inicia a partir da visualização da imagem a seguir, projetada à turma.

Figura 7 – Capa da obra A volta ao mundo em 80 dias (L&PM, “Clássicos da Literatura em Quadrinhos”, 2016).



Fonte: GOOGLE. Imagens. Livro A volta ao mundo em 80 dias. Disponível em: <<https://goo.gl/75ScCZ>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

Logo, os estudantes devem falar sobre os conceitos que estão subentendidos na imagem, e o professor pode usar como roteiro as questões contidas no Quadro 9.

Quadro 9 – Questões referentes à imagem da Figura 5.

Questão 1 - Observando a imagem, é impossível passar energia de um estado para outro sem haver perda associada?

Questão 2 - Podemos observar na imagem o funcionamento da locomotiva, a energia que está operando no sistema tem 100% de eficiência?

Questão 3 - O funcionamento da locomotiva é espontâneo?

Professor, discuta as questões como uma forma de instigar o interesse dos estudantes. Cada grupo vai anotar suas respectivas respostas, pois mais adiante elas serão retomadas e comparadas.

Para auxiliar na compreensão, os estudantes recebem uma folha com um trecho de A volta ao mundo em 80 dias (Quadro 10), a qual contém os conceitos que serão apresentados ao longo desta etapa.

Quadro 10 – Trecho da história A volta ao mundo em 80 dias.

A volta ao mundo em 80 dias

Professor, como os estudantes já devem ter feito a leitura do livro, cabe neste momento apenas problematizar a história.



Fonte: GOOGLE. Imagens. Livro A volta ao mundo em 80 dias. Disponível em: <<https://goo.gl/Yh9GC2>>. Acesso em: 22 jun. 2018.

A volta ao mundo em 80 dias é uma incrível aventura pelos mais diversos locais, culturas e situações. Verne era um escritor muito além de seu tempo, pois citava vários avanços científicos e tecnológicos.

Durante essa emocionante viagem os personagens tiveram muitos contratemplos, um deles foi quando não conseguiram chegar a tempo para a partida do vapor China para Liverpool. No dia seguinte embarcam no navio de carga Henrietta rumo a Bourdeaux, onde Fogg oferece dois mil dólares para cada um, mas o capitão do navio se recusa a levá-los para a Inglaterra.



Fonte: GOOGLE. Imagens. Livro A volta ao mundo em 80 dias.
Disponível em: <<https://goo.gl/L6h5uo>>. Acesso em: 22 jun. 2018.

Fogg, então, suborna os marinheiros, eles prendem o capitão na cabine e Fogg assume o comando; porém, o carvão não era suficiente para alcançar Liverpool. Fogg compra a embarcação por sessenta mil dólares e manda para a caldeira toda a madeira do navio, deixando-o apenas com o casco de ferro e o motor. Durante os primeiros dias, a navegação se fez em excelentes condições. O mar não estava muito duro; o vento parecia fixo a nordeste; largaram-se as velas, e, sob suas goletas, o Henrietta andou como um verdadeiro transatlântico.

Um contratempo, Fogg, para não se afastar de sua rota, teve de ferrar as velas e forçar o vapor. Contudo, o andamento do navio foi diminuindo, tendo em conta o estado do mar, cujas imensas ondas quebravam contra a roda de proa. O navio começou a arfar violentamente, em prejuízo da sua velocidade. O vento virava pouco a pouco furacão, e já se previa o momento em que o Henrietta não pudesse mais se manter sobre as ondas. Ora, se fosse preciso fugir diante do temporal, surgiria o desconhecido com todas as suas consequências.

Contudo o vento não soprou tão forte quanto poderiam ter esperado. Não se tornou um destes tufões que passam a uma velocidade de noventa milhas por hora. Soprou suportavelmente, mas infelizmente soprou com obstinação do sudeste e não permitiu que se largasse o pano. E, contudo, como veremos, teria sido muito útil que tivesse vindo em auxílio do vapor.

Ora, naquele dia, o maquinista, tendo subido à coberta, encontrou Fogg e falou acaloradamente com ele.

— Tem certeza do que disse?, perguntou Fogg.

— Certeza absoluta, senhor, respondeu o maquinista. Não se esqueça de que, desde nossa partida, temos tido as fornalhas sempre acesas, e que se temos suficiente carvão para ir a pouco vapor de Nova York a Bordeaux, não temos o bastante para ir a todo o vapor de Nova York a Liverpool.

— Pensarei nisso, respondeu Fogg.

E agora que decisão iria tomar Phileas Fogg? Era difícil de imaginar! Entretanto pareceu que o fleumático gentleman tinha tomado uma, porque naquela mesma tarde mandou chamar o maquinista, e lhe disse:

— Atice o fogo e vá em frente até acabar completamente o combustível.

Instantes depois, a chaminé do Henrietta vomitava turbilhões de fumaça. O navio continuou assim a andar a todo vapor; mas, como tinha sido avisado, dois dias mais tarde, dia 18, o maquinista fez saber que o carvão acabaria naquele dia.

— Que não deixem o fogo baixar, respondeu Fogg. Pelo contrário. Abram as válvulas.

Naquele dia, por volta do meio dia, depois de ter tomado a altura do sol, e calculado a posição do navio, Phileas Fogg fez vir Passepartout, e deu-lhe a ordem de ir buscar o capitão Speedy. Era como se tivessem mandado o bom moço desacorrentar um tigre, e ele desceu ao tombadilho, se dizendo:

— Positivamente ficará raivoso!

Com efeito, alguns minutos mais tarde, em meio a gritos e pragas, uma bomba chegava ao tombadilho. Esta bomba, era o capitão Speedy. E era evidente que ela iria explodir.

— Onde estamos?

Tais foram as primeiras palavras que pronunciou no meio das sufocações de cólera, e se não ficasse apoplético, jamais ficaria.

— Onde estamos?

Repetiu, a face congestionada.

A setecentas e setenta milhas de Liverpool (300 léguas), respondeu Mr. Fogg com uma calma imperturbável.

— Pirata! exclamou Andrew Speedy.

— Mandei-o chamar, senhor...

— Corsário!

— ...senhor, retomou Phileas Fogg, para pedir que me venda o seu navio.

— Não! Por todos os diabos, não!

— É que vou ser obrigado a queimá-lo.

— Queimar meu navio!

— Sim, pelo menos seus altos, porque estamos sem combustível.

— Queimar meu navio!, gritou o capitão Speedy, que já nem podia mais sequer pronunciar as sílabas. Um navio que vale cinquenta mil dólares.

— Aqui tem sessenta mil!, respondeu Phileas Fogg, oferecendo ao capitão um maço de bank-notes.

Isso teve um efeito mágico sobre Andrew Speedy. Não se é americano sem que a visão de sessenta mil dólares lhe cause uma certa emoção. O capitão esqueceu em um instante sua cólera, seu encarceramento, todas as queixas contra seu passageiro. O navio tinha vinte anos. Aquilo poderia vir a ser uma mina de ouro!... A bomba não poderia mais explodir. Mr. Fogg arrancara seu estopim.

— E o casco de ferro ficará para mim, disse em um tom singularmente doce.

— O casco de ferro e a máquina, senhor. Fechado?

— Fechado.

E Andrew Speedy, pegando o maço de bank-notes, contou e embolsou.

Quando Andrew Speedy tinha embolsado o dinheiro:

— Senhor, disse Fogg, que tudo isso não lhe cause admiração. Saiba que perco vinte mil libras se não estiver em Londres dia 21 de dezembro, às oito e quarenta e cinco da noite. Ora, perdi o paquete de Nova York, e como se recusava a me levar a Liverpool...

— E fiz bem, pelos cinqüenta mil diabos do inferno, exclamou Andrew Speedy, pois com isso ganhei pelo menos quarenta mil dólares.

Depois, mais pausadamente:

— Sabe uma coisa, acrescentou, capitão?...

— Fogg.

— Capitão Fogg, pois bem, há um yankee no senhor.

E depois de ter feito ao seu passageiro o que ele julgava um cumprimento, ia embora, quando Phileas Fogg lhe disse:

— Agora este navio me pertence?

— Claro, da quilha até à ponta dos mastros; tudo o que for madeira, claro.

— Bem. Faça demolir as divisões internas e aquecer a caldeira com os destroços.

Imaginem o que foi preciso consumir de madeira seca para conservar o vapor com suficiente pressão. Naquele dia, o tombadilho, os camarotes de convés, as cabinas, os alojamentos, a falsa coberta, tudo foi abaixo.

No dia seguinte, queimou-se a mastreação, as peças de substituição, as antenas. Abateram-se os mastros, foram cortados a machadadas. Passepartout, rachando, cortando, serrando, fazia o trabalho de dez homens. Era um furor de demolição.

Ao meio em 21 de dezembro, Phileas Fogg desembarcou afinal no cais de Liverpool. Não estava a mais de seis horas de Londres.

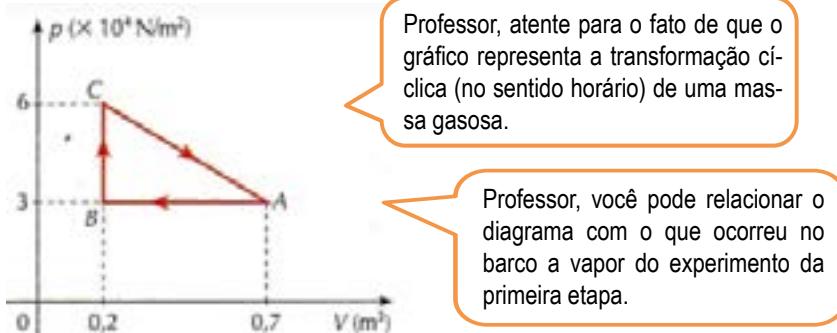
Fonte: adaptado da edição eBook Libris, 2006.

Após a leitura do trecho, iniciam-se as reflexões sobre a Segunda Lei da Termodinâmica. Para isso, parte-se da passagem da história em que o personagem faz o navio andar a todo vapor, através da queima de carvão em suas turbinas. Acredita-se que essa parte do texto apresenta subsídios gerais amplos, capazes de promover a diferenciação progressiva dos conceitos envolvidos. Assim, para iniciar essa diferenciação em relação à Segunda Lei da Termodinâmica, o professor pode desenvolver um diálogo com os estudantes no qual eles sejam indagados sobre o que acreditam ser ciclos ou transformações cíclicas, e se compreendem esses fenômenos como reversíveis ou não.

A partir das respostas dadas, é possível explicar que, desde as locomotivas a vapor até os motores à explosão dos veículos atuais, as máquinas térmicas projetadas e cons-

truídas ao longo da história operam em ciclos nos quais o calor é transformado em trabalho mecânico. Nesses ciclos, um gás parte de um estado inicial e, após uma sequência de estágios de transformação, atinge um estado final, em que as variáveis do estado inicial coincidem com as do estado final. Todas essas transformações podem ser representadas por diagramas que relacionam a pressão e o volume de um gás, como demonstrado na Figura 8.

Figura 8 – Transformação cíclica.



Fonte: GOOGLE. Imagens. Transformações cíclicas. Disponível em: <<https://bit.ly/2tTqWr5>>. Acesso em: 5 jul. 2018.

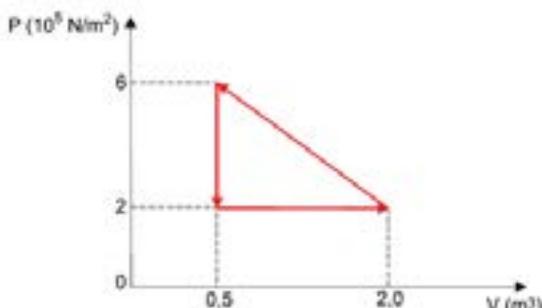
Com base no diagrama, o professor passa a orientar os estudantes para que observem no gráfico que a variação total de energia interna do gás é nula, pois ela está dada em função da variação de temperatura do gás, que, no caso, não se alterou. Portanto:

Em qualquer transformação cíclica, $\Delta T=0$ e, portanto, $\Delta U=0$.

Nas máquinas térmicas, como os barcos a vapor da história de Júlio Verne, há conservação de calor em trabalho mecânico. Um motor a vapor consiste em um dispositivo que transforma a energia interna do vapor em energia mecânica. Nos barcos a vapor, a instalação propulsora é dividida em duas partes: a caldeira e a turbina. Na turbina, um jato de vapor de água em alta pressão e temperatura é direcionado a uma hélice com lâminas de certa área; durante a passagem do vapor entre as lâminas da hélice, esta expande e esfria, fazendo girar a hélice colocada no eixo de saída da turbina, movimentando o barco. A caldeira alimenta o vapor da turbina. O trabalho é realizado pelo gás ($\tau > 0$), e não ocorre variação de energia interna, pois se trata de uma transformação em que o gás sai de um estado e a ele retorna. Para realizar esse trabalho, o gás necessita de energia (calor). Como o gás recebe calor, $Q > 0$.

Na continuidade da explicação sobre a transformação cíclica, mostra-se pertinente esclarecer aos alunos que é possível representar esse tipo de transformação em sentido anti-horário (Figura 9).

Figura 9 – Transformação cíclica.



Fonte: GOOGLE. Diagrama transformações cíclicas. Disponível em: <<https://bit.ly/2KO9wFN>>. Acesso em: 5 jul. 2018.

Professor, lembre-se que esta etapa tem por objetivo promover a diferenciação progressiva dos conceitos relacionados à transformação de energia.

Ao longo do debate, é necessário que o professor saliente que esse ciclo não é constituído das mesmas transformações que o anterior. Neste, o trabalho total realizado é resultante da soma dos trabalhos em cada uma das

etapas, concluindo que o trabalho total se dá sobre o gás e, portanto, é negativo ($\tau < 0$). O sistema cede calor ao meio, como ocorre, por exemplo, em freezers, aparelhos de ar-condicionado e geladeiras (Figura 10).

Figura 10 – Funcionamento de uma máquina frigorífica.



Fonte: GOOGLE. Imagens. Máquinas frigoríficas em funcionamento. Disponível em:
<https://goo.gl/639S3q>. Acesso em: 26 jun. 2018.

Professor, observe a Figura 8 e lembre aos estudantes que o calor se dá do sistema mais frio (interior da geladeira) para o mais quente (meio externo).

Conforme a Primeira Lei da Termodinâmica, $\Delta U = Q - \tau$.
 Uma vez que, nos ciclos, $\Delta U = 0$, tem-se:

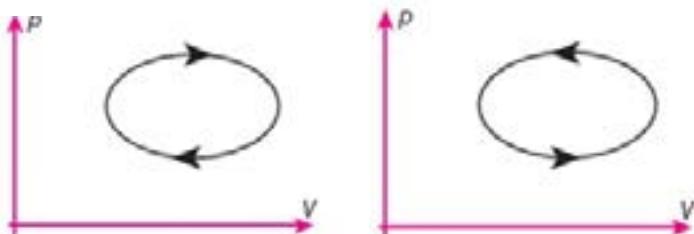
$$Q - \tau = 0 \Rightarrow Q = \tau$$

Para concluir as discussões sobre uma transformação cíclica, o professor pode acrescentar que esse tipo de transformação tem as seguintes características:

- Se durante o ciclo o gás realiza trabalho, este deve receber calor de uma fonte. A representação do ciclo no diagrama (Figura 9) é uma curva fechada orientada no sentido horário. Ocorre transformação de calor em trabalho mecânico. Exemplo: máquinas térmicas (máquinas a vapor e motores de combustão).
- Se durante o ciclo for realizado trabalho sobre o gás, este cede calor ao meio. A representação do ciclo no diagrama (Figura 9) é uma curva fechada orientada no sentido anti-horário. Ocorre transformação de trabalho mecânico em calor. Exemplo: refrigeradores e aparelhos de ar-condicionado.

Representação do diagrama $p \times V$ de transformações cíclicas.

Figura 11 - Transformação Cíclica.



Fonte: MARTINI et al., 2016, p. 122.

Para fortalecer a ligação entre os conceitos subsunções identificados na primeira parte da etapa e os conceitos da Segunda Lei da Termodinâmica, uma alternativa consiste em retornar ao questionamento do Quadro 11, procu-

rando indícios da aprendizagem significativa. Afinal, nesta etapa, espera-se que os estudantes estabeleçam algumas relações entre os conceitos estudados e aquilo que já traziam em sua estrutura cognitiva.

Neste ponto, o professor terá condições de comparar o que cada grupo de estudantes produziu, referente a esse questionamento, entre as reflexões do Quadro 9 e as do Quadro 11, a seguir:

Quadro 11 – Indagações para estabelecer relações entre conceitos.

Questão 1 - Observando a imagem (Figura 5), é impossível passar energia de um estado para outro sem haver perda associada?

Questão 2 - Podemos observar na imagem o funcionamento da locomotiva, a energia que está operando no sistema tem 100% de eficiência?

Questão 3 - O funcionamento da locomotiva é espontâneo?

A partir disso, cabe ao professor construir com os estudantes a concepção de que a Segunda Lei da Termodinâmica descreve aquilo que não pode ocorrer de forma espontânea. Trata-se, portanto, de uma lei limitante. Isto é, deve ficar claro que, enquanto a Primeira Lei da Termodinâmica é regida pelo princípio de conservação de energia e pode ser aplicada a processos reversíveis ou não, em qualquer um dos sentidos desses processos, a Segunda Lei determina as ocorrências, apontando os limites da natureza. Com essa diferenciação, o professor pode apresentar o enunciado da Segunda Lei, proposto por Rudolf Clausius (1822-1888), e promover, finalmente, a reconciliação integradora.

O calor não passa espontaneamente de um corpo de menor temperatura para um de maior temperatura.

Mediante esse enunciado, o professor pode promover uma nova discussão, elaborando com os estudantes a concepção de que o fluxo de calor entre dois corpos não ocorre de forma espontânea e, assim, apresentar o proposto por William Thomson:

É impossível a construção de uma máquina que, operando em um ciclo termodinâmico, converta integralmente toda a quantidade de calor recebido em trabalho.

Tal enunciado deve servir como base para a discussão de máquinas térmicas como a locomotiva a carvão presente na cena da história protagonizada por Fogg.

Ao professor, recomenda-se, ainda, orientar a discussão para que através dos enunciados os estudantes percebam que não é possível um dispositivo térmico ter um rendimento de 100%, ou seja, por menor que seja, sempre há uma quantidade de calor que não se transforma em trabalho efetivo.

Para concretizar a reconciliação integradora dos conceitos relacionados à Segunda Lei da Termodinâmica, solicita-se aos estudantes a resolução de algumas questões como as contidas no Quadro 12. Para isso, a instrução é que trabalhem em duplas e, após a resolução, socializem com toda a turma. Essa atividade de socialização também tem como objetivo perceber se os estudantes conseguem transportar os conceitos estudados para contextos diferentes dos que foram abordados ao longo da etapa.

Professor, chegando ao final desta etapa, os estudantes terão que transpor os conceitos presentes em sua estrutura cognitiva a novos contextos, demonstrando que apresentam indícios de aprendizagem significativa.

Quadro 12 – Transpor conceitos em diferentes contextos, através de questionário.

Questão 1 - Qual o princípio básico de funcionamento da locomotiva a vapor presente na figura abaixo?



Fonte: GOOGLE. Imagens. Locomotivas a vapor.
Disponível em: <<https://goo.gl/tDS1kS>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

Questão 2 - Observando a figura da questão 1, explique qual a condição necessária para converter água em vapor.

Questão 3 - Comente as proposições a seguir referentes à Segunda Lei da Termodinâmica.

- a) Máquina térmica é um sistema que realiza transformação cíclica: depois de sofrer uma série de transformações, ela retorna ao estado inicial.
- b) É impossível construir uma máquina térmica que transforme integralmente calor em trabalho.
- c) O calor é uma forma de energia que se transfere espontaneamente do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura.

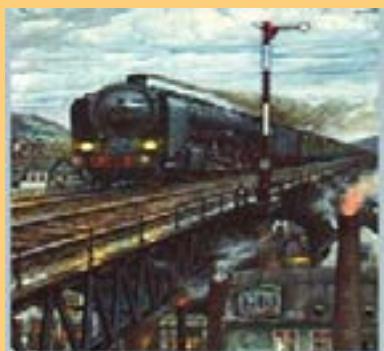
Questão 4 - A Segunda Lei da Termodinâmica, em um de seus enunciados, descreve que: “É impossível construir uma máquina térmica operando em ciclos, cujo único efeito seja retirar calor de uma fonte e convertê-lo integralmente em trabalho.” Explique com suas palavras o que compreendeu sobre esse enunciado.

Questão 5 - A Segunda Lei tem, em um de seus enunciados, proposto por Cláusius, o seguinte: "O calor não passa espontaneamente de um corpo frio para um corpo mais quente." No funcionamento de um refrigerador, observa-se a transferência de calor. Explique por que o funcionamento do refrigerador não contraria esse enunciado.



Fonte: GOOGLE. Imagens. Funcionamento do refrigerador. Disponível em: <<https://goo.gl/4JTBKi>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

Questão 6 - Uma locomotiva a vapor, citada no texto e visualizada na figura abaixo, transforma integralmente calor em trabalho?



Fonte: GOOGLE. Imagens. Locomotiva a vapor do filme A volta ao mundo em 80 dias. Disponível em: <<https://goo.gl/tmXE8C>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

Gabarito:

Questão 1

O funcionamento da locomotiva a vapor é propulsionado por um motor a vapor composto de três partes: a caldeira que produz o vapor; a máquina térmica que transforma a energia do vapor em trabalho mecânico; o vagão responsável por transportar o combustível (carvão) e a água para alimentar a máquina.

Questão 2

Fornecendo calor à água, variamos sua quantidade de energia e seu estado físico. A formação de vapor depende da intensidade de calor fornecido para a água.

Questão 3

Respostas comentadas:

Sim, a máquina térmica é um sistema mecânico que realiza transformações cíclicas e, após sofrer consecutivas transformações, retorna ao seu estado inicial.

Sim, é impossível construir uma máquina térmica que, operando em ciclos, converta integralmente o calor em trabalho, conforme cita um dos enunciados da Segunda Lei da Termodinâmica.

Sim, o calor é uma forma de energia que se transfere espontaneamente do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura.

Questão 4

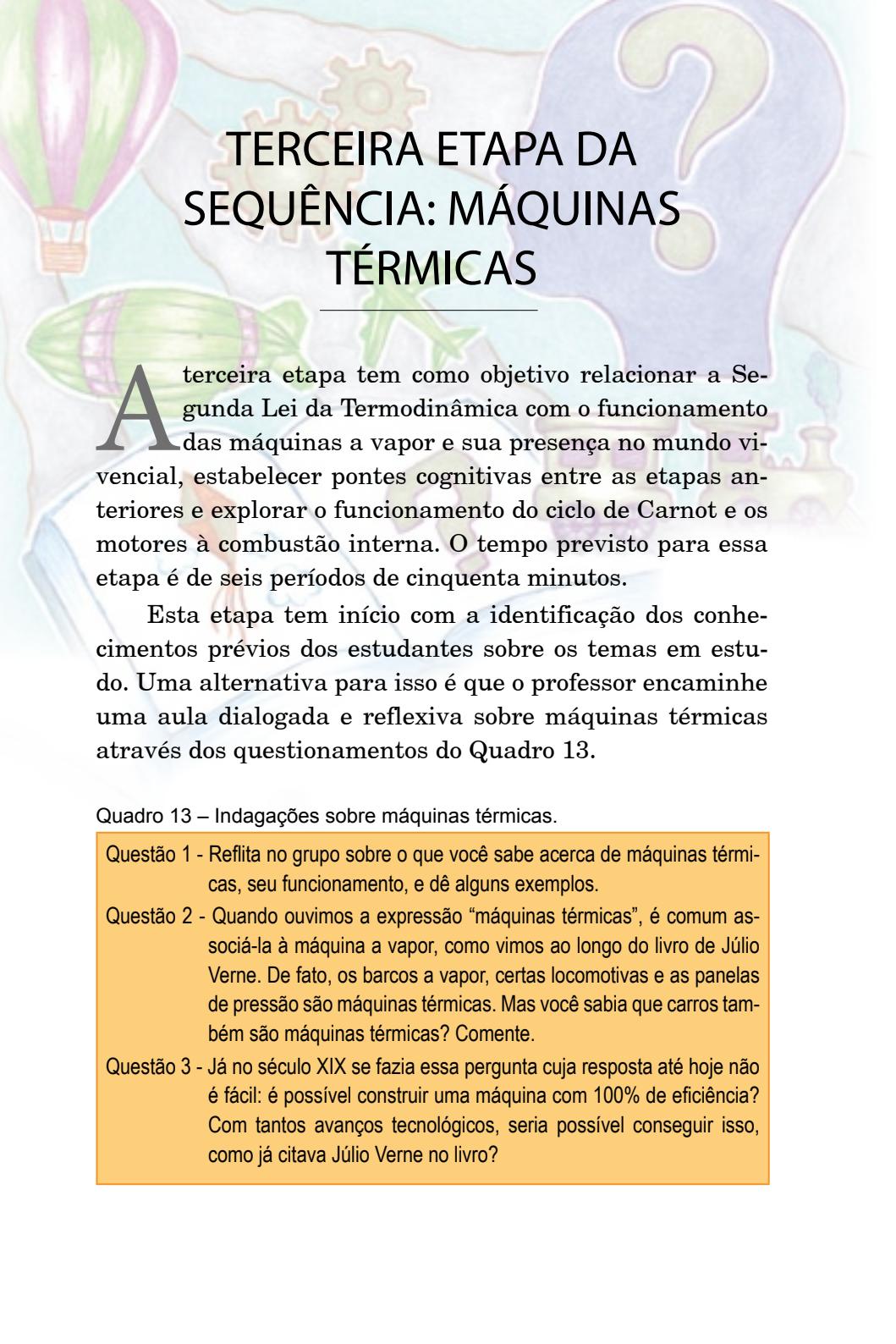
Resposta pessoal.

Questão 5

O funcionamento do refrigerador baseia-se em um processo de transferência de calor de uma fonte fria para a fonte quente. Não é espontâneo, pois necessita de uma quantidade de energia externa, que ocorre na forma de trabalho. A fonte fria seria o congelador, e a fonte quente, o condensador.

Questão 6

Não, pois isso contraria a Segunda Lei da Termodinâmica. “Não é possível um dispositivo térmico ter um rendimento de 100% de eficiência.”



TERCEIRA ETAPA DA SEQUÊNCIA: MÁQUINAS TÉRMICAS

Aterceira etapa tem como objetivo relacionar a Segunda Lei da Termodinâmica com o funcionamento das máquinas a vapor e sua presença no mundo vivencial, estabelecer pontes cognitivas entre as etapas anteriores e explorar o funcionamento do ciclo de Carnot e os motores à combustão interna. O tempo previsto para essa etapa é de seis períodos de cinquenta minutos.

Esta etapa tem início com a identificação dos conhecimentos prévios dos estudantes sobre os temas em estudo. Uma alternativa para isso é que o professor encaminhe uma aula dialogada e reflexiva sobre máquinas térmicas através dos questionamentos do Quadro 13.

Quadro 13 – Indagações sobre máquinas térmicas.

Questão 1 - Reflita no grupo sobre o que você sabe acerca de máquinas térmicas, seu funcionamento, e dê alguns exemplos.

Questão 2 - Quando ouvimos a expressão “máquinas térmicas”, é comum associá-la à máquina a vapor, como vimos ao longo do livro de Júlio Verne. De fato, os barcos a vapor, certas locomotivas e as panelas de pressão são máquinas térmicas. Mas você sabia que carros também são máquinas térmicas? Comente.

Questão 3 - Já no século XIX se fazia essa pergunta cuja resposta até hoje não é fácil: é possível construir uma máquina com 100% de eficiência? Com tantos avanços tecnológicos, seria possível conseguir isso, como já citava Júlio Verne no livro?

Após a reflexão e o diálogo nos grupos, o professor faz a mediação, incentivando os estudantes a exporem suas concepções a respeito das indagações do Quadro 13 para toda a turma. É importante que as respostas desse questionário sejam anotadas, para que mais tarde se torne possível estabelecer relações entre conceitos, pois se acredita que os conhecimentos prévios serão modificados e assimilados ao longo das atividades.

Buscando estabelecer relações entre os conceitos subsunçores identificados nas indagações anteriores e os conceitos relacionados com máquinas térmicas, apresenta-

Professor, sugere-se instigá-los a identificar alguns conceitos presentes no vídeo, como, por exemplo, o que gera o movimento da locomotiva.

ta-se como organizador prévio um vídeo,⁴ com a duração de 1min36s, que mostra uma máquina locomotiva em funcionamento.

A seguir, os estudantes devem discutir e refletir no grupo sobre algumas questões presentes no Quadro 14, a fim de organizar as ideias a respeito do tema. Após, será aberto um espaço para que todos os grupos exponham suas conclusões a respeito.

⁴ SANTANA, 2015.

Quadro 14 – A locomotiva a vapor.

Questão 1 - A maria-fumaça, locomotiva a vapor utilizada no livro como meio de transporte dos personagens, é uma máquina térmica. Considerando que ela queima lenha para seu funcionamento, você é capaz de reconhecer seus elementos constituintes?

- a) Qual é o fluido de trabalho?
- b) Qual é a fonte quente?
- c) Qual é a fonte fria?

Professor, é válido questionar aos estudantes se eles conseguem identificar esses elementos no vídeo.



Fonte: GOOGLE. Imagens. Locomotiva a vapor do filme A volta ao mundo em 80 dias. Disponível em: <<https://goo.gl/XbEbXB>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

Gabarito:

- a) O fluido de trabalho utilizado é o vapor d'água.
- b) A fonte quente é a fornalha responsável pela queima da lenha.
- c) A fonte fria é o próprio ar atmosférico.

Com o intuito de promover a diferenciação progressiva dos conceitos referentes a esta etapa, entrega-se aos estudantes, ainda em grupos, o texto “Da criação a evolução da máquina térmica e sua contribuição para o desenvolvimento da humanidade”, transcrito no Quadro 15.

Quadro 15 – Texto “Da criação à evolução da máquina térmica e sua contribuição para o desenvolvimento da humanidade”.

Da criação à evolução da máquina térmica e sua contribuição para o desenvolvimento da humanidade

A magnitude da utilização do fogo como instrumento para a transformação e evolução da sociedade acelerou o desenvolvimento da humanidade.

Um dos primeiros dispositivos que utilizavam o fogo eram as máquinas térmicas capazes de transformar a energia na forma de calor em trabalho mecânico. O primeiro aparelho que podemos considerar ser uma máquina térmica foi construído por Herão de Alexandria no século I d.C (Figura 1).

Figura 1 – Aparelho de Herão de Alexandria.



Fonte: GOOGLE. Imagens. Aparelho de Herão de Alexandria.
Disponível em: <<https://goo.gl/kEJTwS>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

Essa máquina funciona a partir da transformação de energia térmica em energia mecânica. No entanto, esse dispositivo não foi criado com o objetivo de obter grande quantidade de trabalho mecânico.

Um grande avanço no desenvolvimento tecnológico aconteceu com a máquina a vapor, dando início à Revolução Industrial, no final do século XIII. Uma das primeiras máquinas térmicas que visavam uma aplicação prática foi construída pelo inglês Thomas Newcomen. O objetivo dessa máquina era bombear água para retirá-la das minas de carvão. Neste caso o principal combustível era o carvão e a partir da sua queima, produzindo fogo, transformava a energia liberada em outra, com capacidade de realizar trabalho, ou seja, impulsar máquinas e equipamentos a fazerem tarefas que antes dependiam do trabalho braçal. Mas logo elas foram aplicadas nas indústrias, nas locomotivas a vapor e nos barcos. Em poucos anos, essas máquinas transformaram o mundo e a humanidade. O romance de ficção científica de Júlio Verne se insere no contexto da Revolução industrial, que transformou as condições econômicas e sociais do século XIX. O trabalho do homem se tornou mais fácil e mais rápido graças às máquinas (motores, cabos de transmissão, prensas), as estradas, os canais e as ferrovias facilitavam a tarefa de Phileas Fogg em dar a volta ao mundo.

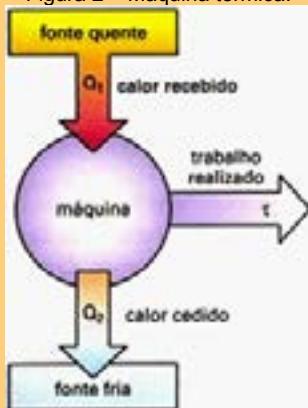
A navegação marítima era dominada pelos ingleses. Os vapores, com a invenção dos cascos de ferro, com a potência das caldeiras e com a adoção da hélice, os navios a vapor superaram os veleiros em virtude de sua maior velocidade, o que facilitou a viagem de Phileas Fogg.

Desde aquele tempo tinha-se a preocupação em desenvolver uma máquina térmica mais eficiente para aproveitar a energia, ou seja, que operasse com eficiência máxima. De fato, já no século XIX se perguntava: é possível construir uma máquina com 100% de eficiência? Seria possível conseguir isso nos dias atuais com tantos avanços tecnológicos?

A resposta desta indagação nos mostra que não depende somente de limitações tecnológicas, mas sim de uma limitação da natureza. Os estudos referentes às máquinas térmicas levaram ao desenvolvimento do ramo da Física conhecido como Termodinâmica e suas leis.

Para a transformação contínua de calor em trabalho mecânico, as máquinas térmicas operam em ciclos. Pode-se definir, por exemplo, que se aplica ao esquema representativo (Figura 2) a locomotiva movida a carvão em que a substância de trabalho é a água. A água na máquina realiza um ciclo no qual primeiramente evapora numa caldeira e, então, expande-se de encontro a um pistão. Depois que o vapor é condensado com água de refrigeração, retorna à caldeira, e o processo se repete, no qual a caldeira representa a fonte quente, o ar atmosférico a fonte fria e o movimento da locomotiva o trabalho realizado sobre o sistema, que transforma parte do calor fornecido pela caldeira em trabalho.

Figura 2 – Máquina térmica.



Fonte: GOOGLE. Imagens. Máquinas térmicas.

Disponível em: <<https://goo.gl/woY8NY>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

Sendo impossível construir uma máquina térmica que, ao operar em ciclos, transforme integralmente em trabalho todo o calor que recebe, pode-se associar a cada máquina térmica uma grandeza para medir seu grau de eficiência. Essa grandeza denomina-se rendimento (η), indicado pela expressão:

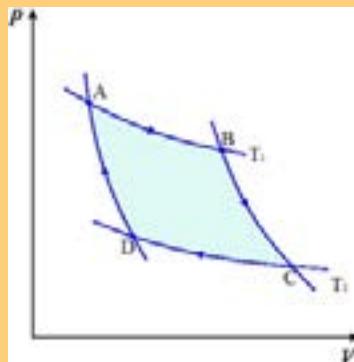
$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Isso indica que o rendimento de uma máquina térmica é sempre menor que 1, ou seja, é sempre menor que 100%. Mas qual seria o rendimento máximo de uma máquina térmica? Como seria a sequência de transformações para que esse rendimento pudesse ser atingido? Essas questões nos levam ao ciclo de Carnot.

Engenheiro e matemático francês, Nicolas Léonard Sadi Carnot, ao estudar o desenvolvimento de máquinas térmicas, chegou à conclusão que seria impossível construir uma máquina térmica com 100% de eficiência, levando à Segunda Lei da Termodinâmica.

O rendimento no ciclo de Carnot é função exclusiva das temperaturas absolutas das fontes quente e fria. É constituído por duas transformações isotérmicas (AB e CD), alternadas com duas transformações adiabáticas (BC e DA) (Figura 3):

Figura 3 – Diagrama Ciclo de Carnot.



Fonte: FUNDAMENTOS da física. 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2Pj90if>>. Acesso em: 07 out. 2018.

Carnot provou que o rendimento dessa máquina corresponde ao máximo rendimento que pode ser obtido por uma máquina térmica operando entre duas temperaturas (T_1 quente e T_2 fria).

Durante a expansão isotérmica AB, o gás recebe a quantidade de calor Q_1 , da fonte quente, cuja temperatura é T_1 . Durante a compressão isotérmica CD, o gás rejeita a quantidade de calor Q_2 para a fonte fria, cuja temperatura é T_2 .

Assim, o rendimento da máquina é dado por:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Professor, aqui, sugere-se lembrar que o rendimento de uma locomotiva a vapor é de aproximadamente 8%.

Conclui-se que:

O rendimento de uma máquina de Carnot não depende do fluido de trabalho; depende apenas das temperaturas das fontes quente e fria.

Os processos observados na Figura 3 podem se relacionar ao funcionamento da locomotiva presente em muitas partes do livro de Júlio Verne, conforme segue:

- expansão isotérmica de A até B, que ocorre quando o gás retira calor da fonte quente;
- expansão adiabática de B até C, sendo que o gás não troca calor;
- compressão isotérmica de C até D, pois o gás rejeita calor para a fonte fria;
- compressão adiabática de D para A, pois não ocorre troca de calor.

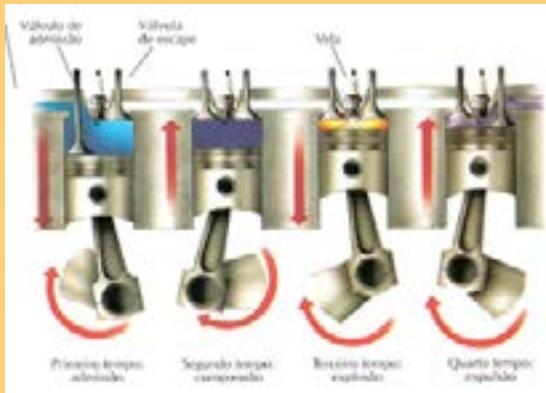
Com o surgimento da máquina a vapor, usando o fogo como fonte de energia, ocorreu o grande processo de industrialização que nos levou ao atual período tecnológico, como previa Júlio Verne em seu livro. Durante a viagem, Phileas Fog e seu mordomo Passepartout empregaram vários meios de transporte para a época, vapores, railways, carruagens, botes, embarcações de carga, trenós, elefante. Os progressos extraordinários eram citados ao longo da obra. Com o aperfeiçoamento dessas máquinas térmicas, surge uma evolução nos meios de transporte e nos equipamentos das indústrias. Sabemos que o motor do automóvel foi um desses avanços. Ele é composto de vários ciclos e, no interior de cada um, desloca-se um êmbolo móvel chamado pistão. A maioria dos carros brasileiros utiliza motores de quatro tempos.

No motor do automóvel a mistura ar-combustível entra no cilindro pela válvula de admissão. Pressionada pelo movimento do pistão e comprimida em um pequeno espaço, a mistura explode devido a uma fáscia produzida pela vela. Com o aumento de pressão provocado pela expansão dos gases, o pistão é violentamente empurrado, ou seja, o gás resultante da combustão da mistura ar-combustível aplica uma força sobre o pistão, deslocando-o e, portanto, realizando trabalho. Como os pistões estão ligados a um eixo de manivelas (o virabrequim), o trabalho é convertido em movimento de rotação das rodas por meio do eixo de tração do automóvel. Assim a energia térmica é transformada em energia mecânica, o que define o carro como uma máquina térmica.

Os motores de combustão interna podem operar em ciclos de quatro tempos ou em ciclos de dois tempos. A maioria dos carros, caminhões e ônibus é de combustão interna, que completam um ciclo em quatro tempos: admissão, compressão, combustão e expansão, e descarga. Completando um ciclo a cada volta completa do virabrequim, conforme se observa na Figura 4.

Professor, aproveite para indagar os estudantes a respeito dos motores de dois tempos, se utilizam algum em seu dia a dia, pois se sabe que motores de barcos, jet-skis, motosserras, roçadeiras e alguns tipos de motocicletas mais antigas são de dois tempos.

Figura 4 – Funcionamento do motor de quatro tempos.



Fonte: GOOGLE. Imagens. Motor 4 tempos.
Disponível em: <<https://goo.gl/1QWhXF>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

Prossegue-se lembrando que a Primeira Lei da Termodinâmica estabelece que a energia não pode ser criada nem destruída, trata-se da quantidade de energia. Na Segunda Lei da Termodinâmica, qualifica-se isso, acrescentando que a forma que a energia assume nas diversas transformações acaba se degradando em formas menos úteis de energia.

Professor, comente com os estudantes que a entropia é um conceito essencial ao estudo das máquinas térmicas.

Refere-se à qualidade da energia, considerando que essa energia acaba se degenerando em dissipação, pois é através da Segunda Lei que chegamos ao conceito de entropia. Diz-se que a existência da ordem / desordem está relacionada com uma propriedade essencial da natureza conhecida como entropia. A entropia relaciona-se à característica intrínseca de todo e qualquer sistema, aumenta à medida que a desordem dos fenômenos aumenta. Pode-se converter energia ordenada em energia térmica, mas o contrário é mais difícil. Por exemplo, se queimarmos madeira (lenha), como combustível de uma locomotiva a vapor ou num barco a vapor presentes no livro de Verne, convertemos a energia química de ligação das moléculas em energia térmica das moléculas, mas recriar a madeira a partir da energia térmica das moléculas é impossível, embora esteja em concordância com a lei de conservação da energia. A entropia geralmente associa-se ao “grau de desordem” de um sistema termodinâmico, e o trabalho pode ser totalmente convertido em calor, e consequentemente em energia térmica, mas a energia térmica não pode ser completamente convertida em trabalho, pois a Segunda Lei da Termodinâmica diz que a maioria dos processos na natureza é irreversível, o combustível queimado na fornalha da locomotiva, por exemplo, não pode ser recriado, máquinas isoladas não podem permanecer em movimento perpétuo, e assim por diante.

O domínio do fogo pelo homem foi primordial para a sobrevivência humana. Utilizando o fogo ao longo dos anos o homem produziu muitos instrumentos que foram sendo aperfeiçoados e instigaram o desenvolvimento da sociedade como um todo na indústria e nos meios de transporte, nos levando ao atual estágio tecnológico.

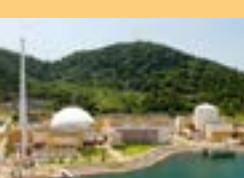
A Termodinâmica presente nesse contexto estabelece-se como um dos mais significativos ramos do conhecimento da Física, pois se aplica nas máquinas a vapor, usinas termoelétricas e nucleares, máquinas frigoríficas, e até aos automóveis mais modernos utilizados pelo homem. Sem dúvida o estudo da Termodinâmica despertou a curiosidade humana, contribuindo como uma mola propulsora ao progresso da sociedade contemporânea.

Fonte: OLIVEIRA, 2010.

Concluída a leitura do texto, os estudantes são convidados a destacar os conceitos referentes a máquinas térmicas, ciclo de Carnot, funcionamento de motores à combustão interna e entropia, a fim de estabelecer relações entre os conceitos subsunçores e auxiliar no estabelecimento da reconciliação integradora entre os tópicos estudados até o momento. Para isso, pode-se estabelecer um diálogo entre os estudantes, tendo como eixo norteador as questões contidas no Quadro 16.⁵

Quadro 16 – Questionamentos para auxiliar na reconciliação integradora.

Questão 1 - Com relação às máquinas térmicas e à Segunda Lei da Termodinâmica, analise as proposições a seguir. E comente cada uma delas estabelecendo relações com as imagens abaixo:



Fonte: GOOGLE. Imagens .

- I. Máquinas térmicas são dispositivos usados para converter energia mecânica em energia térmica com consequente realização de trabalho.
- II. O enunciado da Segunda Lei da Termodinâmica, proposto por Clausius, afirma que o calor não passa espontaneamente de um corpo frio para um corpo mais quente, a não ser forçado por um agente externo como é o caso do refrigerador.
- III. É possível construir uma máquina térmica que, operando em transformações cíclicas, tenha como único efeito transformar completamente em trabalho a energia térmica de uma fonte quente.

⁵ Disponíveis em: <<https://goo.gl/s9wK4i>>, <<https://bit.ly/2zeQJ1V>>, <<https://bit.ly/2MRibot>>, <<https://bit.ly/2KAhYcA>>, <<https://bit.ly/2u9TDiR>> e <<https://bit.ly/2tTECCr>>. Acesso em: 5 jul. 2018.

- IV. Nenhuma máquina térmica operando entre duas temperaturas fixadas pode ter rendimento maior que a máquina ideal de Carnot, operando entre essas mesmas temperaturas.
- V. Os motores de combustão externa são aqueles onde a queima de combustível ocorre fora do motor. O motor de uma locomotiva a vapor é um exemplo típico. Nesse caso, a queima do combustível ocorre externamente para o aquecimento da caldeira, que produz o vapor que movimenta os pistões do motor.

Questão 2 - Descreva e ilustre o funcionamento de um motor de quatro tempos.

Questão 3 - Você considera que os estudos sobre Termodinâmica contribuíram de alguma forma com o desenvolvimento da Revolução Industrial? Explique.

Questão 4 - É possível que uma locomotiva a vapor como a da figura abaixo consiga transformar em trabalho toda a energia que recebe? Explique em que você se baseou para dar sua resposta.



Fonte: GOOGLE. Imagens. Locomotivas a vapor.

Disponível em: <<https://goo.gl/bJP8DL>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

Gabarito:

Questão 1

Respostas comentadas:

- I. Incorreto, pois as máquinas térmicas são dispositivos usados para converter energia térmica em realização de trabalho.
- II. Correto, pois ocorre de forma espontânea na natureza, sempre de quem tem maior temperatura para quem tem menor temperatura. No caso da energia, o mais quente possui mais energia, logo o processo natural seria o calor passar para o corpo mais frio, caso contrário é preciso a realização de trabalho, exemplo em todas as imagens.
- III. Incorreto, pois isso vai contra o enunciado da Segunda Lei da Termodinâmica.
- IV. Correto, a máquina ideal de Carnot é uma máquina que tem um funcionamento apenas teórico. Nenhuma máquina possui um rendimento maior que ela.
- V. Correto, pois os motores de combustão externa são aqueles onde a queima de combustível ocorre fora do motor.

Questão 2

A resposta pode ser pessoal, seguindo a ordem de funcionamento do motor, com ilustrações.

- 1) Admissão. Nessa etapa, a válvula de admissão permite a entrada, na câmara de combustão, de uma mistura de ar e combustível enquanto o pistão se move de forma a aumentar o espaço no interior da câmara.
- 2) Compressão. Nesta, o pistão se move de forma a comprimir a mistura, fazendo seu volume diminuir. Aqui ocorre uma compressão adiabática, e em seguida a máquina térmica recebe calor numa transformação isocórica.
- 3) A terceira etapa denomina-se explosão. No término da compressão, um dispositivo elétrico gera uma centelha que ocasiona a explosão da mistura, ocasionando sua expansão.
- 4) Após, ocorre o quarto tempo, quando a válvula de saída abre e permite a exaustão do gás queimado na explosão. A expansão adiabática leva a máquina ao próximo estado, em que ela perde calor e retorna ao seu estado inicial, onde o ciclo se reinicia.

Questão 3

Resposta pessoal.

Questão 4

Conforme a Segunda Lei da Termodinâmica, não é possível uma máquina térmica operando em ciclos ter rendimento de 100% de eficiência.

Seguindo as atividades desta etapa, os estudantes devem apresentar suas ideias nos grupos e, após, para toda a turma. Esse momento se destina à busca de indícios de aprendizagem significativa na sua fala e em suas respostas. Afinal, neste ponto da sequência, acredita-se que já terão assimilado e estabelecido relações entre as ideias âncoras e os conceitos, de forma clara e precisa, reconciliando-os e integrando-os, sendo capazes de diferenciá-los e transcrevê-los em um novo contexto, com respeito à hierarquia conceitual. Enfim, nesta fase, é provável que demonstrem domínio dos conceitos estudados.

Prosseguindo esta etapa, sugere-se assistir ao vídeo “Princípio do motor a vapor”,⁶ com duração de 36 segundos. Após, por meio das indagações presentes no Quadro 17, o professor terá condições de mediar uma discussão com os estudantes, identificando a aquisição e o uso dos conceitos apresentados no texto e vinculados ao vídeo, de modo que significados possam ser constuídos e relações com o novo conhecimento possam ser estabelecidas.

Quadro 17 – Indagações referentes ao princípio do motor a vapor.

Questão 1 - Descreva o princípio de funcionamento do motor a vapor que você visualizou ao assistir o vídeo.

Questão 2 - Cite as partes que constituem o motor a vapor, responsável pelo funcionamento de uma locomotiva, observado no vídeo.

Questão 3 - Desenhe o que observou no vídeo, comentando as partes do desenho.

Considerando o vídeo que demonstra o princípio de funcionamento de um motor a vapor e a relação com o texto que descreve o aperfeiçoamento das máquinas térmicas,

⁶ TOR, 2013.

apresenta-se aos estudantes outro vídeo de animação, com duração de 5min26s, que demonstra o funcionamento de um motor de combustão interna de quatro tempos.⁷ O objetivo dessa atividade é proporcionar ao estudante situações significativas sobre os conceitos de Termodinâmica, possibilitando que essas informações se relacionem com o conhecimento que ele já possui, de forma a ligar e assimilar conhecimentos específicos encontrados no texto com conceitos mais gerais.

Para isso, propõe-se que, em cada grupo, os estudantes formulem questões sobre o vídeo e as repassem para o próximo grupo responder, até que todos tenham questões para trabalhar e socializar com os demais. Essas questões podem ser resolvidas por meio da elaboração de mapas ou desenhos.

Finalizando esta etapa, realiza-se com os estudantes uma atividade prática para fortalecer a interação dos conceitos subsunçores com os conteúdos relacionados à Primeira Lei, à Segunda Lei e ao funcionamento das máquinas térmicas. Para tanto, um engenheiro mecânico participa da aula para conversar com a turma sobre o funcionamento dos motores e as partes que os compõem.

Nesta atividade, os estudantes são levados a refletir sobre os conhecimentos adquiridos em sala de aula ao longo das etapas. Diante disso, o objetivo consiste em diferenciar e reconciliar conceitos na estrutura cognitiva do estudante. Nesse sentido, eles devem registrar, em grupos, questiona-

Professor, instigue os estudantes a desafiarem seus colegas na formulação das respostas, através de desenhos, mapas, textos...

⁷ COMO FUNCIONA O MOTOR 4 TEMPOS?. Disponível em: <<https://goo.gl/7NR3n3>>. Acesso em: 20 abr. 2018.

mentos e dúvidas sobre motores, pois, ao final, o engenheiro irá proporcionar um espaço para debate.

Professor, peça aos estudantes para que, em grupos, elaborem questões ou registrem dúvidas surgidas ao longo da explanação do engenheiro, pois ao final haverá um espaço para debate.

Como forma de evidenciar e identificar indícios de aprendizagem significativa ao longo desta etapa e das anteriores, solicita-se que, individualmente, os estudantes elaborem um texto contemplando e relacionando os conceitos termodinâmicos com a obra de Júlio Verne e os avanços tecnológicos dos meios de transporte e das máquinas térmicas ao longo do tempo e do desenvolvimento da sociedade contemporânea. A intenção é que o professor possa comparar os textos e questionamentos produzidos ao longo de toda a sequência didática.

REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, J. Psicologia educacional. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BIBLIOTECA JÚLIO VERNE. Disponível em: <<https://goo.gl/FFz6x6>>. Acesso em: 30 maio 2018.

COMO FUNCIONA O MOTOR 4 TEMPOS? Animação. 15 dez. 2017. Disponível em: <<https://goo.gl/7NR3n3>>. Acesso em: 20 abr. 2018.

ENERGIA interna (U ou E). Disponível em: <<https://bit.ly/2QZM1tT>>. Acesso em: 7 out. 2018.

FUNDAMENTOS da física. 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2Pj90if>>. Acesso em: 07 out. 2018.

GOOGLE. Imagens. A volta ao mundo nos dias atuais. Disponível em: <<https://goo.gl/ohWpcq>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

_____. Aparelho de Herão de Alexandria. Disponível em: <<https://goo.gl/kEJTwS>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

_____. Barco. Disponível em: <<https://bit.ly/2zeQJ1V>>. Acesso em: 5 jul. 2018.

_____. Caminhão. Disponível em: <<https://bit.ly/2MRibot>>. Acesso em: 5 jul. 2018

_____. Diagrama transformações cíclicas. Disponível em: <<https://bit.ly/2KO9wFN>>. Acesso em: 5 jul. 2018.

_____. Funcionamento do refrigerador. Disponível em: <<https://goo.gl/4JTBKi>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

_____. Geladeira. Disponível em: <<https://bit.ly/2KAhYcA>>. Acesso em: 5 jul. 2018.

_____. Livro A volta ao mundo em 80 dias. Disponível em: <<https://goo.gl/75ScCZ>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

_____. _____. Disponível em: <<https://goo.gl/Yh9GC2>>. Acesso em: 22 jun. 2018.

_____. _____. Disponível em: <<https://goo.gl/L6h5uo>>. Acesso em: 22 jun. 2018.

_____. Locomotiva a vapor do filme A volta ao mundo em 80 dias. Disponível em: <<https://goo.gl/tmXE8C>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

_____. _____. Disponível em: <<https://goo.gl/XbEbXB>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

_____. Locomotivas a vapor. Disponível em: <<https://goo.gl/s9wK4i>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

_____. _____. Disponível em: <<https://bit.ly/2MStQU5>>. Acesso em: 5 jul. 2018

_____. _____. Disponível em: <<https://goo.gl/tDS1kS>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

_____. _____. Disponível em: <<https://goo.gl/bJPsDL>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

_____. Máquinas frigoríficas em funcionamento. Disponível em: <<https://goo.gl/639S3q>>. Acesso em: 26 jun. 2018.

_____. Máquinas térmicas. Disponível em: <<https://goo.gl/woY8NY>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

_____. Motor 4 tempos. Disponível em: <<https://goo.gl/1QWhXF>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

_____. Navio a vapor. Disponível em: <<https://bit.ly/2ufcmJZ>>. Acesso em: 5 jul. 2018.

_____. Transformações cíclicas. Disponível em <<https://bit.ly/2tTqWr5>>. Acesso em: 5 jul. 2018.

_____. Trator. Disponível em: <<https://bit.ly/2u9TDiR>>. Acesso em: 5 jul. 2018.

_____. Trens a vapor. Disponível em: <<https://goo.gl/s9wK4i>>. Acesso em: 5 jul. 2018.

_____. Usina nuclear. Disponível em: <<https://bit.ly/2tTECCr>>. Acesso em: 5 jul. 2018.

_____. Volta ao mundo em 80 dias – cenas do filme. Disponível em: <<https://goo.gl/7BySY2>>. Acesso em: 19 maio 2018.

JESUS, C. B. de. Mapa conceitual como ferramenta para o ensino das leis da termodinâmica. 2015. Dissertação (Mestrado Profissional de Ensino de Física) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2015.

LIMA, J. Sequência didática para o ensino da termodinâmica. 2016. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.

MARTINI, G. et al. Conexões com a Física. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2016.

MAZARO, S. B.; DARROZ, L. M. Atividades experimentais: um caminho para o ensino de Termodinâmica no Ensino Médio. Caderno de Física da UEFS, v. 15, n. 2, p. 2201.1-2201.11, 2017. Disponível em: <<http://dfis.uefs.br/caderno/vol15n2/s2Artigo01SimoneDarroz-Atividades-Experimentais.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2108.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa, organizadores prévios, mapas conceituais, diagramas V e unidades de ensino potencialmente significativas. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Física, 2012.

OLIVEIRA, A. A descoberta que mudou a humanidade. Ciência Hoje, 16 jul. 2010. Disponível em: <<http://cienciahoje.org.br/coluna/a-descoberta-que-mudou-a-humanidade/>>. Acesso em: 20 abr. 2108.

PIMENTEL, B. Oitenta dias para rodar o mundo. Ciência Hoje das Crianças, 24 abr. 2013. Disponível em: <<http://chc.org.br/oitenta-dias-para-rodar-o-mundo>>. Acesso em: 11 mar. 2018.

SANTANA, Ilair. Maria-fumaça. 15 set. 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/ZU7iqd>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

SIERRA, Tiago. Como funciona uma locomotiva (How A Steam Locomotive Works). 25 out. 2013. Disponível em: <<https://goo.gl/i6BZzZ>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

TEIXEIRA, M. M. Ciclo de Carnot. Mundo Educação: Física – Termologia. Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/ciclo-carnot.htm>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

TOR, Roberval. Princípio motor a vapor. 11 set. 2013. Disponível em: <<https://goo.gl/MdmXnQ>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

TORRES, A. M. C. et al. Física: Ciência e Tecnologia. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2013.

VERNE, J. A volta ao mundo em oitenta dias: texto condensado. Adaptação de Margaret Fiorini; ilustração Suzy Braz Reijado. São Paulo: Riedel, 2001 (Coleção “Júlio Verne”).

_____. A volta ao mundo em oitenta dias. Adaptação e tradução de Teotonio Simões. [s.l.]: eBook Libris, 2006. Disponível em: <<https://bit.ly/2K-DteFe>>. Acesso em: 5 jul. 2018.

_____. A volta ao mundo em oitenta dias. Adaptação e tradução de Walcyr Carrasco. São Paulo: Moderna, 2012.

_____. A volta ao mundo em oitenta dias. Adaptação de Cristina Klein; ilustrações de Belli Studio. Blumenau, SC: Todolivro, 2012 (Coleção “Júlio Verne”).

VOLTA AO MUNDO EM 80 DIAS (AROUND THE WORLD IN 80 DAYS). Trailer. Diretor Frank Coraci. Irlanda: Europa Filmes, 2004. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=ZZo4TK9RWVo>>. Acesso em: 14 abr. 2018.

_____. Filme completo. Diretor Frank Coraci. Irlanda: Europa Filmes, 2004. Disponível em: <<https://goo.gl/ZTQCd2>>. Acesso em: 28 maio 2018.

SOBRE OS AUTORES

Simone Bonora Mazaro – Licenciada em Matemática pela Universidade de Passo Fundo (UPF). Especialista em Gestão e Organização da Escola pela Universidade Norte do Paraná e mestrandra do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da UPF.

Luiz Marcelo Darroz – Licenciado em Matemática pela Universidade de Passo Fundo-UPF e em Física pela Universidade Federal de Santa Maria. Especialista em Física pela Universidade de Passo Fundo, onde é docente do curso de Física – Licenciatura e do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática. Mestre em Ensino de Física e doutor em Educação em Ciências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.