



A Termodinâmica nos Veículos Automotores: o Ensino de Física Voltado para a Busca de Soluções Sustentáveis

The Thermodynamics in Automotive Vehicles: the teaching of physics devoted to the search for sustainable solutions

FRANCISCA VÂNIA*¹, GIOVANNI RIBEIRO^{†1}, KITÉRIA KAROLINE^{‡1},
WELLINGTON SAMPAIO^{§1}, MARCELLO FERREIRA^{¶1},
OLAVO LEOPOLDINO DA SILVA FILHO^{||1}

¹Universidade de Brasília UnB

DOI:<https://doi.org/10.26512/rpf.v3i1.23212>

Resumo

Orientados pelas pesquisas de Paulo Freire e ECTS - Estudos em Ciência-Tecnologia-Sociedade, este estudo tem como objetivo sugerir estratégias alternativas para o ensino de Termodinâmica no Ensino Médio, visto a crescente dificuldade dos professores em traçar novas metodologias que atendam às inovações tecnológicas tão inerentes ao cotidiano dos alunos, assim como propiciar uma aprendizagem crítica, coerente com o saber científico. Por meio de uma sequência didática, espera-se que o professor tenha métodos suficientes para otimizar a sua prática e motivar seus alunos em busca de uma alfabetização científica de qualidade. A sequência didática proposta proporcionou ao professor maior flexibilidade em suas ações durante o processo de ensino/aprendizagem, assim como foi capaz de evidenciar ao aluno a importância do saber científico para a compreensão da realidade.

Palavras-chave: Termodinâmica. ECTS. Sequência didática. Ensino de Física.

*vaniafpr@gmail.com

†ribeiro.giovanni@gmail.com

‡kiterialves@gmail.com

§wellingtonfisica@gmail.com

¶marcellof@unb.br

||olavolsf@unb.br

Abstract

Influenced by the research of Paulo Freire and STS Science, Technology and Society, this study aims to suggest alternative strategies to teaching Thermodynamics in High School, given the increasing difficulty of teachers in designing new methodologies that meet the technological innovations so inherent in the students life, as well as to provide critical learning consistent with scientific knowledge. Through Teaching Units, it is hoped that the teacher will have enough methods to optimize his practice and motivate his students in search of a good scientific literacy. The Teaching Units gave the teacher greater flexibility in his actions during the teaching/learning process, as well as it was able to show the student the importance of scientific knowledge to understand the reality.

Keywords: Thermodynamics. STS. Teaching Units. Physics Teaching.

I. INTRODUÇÃO

Diante das diversas mudanças que ocorrem presentemente na sociedade, resultantes e afetadas pelo desenvolvimento científico e tecnológico, faz-se necessária uma abordagem, no âmbito do ensino de física, que contextualize e relacione: Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS).

Uma das linhas de pesquisa em Ensino de Ciências que ganhou espaço entre o final da década de 1960 e início da década de 1970 foram os ECTS (Estudos em Ciência, Tecnologia e Sociedade). Esse campo de pesquisa surgiu como uma resposta para confrontar o conformismo social. Segundo Carson (2010), emerge como uma revolução social frente aos agravos da produção científico-tecnológica, em que se pode destacar o uso das tecnologias na guerra e no pós-guerra; as indústrias químicas com seus remotos laboratórios e seus produtos nocivos à saúde, como, por exemplo, o dicloro-difenil-tricloroetano (DDT), e a energia nuclear.

Até que ponto o desenvolvimento da Ciência pode chegar? Como tais produções podem afetar a vida humana e a natureza? Pode-se confrontar os benefícios e as implicações dos exemplos citados acima? Como o DDT foi capaz de vencer as pragas de insetos na agricultura e as doenças transmitidas por insetos, contudo contribuindo para a poluição da atmosfera, dos oceanos e da fauna selvagem? De outro lado, a bomba atômica utilizada pelos Estados Unidos para destruir seus oponentes na II Guerra Mundial, acarretou milhares de mortes e lesões genéticas que perduram até hoje.

Frente aos avanços tecnológicos e às incertezas que estes trazem, é preciso agir com responsabilidade e se posicionar criticamente sobre a segurança da humanidade. A partir deste contexto, é fundamental formar pessoas conscientes e críticas, capazes de interferir e questionar o que ocorre em sua realidade.

De acordo com Freire (1967), somos seres inacabados e, por este motivo, sofreremos influências de fatores tais como: sociais, culturais, históricos, políticos e econômicos. Portanto,

é necessário que o professor utilize novas metodologias em sala de aula que possam promover um saber crítico acerca de sua realidade social, conferindo aos alunos competências e habilidades para identificar, analisar e intervir em situações-problema.

Pensando nessa perspectiva, foi desenvolvida uma Sequência Didática¹ (SD) capaz de contribuir para a formação de um sujeito crítico e participativo e, para tal, foi selecionado um conteúdo facilmente integrado ao ECTS.

A utilização do automóvel em nosso cotidiano é, por vezes, indispensável. Porém, quais consequências a utilização desta ferramenta pode trazer ao meio ambiente? Qual o melhor combustível a ser utilizado? O que a história nos revela frente ao desenvolvimento tecnológico e à preocupação com a sustentabilidade? É possível criar uma máquina térmica que transforme, integralmente, calor em trabalho mecânico? Espera-se que a aprendizagem decorrente das aulas de Física conduza o aluno a buscar novas intervenções para os problemas citados anteriormente.

Ao longo da prática docente é perceptível a dificuldade dos alunos em aliar o conhecimento científico aos fenômenos observados por eles em seu cotidiano; por este motivo, buscou-se um tema gerador inserido em sua realidade: **Veículos automotores: solução para a sociedade contemporânea?**

O intuito deste artigo é propor estratégias, com o enfoque da abordagem CTS, que forneçam ao professor maior autonomia em sala de aula e novas ferramentas que possibilitem contextualizar o ensino de Física a partir da realidade dos alunos, assim como uma melhor compreensão dos fenômenos físicos. É importante ressaltar o quanto a interação entre os integrantes do processo de ensino/aprendizagem é fundamental para aperfeiçoar o processo educativo e isso só será possível a partir da prática reflexiva do professor, permitindo uma avaliação dinâmica ao longo da aplicação das atividades, como sugere Zabala.

O planejamento e a avaliação dos processos educacionais são uma parte inseparável da atuação docente, já que o que acontece nas aulas, a própria intervenção pedagógica, nunca pode ser entendida sem uma análise que leve em conta as intenções, as previsões, as expectativas e a avaliação dos resultados. (ZABALA, 1998, p. 17)

A partir do exposto, acredita-se que a avaliação formativa seja um método eficaz para averiguar a aprendizagem de acordo com as atividades propostas em uma sequência didática (SD), com o propósito de relacionar a finalidade do ensino com a formação integral do aluno.

A SD foi aplicada em duas escolas, nas quais os autores lecionam regularmente, localizadas em Brasília DF. As atividades ocorreram em quatro turmas da 2ª série do Ensino Médio (EM), sendo necessárias duas semanas consecutivas para a realização das atividades propostas, respeitando categoricamente a ordem das atividades.

Para fins práticos e didáticos, utilizaremos as seguintes nomenclaturas para as escolas:

¹Esta elaboração foi realizada no âmbito da disciplina de Processos e Sequências de Ensino e Aprendizagem em Física no Ensino Médio, ofertada no 2º semestre de 2018 no curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade de Brasília (UnB).

Quero-quero e Abutre. A primeira é particular e preza por um ensino crítico, porém ainda se mantém no paradigma tradicional de ensino. A segunda, militar, com tendência conservadora e tradicional.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

I. Ciência - Tecnologia - Sociedade e suas Inter-relações

Vários aspectos sociais são influenciados e determinados pelas questões que envolvem o conhecimento científico-tecnológico, como os meios de produção e as pesquisas na medicina, nas engenharias, nos fármacos, nas aplicações industriais e nos meios de transporte e comunicação. Frente a tudo isso, surge uma preocupação em estabelecer uma intersecção entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) e a Educação, com o intuito de fomentar uma aprendizagem científica e crítica quanto ao desenvolvimento científico-tecnológico e seus impactos sociais e ambientais.

Segundo Linsingen (2007), esse campo de pesquisa acadêmica, voltado às preocupações e reflexões em CTS, é chamado de estudos de ciência, tecnologia e sociedade (ECTS). O autor traz esses estudos para uma abordagem mais regional, com foco na América latina, em que busca envolver os aspectos sociais, culturais, políticos e econômicos para promover uma educação tecnocientífica.

Com as mudanças dos paradigmas científicos, esse movimento de conscientização se faz necessário nos currículos do Ensino de Ciências. Para Santos e Mortimer (2002), a alfabetização em ciência e tecnologia tornou-se fundamental para a sociedade contemporânea. É preciso confrontar a fé do homem pela ciência frente não só aos seus feitos e aplicações, mas às suas consequências e intenções.

A confiança depositada no cientificismo trouxe para a humanidade a ideia de salvação. Os métodos científicos e os instrumentos tecnológicos juntamente com suas técnicas, resolveriam todos os problemas. A cura da AIDS, a produção de energia limpa, a sofisticação das máquinas, tecnologia de ponta, a busca pela colonização de outros planetas e a autonomia energética são questões supervalorizadas pela mídia, difundindo a fé no progresso da Ciência e modificando os comportamentos humanos em função da razão científica.

A Ciência seria a cura de todos os males? Essa pergunta começa a ganhar espaço, principalmente após a Segunda Guerra mundial, dentre outras catástrofes, como a produção do DDT já mencionada. Essa problemática abalou as estruturas do cientificismo e produziu uma inquietação que gerou diversas pesquisas acerca do método científico. Santos e Mortimer (2002) afirmam que a Ciência não é neutra, já que não é capaz de solucionar todas as mazelas sociais, visto a dificuldade em produzir conhecimento ou tecnologia sem envolver questões éticas e fatores político-sociais.

Essa nova percepção começa a influenciar o campo educacional exigindo um novo olhar para o currículo do Ensino de Ciências, pois é preciso formar pessoas críticas conscientes e capazes de interagir com as mudanças que ocorrem em sua realidade de forma participativa. A partir de Santos e Mortimer (2002), podemos dividir o currículo com ênfase numa abordagem CTS entre três fatores, são estes: **explicação científica; planejamento tecnológico associado à solução de problemas** e a **tomada de decisões** a respeito de assuntos e temas

Tabela 1: Currículo com enfoque CTS: aspectos relevantes. **Fonte:** elaborado pelos autores.

ELEMENTO	FUNÇÃO
Ciência	Atividade humana.
Tecnologia	Intimamente relacionada à ciência.
Sociedade	Incentivar a tomada de decisões conscientes relacionadas a CT.
Aluno	Alguém preparado para tomar decisões conscientes e inteligentes com uma base científico-tecnológica.
Professor	Desenvolver o conhecimento e o comprometimento das inter-relações entre ciência-tecnologia-sociedade.

relevantes no contexto social.

O surgimento dos currículos com um enfoque CTS se deu, primeiramente, nos países industrializados (Europa, Canadá, Austrália e Estados Unidos) como uma necessidade de promover e desenvolver uma educação científica e tecnológica, sendo, assim, uma forma de conscientizar as pessoas quanto ao uso das tecnologias e quanto às suas consequências. De maneira a prepará-las para tomar decisões frente aos problemas sociais, essa tomada de consciência ganha força no cenário pós-guerra e em seus impactos no ambiente, na economia, na qualidade de vida dos indivíduos e no desenvolvimento das indústrias. Isto é, evidenciar os excessos tecnológicos e suas consequências, como sugere Santos e Mortimer (2002, p. 14).

II. Aprendizagem crítica e contextualizada com base nos pressupostos de Paulo Freire

Ao adotar-se uma postura pautada num currículo focado nas relações entre Ciência-Tecnologia-Sociedade, é imprescindível contextualizá-lo à realidade dos discentes. A partir dessa preocupação, acionamos os pressupostos da Educação libertadora e autônoma proposta por Paulo Freire.

Segundo Freire (2004), não existe diferença significativa ou distância entre a ingenuidade e a criticidade, entre o saber comum resultante puramente da experiência e o saber adquirido por meio de metodologias rigorosas, isto é, não há uma barreira, mas superação desse conhecimento.

Entretanto, essa transição não acontece automaticamente; ela ocorre como uma promoção da ingenuidade para a criticidade por meio da curiosidade. Para Freire (2004), a curiosidade humana vem sendo construída e reconstruída tanto histórico como socialmente, e isso é uma experiência vital para o ser humano. Tal evolução é fruto da prática educativo-progressista, capaz de desenvolver a curiosidade crítica, indócil e insatisfatória.

Essa curiosidade é uma ferramenta de defesa contra os irracionalismos resultantes ou causados por uma racionalidade exagerada, decorrente de um tempo amplamente tecnologicado. Ter esse olhar é importante, não para condenar a ciência ou a tecnologia, mas para se posicionar frente às suas implicações e consequências à humanidade e ser capaz de intervir no mundo a sua volta.

E não vai nesta consideração nenhuma arrancada falsamente humanista de negação da tecnologia e da ciência. Ao contrário, é consideração de quem, de um lado, não diviniza a tecnologia, mas, de outro, não a diaboliza. De quem a olha ou mesmo a espreita de forma criticamente curiosa.

(FREIRE, 2004, p. 39)

Dentro do processo de ensinar e aprender, Freire (2004, p. 7) sugere que o educador deve estar aberto à curiosidade, às perguntas dos alunos, às indagações e às suas inibições; além disso deve estar pronto a ser um professor crítico, inquiridor e inquieto diante da missão de ensinar. Se vê como alguém que está envolvido na construção do conhecimento e, sob essa ótica, também envolve os alunos e assim: saber que ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua própria produção ou a sua construção.

Essa prática reflexiva, construída a partir do envolvimento dos participantes, promove uma forma diferente de ensinar, pois mostra que os professores também estão em constante aprendizagem e isso motiva os alunos a também desejar aprender e aperfeiçoar os seus conhecimentos continuamente. Como sugere Freire (2004), se aprende com o exemplo.

III. Metodologia de problematização

Esta pesquisa fundamenta-se no currículo com enfoque CTS e na teoria educacional Freiriana; por este motivo, foi adotada uma metodologia de problematização para o desenvolvimento da sequência didática, visto que esta busca alcançar uma aprendizagem crítica, investigativa e contextualizada. Para Ramos (2013), essa aprendizagem possui três características básicas:

- I Participação do aluno na situação problema proposta, que deve estar relacionada com a realidade do educando;
- II Busca de soluções pelos alunos por meio de conhecimentos integrados;
- III Desenvolvimento de uma aprendizagem de cooperação a partir da realização de atividades interativas que promovam comprometimento nas tarefas e com o grupo e contato com os colegas.

IV. Avaliação

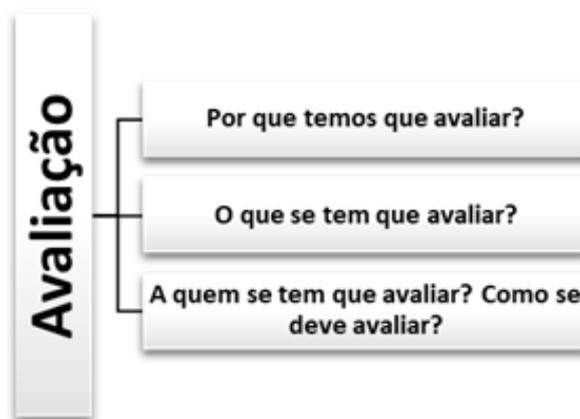
A avaliação é um instrumento fundamental no processo de ensino/aprendizagem, pois é o momento de verificar, de redefinir e pensar sobre o que foi aprendido e o que foi ensinado, numa perspectiva conjunta, envolvendo todos os sujeitos do processo e não como uma ferramenta definitivamente qualificadora, que se limite apenas aos resultados alcançados pelos estudantes.

O objeto da avaliação não deve ser centralizado somente nos resultados, mas priorizar o processo de ensino/aprendizagem tanto para cada aluno como também para o grupo/classe. Assim, o aluno não é o sujeito exclusivo do processo que contempla todos os integrantes. Ademais, Zabala (1998) define os principais sujeitos e objetos da avaliação, evidenciados no quadro 2.

Tabela 2: Principais sujeitos e objetos da Avaliação, segundo Zabala (1998). *Fonte:* Zabala (1998, p. 196).

Processo individual ensino/aprendizagem	Sujeito	Aluno/a	Professor/a
	Objeto	Processo aprendizagem	Processo ensino
Processo grupal ensino/aprendizagem	Sujeito	Grupo/Classe	Equipe docente
	Objeto	Processo aprendizagem	Processo ensino

Zabala (1998) também destaca a importância da função social do ensino, que não se restringe apenas em levar o aluno à escola, mas desenvolver a formação integral desse indivíduo, preocupando-se com sua personalidade e o desenvolvimento de outras habilidades, além do caráter cognitivo: capacidades motoras, de equilíbrio, autonomia pessoal, relação interpessoal e de inserção social. Diante dessa perspectiva, os pressupostos da avaliação também devem mudar frente a essa visão não tradicional, seletiva e propedêutica, do ensino.

**Figura 1:** Critérios necessários para se definir uma Avaliação. *Fonte:* elaborado pelos autores.

A avaliação adotada nesta pesquisa foi a **Avaliação Formativa**, que, de acordo com Zabala (1998), se divide em três (3) etapas: inicial, reguladora e final integradora.

A primeira fase do processo - avaliação inicial - se encarrega da investigação do conhecimento preexistente do aluno e, a partir disso, orienta o planejamento das atividades a serem realizadas que possam favorecer a aprendizagem de cada indivíduo, em consonância com os objetivos e conteúdos previstos. Isso permite definir uma melhor proposta de intervenção, assim como a organização e o grau de importância de cada atividade.

A avaliação reguladora é a fase em que se verifica como ocorre o processo de ensino/aprendizagem em cada indivíduo, possibilitando adaptações às novas necessidades que possam surgir.

Durante a aplicação do plano de intervenção em uma aula, é notório que o comportamento dos alunos varia de acordo com a situação. Assim, pode-se notar a complexidade do processo educacional: realidades e experiências cognitivas distintas, refutando possíveis soluções padronizadas. À medida que o plano é aplicado, urge a introdução de novas atividades que desafiem e se adequem a cada indivíduo; estratégias que possibilitem a assimilação de novas informações.

A última fase do processo avaliativo é a avaliação integradora (somativa) que, segundo Zabala (1998), evidencia um informe global acerca do processo de aprendizagem do aluno;

Tabela 3: Diferenças entre a Avaliação tradicional e a Avaliação formativa. Fonte: Zabala (1998, p. 196), com adaptações.

Função social e aprendizagem	Objeto	Sujeito	Referencial	Avaliação	Informe
Seletiva e propedêutica Uniformizador e transmissor	Resultados	Alunos	Disciplinas	Sanção	Quantitativo
Formação integral Atenção à Diversidade	Processo	Alunos/ professores	Capacidades	Ajuda	Descritivo/ interpretativo

as medidas adotadas durante as aulas; as reflexões sobre o que foi feito e o que precisa ser refeito, de acordo com o averiguado na avaliação inicial.

Ao final dessa trajetória é importante observar se cada participante do processo cumpriu com seu papel, isto é, se o aluno aprendeu e se ele consegue manifestar esse conhecimento de forma autônoma e crítica perante os problemas de sua comunidade, assim como o professor também deve refletir criticamente sobre sua prática, se as atividades propostas foram realizadas de acordo com o planejado, otimizando o processo de ensino/aprendizagem.

Para Freire (2004), o educando é um sujeito que também produz o saber e deve se assumir como tal, para se convencer de que o ensino deve criar possibilidades para a sua produção ou a sua construção e não meramente a transmissão do conhecimento. Isto é, os educandos têm a oportunidade de se tornarem os verdadeiros sujeitos da construção e da reconstrução do saber ensinado, ao lado do educador.

III. SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência didática foi elaborada a partir de três referenciais: o currículo CTS, a teoria de aprendizagem de Paulo Freire e a Metodologia de problematização. Com isso, buscou-se promover atividades que abordem o desenvolvimento científico-tecnológico frente à preocupação com a sustentabilidade. É importante que o aluno seja capaz de analisar o fenômeno físico, associá-lo à sua realidade, aprender a trabalhar em grupo, se comprometer com a busca de soluções e intervir quando necessário.

I. Construção da Sequência Didática

A sequência didática proposta é constituída por seis aulas de 50 minutos cada, a serem realizadas ao longo de duas semanas consecutivas. Segundo Zabala (1998, p.18), as sequências didáticas são um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos.

As atividades propostas incluem: debates, exercícios, observações, leituras e produção de um vídeo publicitário. A sequência é composta por atividades que devem ser bem planejadas de acordo com o conteúdo e o objetivo que se pretende alcançar. Devem ser aplicadas de forma organizada, evidenciando a função de cada participante envolvido no processo de ensino/aprendizagem.

A Termodinâmica é o objeto de estudo e foco das discussões realizadas em sala de aula. As aulas têm caráter progressivo, ou seja, é interessante que o professor as aplique de acordo com o sugerido nesta pesquisa, a fim de manter a coerência entre os processos, respeitando os pré-requisitos necessários para melhor aprendizagem dos conceitos, assim como os referenciais teóricos escolhidos.

A avaliação será realizada ao longo da sequência por meio do comprometimento dos alunos frente às atividades propostas. A sequência didática foi aplicada em duas escolas distintas e por professores diferentes. Para fins práticos e didáticos, utilizaremos as seguintes nomenclaturas: Quero-quero e Abutre.

A escola Quero-quero é particular, porém a admissão também é realizada por meio de processo seletivo com bolsas sociais. O produto será aplicado em uma turma da 2ª série do Ensino Médio.

Já a escola Abutre não tem fins lucrativos, segue o modelo padrão de escola militar, com seus métodos e costumes tradicionais. O ensino é gratuito, porém a admissão dos alunos só é realizada por meio de processo seletivo. O produto será aplicado em 3 turmas da 2ª série do Ensino Médio.

As escolas têm perfis parecidos quanto ao público, os alunos têm a mesma faixa etária, 15-16 anos; em média, são oriundos de famílias com potencial econômico acima da média do país e ambas estão localizadas próximas ao centro de Brasília.

I.1 Aula I

A primeira aula foi dedicada ao estudo da história da Termodinâmica. Será uma aula dialógica, na qual o intuito é que os alunos visualizem os problemas existentes à época e sejam capazes de pensar em uma intervenção para solucioná-los. Além disso, pretende-se que associem os avanços científicos com os avanços tecnológicos e sociais; consigam exemplificar outras possíveis aplicações do que foi exposto; além de serem capazes de manter uma discussão crítica a respeito do tema.

Para incitar e aguçar a curiosidade dos alunos, utilizamos um texto complementar² que retrata a evolução dos conceitos de calor e temperatura ao longo da história da Ciência, evidenciando os problemas técnicos da época e problematizações correlatas aos inventos. Este texto foi adaptado de acordo com o vocabulário dos alunos e dos objetivos da sequência didática. Tisza (1966), autor do texto base, evidencia a importância de tratar a temperatura de maneira fenomenológica, assim como as ferramentas utilizadas à época, que pudessem disponibilizar uma maior precisão na medição dessa grandeza, sendo necessário o acréscimo do advento da Revolução Industrial e a sua íntima relação com a Termodinâmica.

Os alunos foram divididos em grupos de seis pessoas, a fim de realizarem a leitura do texto complementar. Após a leitura, o professor propôs alguns desafios a partir de questões

²*Evolução dos conceitos de Termodinâmica*- disponível no Apêndice D.

abertas.

- Há alguma palavra no texto que vocês não entenderam?
- Fenomenologia está relacionado a que?
- Após a leitura desse texto, o que você acredita ser a definição de temperatura? Há alguma relação com o que você observa no seu dia a dia?
- Como se deu a evolução dos termômetros?
- Qual o impacto social desse invento?

O professor deve problematizar sobre o monopólio da indústria automotora e as suas relações com o Mercado e o Estado, e como essas relações podem influenciar na compra de um automóvel, evidenciando ao aluno a importância da alfabetização científica em prol do uso cotidiano. Espera-se que os alunos evidenciem os problemas sociais relacionados ao uso dessa tecnologia, como, por exemplo: o uso de combustíveis alternativos, a disparidade socioeconômica, o abuso das fontes de energia não-renováveis, a autonomia energética dos veículos, dentre outros.

É importante ressaltar, a cada fala do professor, a relação entre os fenômenos físicos citados no texto com as atividades cotidianas dos alunos. Após a leitura e as reflexões promovidas pelo professor, é imprescindível que os alunos façam anotações sobre o que foi lido e possíveis dúvidas após as interações.

Ao final desta aula, o professor deverá explicar quais serão os procedimentos necessários para a confecção do trabalho final.

Aos alunos será proposto que formem grupos de, no máximo, seis pessoas. A partir daí, terão como objetivo criar veículos automotores que atendam às seguintes especificações:

- As máquinas devem obedecer às leis da Termodinâmica.
- As grandezas físicas devem ser evidenciadas e associadas aos fenômenos de forma coerente.
- O combustível a ser utilizado deve ser justificado a partir de comparações com similares (principalmente combustíveis alternativos).
- O trabalho deve ser exposto como uma propaganda, ressaltando os pontos positivos do veículo.
- Aerodinâmica/design coerente com uma possível fabricação.
- Design inovador.
- O custo benefício também deve ser levado em consideração no ato da apresentação.

Concomitantemente, um diário de bordo³ será confeccionado pelos alunos, expondo as etapas de produção do veículo, que também será utilizado como objeto de avaliação, visto

³Conjunto de relatos criado pelos alunos durante a atividade, também útil para avaliação posterior. Este relato pode ser feito por vídeo e/ou anotações no caderno.

que a avaliação desta pesquisa é de cunho formativo, priorizando a realização de todas as tarefas propostas durante o processo.

A avaliação considerará a produção de um vídeo de no máximo cinco minutos, que terá como foco central a invenção de um carro. A avaliação tem caráter somativo e formativo e deverá contemplar os seguintes requisitos:

- Aplicação dos conceitos físicos de forma coerente com o funcionamento dos veículos;
- Qualidade do vídeo (deverá ser entregue em pendrive no formato mp4, com boa resolução).
- Clareza e objetividade.
- Criatividade.
- Respeito ao limite de tempo.

I.2 Aula II

Para uma abordagem teórica mais detalhada e menos cansativa, foram exibidos vídeos que contemplam as inovações tecnológicas em meados do século XVIII. Vídeos curtos que descrevem as principais contribuições de Carnot, Clausius, Kelvin, Joule, Watt, Boltzmann e tantos outros personagens relacionados a formulação das três leis da Termodinâmica. Esse material traz o contexto da Revolução Industrial, a preocupação com o desenvolvimento tecnológico, a necessidade de motores mais eficientes e, posteriormente, a preocupação com o meio ambiente, visto tamanha a degradação dos recursos naturais.

É esperado que os alunos consigam associar os vídeos com o texto anterior, assim como tenham condições de manter um mínimo de criticidade frente aos fenômenos físicos e associá-los a sustentabilidade.

O primeiro vídeo (A História dos Motores)⁴ é um documentário produzido e exibido pelo canal de TV History Channel, porém também disponibilizado gratuitamente pela plataforma de vídeos Youtube.

O segundo vídeo (Entenda de vez como funciona o motor do carro!)⁵ também é disponibilizado pela plataforma Youtube. Produzido pelo canal Manual do Mundo, de grande apelo popular, é uma das estratégias para manter os alunos atentos à importância da alfabetização científica, isto é, em como o conhecimento científico pode auxiliá-los em situações reais do seu cotidiano.

Tal alfabetização científica possibilitará que a grande maioria da população disponha de conhecimentos científicos e tecnológicos necessários para se desenvolver na vida diária, ajudar a resolver os problemas e as necessidades de saúde e sobrevivência básica, tomar consciência das complexas relações entre ciência e sociedade e, finalmente, considerar a ciência como parte da cultura do nosso tempo. (Furió et al, 2010)

⁴<<https://youtu.be/fvFEqEmekzk>>, acesso em 15 set 2018.

⁵<<https://www.youtube.com/watch?v=U11XuiJE0Dw&t=742s>>, acesso em 15 set 2018.

Com o intuito de distanciar-se de uma aula expositiva e tradicional, os alunos foram direcionados a um espaço diferente: uma sala de aula mais ampla e sem cadeiras, com tapetes e almofadas. Foi sugerido também que trouxessem lanches para a exibição dos vídeos.

I.3 Aula III

Após as atividades anteriores, espera-se que os alunos tenham dúvidas e anseios a respeito dos fenômenos citados. É de suma importância que o professor crie um ambiente favorável à aprendizagem e delimite determinados conceitos abordados nos vídeos e no texto complementar. Para tal, os alunos foram dispostos em círculo e incentivados a refletir sobre algumas problemáticas.

1. Você consegue associar o texto com os vídeos exibidos?
2. Quais pontos te chamaram atenção no documentário?
3. Há alguma relação entre as máquinas exibidas e o seu cotidiano?
4. Quais as principais contribuições ocorridas ao longo da Revolução Industrial?
5. Qual o impacto do desenvolvimento das máquinas a vapor nos dias de hoje?
6. Há alguma relação entre o desenvolvimento das máquinas e o meio ambiente?
7. Cite, no mínimo, dez situações do seu dia a dia que remeta a alguma aplicação da Termodinâmica.

Após uma breve discussão de ideias, os alunos agruparam-se novamente, de acordo com o pré-estabelecido na aula 1. Com as anotações dos grupos em mãos, o professor as redistribuiu aleatoriamente, a fim de que os grupos analisassem um ao outro e fossem capazes de encontrar erros e sugerir possíveis melhorias nos comentários dos colegas. Após as discussões, os grupos identificaram e listaram situações nas quais eles observam a influência da Termodinâmica em suas vidas e suas correlações entre o conhecimento científico e o meio ambiente.

I.4 Aula IV

O professor, por meio de slides⁶, abordará historicamente a construção das leis da Termodinâmica, além de evidenciar a necessidade dentro de um contexto social dos conceitos à época e como foram implementados.

A partir de uma linha do tempo, o professor evidenciou os principais eventos que culminaram no desenvolvimento das leis da Termodinâmica. É importante ressaltar a não sincronicidade das leis assim como são apontadas nos livros didáticos.

Foi abordada a importância dos veículos automotores e a sua relação com a sustentabilidade, explicitando o quão ruim é o rendimento de uma máquina térmica, comparando-a

⁶Os slides estão disponíveis do apêndice deste artigo, assim como na internet (link no Apêndice A).

com a elétrica. Além disso, suscitamos algumas problematizações: afinal, por que não há incentivo do Estado para a construção de automóveis elétricos? Quais as vantagens e desvantagens no uso do carro elétrico? Temos autonomia energética para manter uma frota de carros com essa característica?

A aula foi dialógica e teve como pré-requisito as experiências pessoais dos alunos com esse dispositivo tão comum em seu dia a dia. Qual o melhor combustível a ser utilizado? Há diferença entre eles? Qual a relação do combustível com a sustentabilidade?

Isto é, a abordagem se iniciará a partir da 2ª lei da Termodinâmica, com exemplos práticos, associando o conceito de Entropia ao funcionamento do automóvel, e findou-se com as nomenclaturas utilizadas no senso popular para designar potência e força. Além disso, o funcionamento dos pistões e como ocorrem os ciclos termodinâmicos.

Os slides contêm, dentre outras coisas, as possibilidades de ciclos termodinâmicos e as transformações gasosas que as compõem.

Em termos gerais é esperado que os alunos compreendam a relação entre calor e trabalho, além de reconhecer e compreender as relações de trocas de calor entre o sistema e o meio, ademais, que consiga associar o movimento do automóvel à realização de trabalho, resultado das trocas de calor. É importante que os alunos também possam descrever cada um dos elementos contemplados nas leis da Termodinâmica e saiba diferenciá-los, além de distinguir as diferentes etapas pertencentes a cada ciclo: Otto, Diesel, Carnot e Stirling.

Ao final da aula, o professor sugere que os alunos pesquisem sobre as diversas tecnologias atribuídas aos automóveis e façam um breve relato em seus cadernos.

I.5 Aula V

Boa parte dos alunos ainda enxerga o ensino de física como um processo moroso, difícil e fundamentado em inúmeras equações sem sentido no mundo real. Com o intuito de desmistificar essa visão e incentivar a proatividade frente à aprendizagem, utilizou-se um método alternativo para solucionar situações-problema referente às leis da Termodinâmica.

Este método é conhecido como Peer instruction (MAZUR, 1997), uma alternativa ao ensino tradicional que incita o comprometimento entre os educandos, promove a integração dos conhecimentos e busca a compreensão dos fenômenos físicos e que possam garantir uma aprendizagem crítica. Se trata de uma estratégia de ensino, na qual a colaboração entre os alunos é primordial para o debate de ideias e, conseqüentemente, uma tomada de decisão. Devido a limitações tecnológicas, foram realizadas algumas alterações no que propõe o autor. Orientados por Freire (2002), substituímos a estratégia de coleta de dados para nos adequar à realidade social dos nossos estudantes.

A aula ocorreu em uma sala ampla e sem cadeiras (uma quadra de esportes também seria uma ótima opção). O professor, com o auxílio de cartazes, apresentou uma questão de múltipla escolha sobre os conteúdos contemplados pela sequência didática. Algumas questões foram formuladas pelos professores, outras oriundas de avaliações externas, tal como o ENEM - Exame Nacional do Ensino Médio e/ou vestibulares tradicionais das diversas Universidades do país.

A sala foi configurada previamente de modo que os alunos possam se agrupar em cinco colunas distintas, representando as cinco possibilidades de resposta para a situação-

problema.



Figura 2: Alunos da escola Abutre participando da dinâmica referente à aula V. *Fonte:* elaborado pelos autores.

Em um primeiro momento, o professor exibiu a questão e os alunos, individualmente, escolheram a coluna em que acreditavam estar a resposta correta. Feito isso, o professor (ou um aluno orientado) contabilizou a quantidade de alunos em cada coluna, a fim de provocar uma discussão sobre as divergências entre as respostas.



Figura 3: Dinâmica referente à aula V. *Fonte:* elaborado pelos autores.

Posteriormente, os alunos foram incitados a interagir entre si e tinham como objetivo convencer os demais que a sua resposta é a mais coerente, utilizando argumentos condizentes com as leis da Termodinâmica. Essa interação durou, aproximadamente, 10 min.

Após as discussões, o professor retomou a mesma rotina: apresentação da situação-problema, escolha dos alunos pela coluna em que acreditavam estar a alternativa correta, computo da quantidade de alunos por coluna.

Em sequência, o professor analisou os dados referentes as diferentes respostas obtidas nas duas tentativas juntamente com os alunos, delimitando a resposta correta, os possíveis distratores e desmistificando os fenômenos naturais. Essa rotina foi repetida de acordo com a quantidade de questões e com o tempo disponível.

Para facilitar e agilizar a dinâmica, o professor registrou todas possibilidades de resposta, para futura análise e desfecho da dinâmica, de acordo com a Figura 4.

Questão 1	A	B	C	D	E
1ª tentativa	8	4	10	0	1
2ª tentativa	8	8	9	0	0
Questão 2	A	B	C	D	E
1ª tentativa	0	1	0	20	3
2ª tentativa	0	1	0	20	3
Questão 3	A	B	C	D	E
1ª tentativa	0	0	4	22	0
2ª tentativa	0	0	7	18	0
Questão 4	A	B	C	D	E
1ª tentativa	8	0	4	13	0
2ª tentativa	8	0	4	13	0

Figura 4: Número de alunos em cada uma das alternativas. Fonte: elaborado pelos autores.

I.6 Aula VI

A aula foi dedicada às apresentações dos alunos. Cada equipe teve, em média, 10 min para promover o seu automóvel, dispendo de estratégias de marketing, envolvendo toda a sua fala com conceitos físicos coerentes com as leis da Termodinâmica.

O professor abriu espaço para comentários entre os grupos assim que seus vídeos foram apresentados, de acordo com o tempo disponível.

Espera-se que os alunos se apropriem dos conceitos físicos explorados ao longo da sequência didática, sejam criativos e inovadores, demonstrem comprometimento com o grupo e com a atividade, além de evidenciar uma postura proativa no processo de ensino/aprendizagem.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Orientados pela pesquisa de Zabala (1998), isto é, preocupados com a função da avaliação dentro do processo de ensino/aprendizagem e sua correlação com uma aprendizagem que possibilite ao aluno ser autônomo e crítico frente à sua realidade social, foram elaboradas diversas atividades que contribuíssem para um melhor entendimento dos conceitos de Termodinâmica.

Ao longo do processo, foram utilizadas diversas estratégias que fogem ao ensino tradicional: textos complementares com abordagens históricas, vídeos que relacionam os motores térmicos à tecnologia automobilística, atividades colaborativas envolvendo situações-problema e questões de exames tradicionais, como o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM).

Para facilitar o entendimento do leitor, e ser fiel ao referencial metodológico, a análise dos dados foi dividida em duas etapas: avaliação dos objetos e avaliação dos sujeitos ao longo do processo.

V. AVALIAÇÃO DOS OBJETOS

É importante que a aprendizagem seja progressiva e que o ensino propicie um desenvolvimento cognitivo satisfatório frente aos conceitos termodinâmicos, a fim de mesclar o desenvolvimento científico e tecnológico com ações sustentáveis.

Pensando num aluno que constrói o seu próprio saber, foram registradas algumas de suas falas, para melhor entendimento do processo.

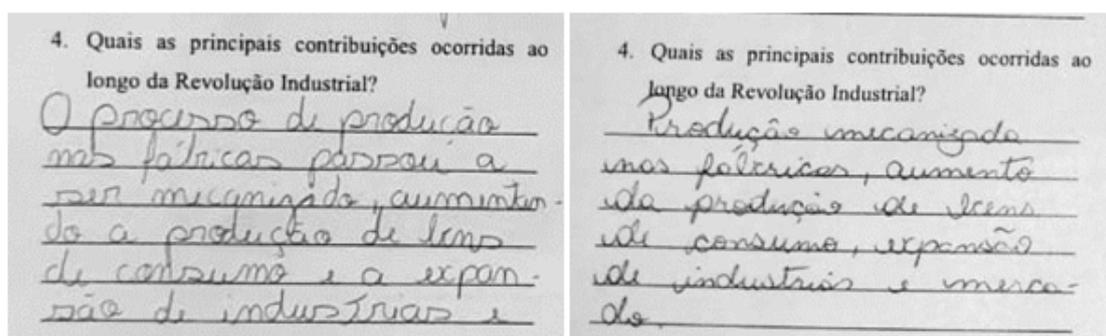


Figura 5: Respostas dos alunos da escola Abutre referente à aula III. **Fonte:** elaborado pelos autores.

As respostas obtidas no questionário da aula III demonstram a dificuldade dos alunos em realizar uma melhor reflexão sobre os fenômenos citados. Em suas respostas, observa-se trechos reproduzidos à íntegra do texto complementar entregue na aula I, sem relação com o seu cotidiano.

Houve envolvimento entre os membros do grupo durante a análise, na qual suas anotações foram preponderantes para a próxima atividade, já que o professor abordou historicamente a evolução das máquinas térmicas, assim como o contexto econômico e social em que estavam inseridas, suscitando as peculiaridades de cada evento histórico.

Após a exibição dos vídeos propostos pelo professor, os alunos conseguiram concatenar as ideias propostas no texto com o desenvolvimento das máquinas térmicas presentes no vídeo. São notórias a motivação e curiosidade em aprender sobre o funcionamento de uma ferramenta tão comum em seu cotidiano, o automóvel. Ao longo das primeiras aulas, nota-se um progresso em sua compreensão de mundo diante de diversos problemas sociais e da necessidade em desenvolver motores que amenizem os impactos ambientais.

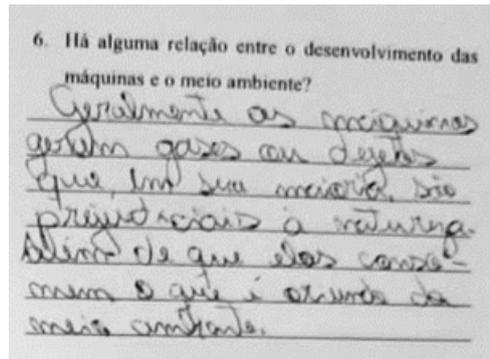


Figura 6: Respostas dos alunos da escola Abutre referente à aula III. *Fonte:* elaborado pelos autores.

Ao analisarmos os dados referentes à aula V, e condicionados a estar numa avaliação tradicional - que prioriza o resultado, os alunos da escola Quero-quero burlaram o processo utilizando mídias móveis, em busca do gabarito das questões do ENEM. Diante dessa atitude, o professor acrescentou questões inéditas à SD. Já na escola Abutre, uma das turmas estava condicionada a não problematizar as situações apresentadas, isto é, boa parte dos alunos esperava a proatividade do aluno com melhor rendimento, para então escolher a alternativa correta.



Figura 7: Alunos da escola Quero-quero participando da dinâmica referente à aula V. *Fonte:* elaborado pelos autores.



Figura 8: Anúncio de um dos grupos da escola Abutre. *Fonte:* elaborado pelos autores.

A preocupação em demonstrar um bom desempenho, de acordo com o ensino tradicional, fez com que os alunos buscassem atalhos e burlassem o processo em benefício próprio.

A última avaliação proposta pela SD foi a confecção de um anúncio publicitário que contemplasse conceitos físicos relacionados à Termodinâmica e ao funcionamento do motor, assim como desenvolver propostas que demonstrassem a preocupação com os impactos ambientais.

I. Avaliação dos sujeitos ao longo do processo

Após a leitura e discussão do texto histórico, ficou evidente para o professor da escola Quero-quero a necessidade de criar novas estratégias para a próxima aula, visto a desmotivação e o não envolvimento dos alunos em refletir sobre as atividades propostas. O

planejamento da SD sofreu algumas alterações ao longo do processo, devido às reações dos alunos perante às tarefas elaboradas. Justificados por Zabala (1998), se fez necessária a busca de novas estratégias que os estimulassem a pensar na Ciência como um processo histórico, entender que a tecnologia envolvida na construção dos motores, além de funcional, também deve ser sustentável.

Diante disso, o professor viabilizou uma nova atividade colaborativa que se adequasse às novas necessidades, na qual as respostas dos alunos seriam distribuídas aleatoriamente para que cada grupo inserisse novas informações a respeito dos fenômenos ou as criticasse.

Ao longo da aplicação, obtivemos reações diferentes por parte dos alunos. Na escola Quero-quero, houve um conflito entre dois grupos que desmotivou a participação dos outros. Preocupados com a nota final, os integrantes se limitaram às críticas, a fim de não sofrer retaliações posteriores. Já na escola Abutre, houve maior proatividade, desencadeando mais questionamentos, principalmente a respeito da função social do automóvel, exemplificado na fala de dois grupos distintos:

A questão de como as máquinas evoluíram com o tempo, o funcionamento delas e como são importantes no dia a dia (aluno da escola Quero-quero).

A evolução da Física e seu impacto no mundo atual, como a tecnologia está em constante mudança (aluno da escola Abutre).

Nessa atividade, foi perceptível o engajamento dos alunos frente ao desenvolvimento científico-tecnológico e ao seu impacto social, seja na preocupação em reduzir a poluição e o aquecimento global, como também no crescimento econômico de grandes potências mundiais da época, oriunda da implementação desta tecnologia para fins militares.

Ficou evidente uma maior empolgação por parte dos alunos na última atividade, tendo em vista os diversos questionamentos feitos ao longo do processo, no intuito de criar um motor ideal, uma máquina que pudesse solucionar os diversos problemas da atualidade.

Notou-se uma grande diversidade de motores nas duas escolas pesquisadas, principalmente elétricos. Esta motivação surgiu devido a diversas notícias propagadas pela mídia sobre a empresa Tesla e o seu fundador Elon Musk, que lançou um carro elétrico no espaço com destino à órbita de Marte.

Na idealização do design das invenções, se sobressaiu a criatividade, muitas vezes em detrimento de seu funcionamento. As leis da Termodinâmica foram abordadas superficialmente por alguns grupos, preocupados demasiadamente com a parte lúdica. Também ficou evidente a dificuldade em associar os fenômenos físicos a problemas associados à economia e à sustentabilidade. Em algumas produções, o perfil do comprador se restringia a uma classe de maior poder aquisitivo, visto que as propostas tecnológicas necessitam de um alto custo para o seu desenvolvimento. Em outras palavras, não houve a preocupação em criar modelos acessíveis à população.

Não ficou claro para o aluno a não neutralidade da Ciência no desenvolvimento do automóvel, ou de qualquer outra tecnologia, cabendo ao professor realizar os devidos esclarecimentos após as apresentações.

Em relação à dinâmica da apresentação, alguns grupos não entenderam a proposta do anúncio e confeccionaram vídeos explicativos similares a vídeo aulas. Entende-se que uma

aula extra seria interessante para exemplificar passo a passo o melhor método para a criação de um anúncio publicitário, assim como orientá-los a incrementarem seus veículos com uma linguagem científica mais apurada.

Na escola Quero-quero, um dos grupos produziu o seu próprio motor elétrico. Investidos de pilhas e ímãs, tiveram uma excelente retórica frente aos fenômenos físicos, mesclado com muita criatividade e autonomia.

Diversas invenções foram criadas na escola Abutre, sendo que o anúncio não se restringiu à construção de um automóvel. Um bom exemplo foi a construção de uma cadeira de rodas motorizada (vide Figura 8), evidenciando maior preocupação com as minorias.

VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Sequência Didática é uma proposta conveniente a ser aplicada no Ensino Médio, visto a sua flexibilidade ao longo do processo de ensino/aprendizagem, além de contemplar uma constante reflexão na prática do professor em busca de estratégias alternativas que desafiem os alunos em suas capacidades cognitivas, motoras, de equilíbrio, autonomia pessoal, relação interpessoal e de inserção social. Diante dessa perspectiva, é importante que o aluno se perceba como parte do processo e tenha autonomia para intervir no que for necessário, participando efetivamente da construção do saber.

Entende-se que houve progresso ao longo das atividades propostas, desde as discussões realizadas em sala de aula, até a avaliação final com a confecção dos vídeos. Nos questionários respondidos pelos alunos, verificaram-se algumas noções limitadas frente aos fenômenos termodinâmicos e suas correlações com o cotidiano, dificultando a ação do professor.

No decorrer das atividades, os alunos perceberam a importância do saber científico para a compreensão da realidade à sua volta e como esse a priori seria necessário para futuras aplicações, assim como o desenvolvimento científico-tecnológico, ao longo da história, foi preponderante para os avanços sociais.

A SD foi planejada a partir de estratégias alternativas ao ensino tradicional. É imprescindível que os alunos sejam capazes de identificar os fenômenos associados à Termodinâmica e tenham autonomia para intervir, quando necessário, em situações-problema.

A Sequência Didática busca também atender às aflições do professor em utilizar métodos tradicionais que pudessem suprir a demanda das escolas pesquisadas ao contemplar, em suas atividades, questões e problemas recorrentes em exames tradicionais, como o ENEM.

A análise das avaliações propostas evidenciou o papel de cada sujeito envolvido no processo de ensino/aprendizagem. Ao aluno, tem destaque a preocupação com o Meio Ambiente e os impactos sociais decorrentes do desenvolvimento científico-tecnológico.

Ao professor, coube a mediação nas atividades que propiciavam relações interpessoais mais pungentes: atividades em grupo que instigavam o comprometimento de cada componente em prol da solução da situação-problema. A orientação ocorreu ao longo de todo o processo, visando mesclar o saber científico com o saber popular, incentivando o criticismo e a autonomia. A intervenção foi necessária durante todo o processo, principalmente ao final da exibição dos vídeos criados pelos alunos, fundamentando o que foi exposto com o saber científico.

O uso de História e Filosofia da Ciência nas primeiras aulas foi importante para fomentar a pesquisa e atribuir ao aluno a responsabilidade sobre o meio ambiente e em como a tomada de consciência poderia lhe proporcionar o uso adequado das matrizes energéticas. As atividades realizadas ao longo do processo demonstraram que os alunos foram capazes de relacionar os diversos enfoques com a abordagem CT, mas sem perceber que ambas não são neutras, cabendo ao professor estabelecer a conexão entre os fatores ocultos que influenciam os avanços científico-tecnológicos. Entende-se por fatores ocultos os aspectos políticos, econômicos, sociais e ambientais associados a cada invenção científica.

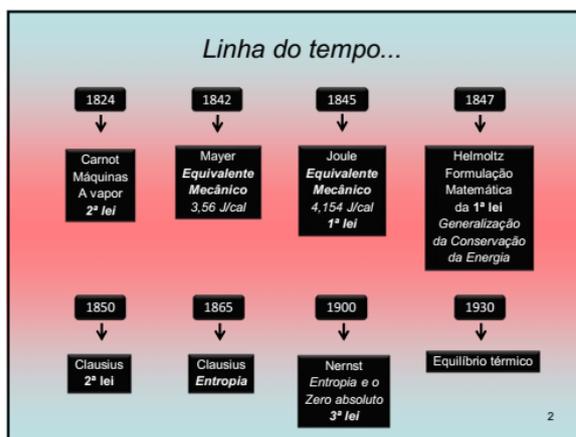
Por fim, a experiência com a sequência didática foi válida, visto sua flexibilidade em gerenciar as diversas atividades, cumprindo com a prerrogativa inicial de propiciar um ensino de física com enfoque em CTS.

REFERÊNCIAS

- CARSON, R. *Primavera Silenciosa*. São Paulo: Gaia, 2010
- FREIRE, P. *Pedagogia da Autonomia: Saberes necessários à prática educativa*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2004.
- FREIRE, P. *Educação como prática da liberdade*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1967.
- FURIÓ, C.; VILVHES, A.; GUIASOLA, J.; ROMO, V. Finalidades de La Enseñanza de Lãs Ciências em La Secundaria Obligatoria. *Enseñanza de lãs ciências*, v. 19, n. 3, p. 365-376, 2010. Disponível em: <http://core.ac.uk/download/pdf/38990675.pdf>. Acesso em: 19 set. 2018.
- LINSINGER, I V.L. Perspectiva educacional CTS: aspectos de um campo em consolidação na América Latina. *Ciência & Ensino*, v. 1, n. 1, nov., 2007.
- MAZUR, E. *Peer instruction: A users manual*. New Jersey: Prentice Hall, 1997.
- RAMOS, D. A aprendizagem colaborativa e a educação problematizadora para um enfoque globalizador. *Cadernos da Pedagogia*. São Carlos, v. 6, n. 12, 2013. Disponível em: <http://www.cadernosdapedagogia.ufscar.br/index.php/cp/article/view-File/506/207>. Acesso em: 19 set. 2018.
- SANTOS, W. L. P., MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência Tecnologia Sociedade) no contexto da educação brasileira. *ENSAIO - Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 2, n. 2, dez., 2002.
- TISZA, L. *Generalized Thermodynamics*. Cambridge: The MIT Press, 1966.
- ZABALA, A. *A prática educativa: como ensinar*. Trad. Ernani F. Da F. Rosa. Porto Alegre: ArtMed, 1998.

A. EVOLUÇÃO DOS CONCEITOS HISTÓRICOS DA TERMODINÂMICA (SLIDES)

Na aula IV, foi proposto aos docentes que utilizassem uma abordagem histórica contemplando os conceitos das Leis da Termodinâmica, na tentativa de otimizar o processo de ensino aprendizagem. Para tal, foi confeccionado um conjunto de slides para dar suporte ao professor ao longo de sua prática. Este material será listado abaixo e também disponibilizado gratuitamente pela internet, sem nenhum tipo de limitação, a partir do link: <<https://www.slideshare.net/jabah/termodinmica-9247642>>, acesso em 28 out 18.



Como se poderia aumentar o rendimento de uma máquina térmica, tornando-a o mais eficiente possível?

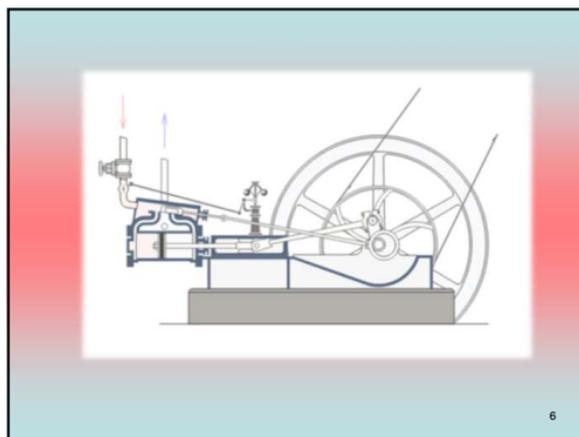
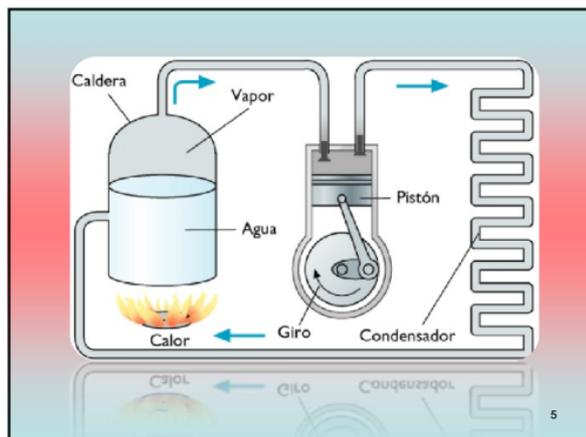
3

Sadi Carnot (1796 - 1832)

- Sistematizou a Termodinâmica, colocando limites físicos para a transformação de energia térmica em trabalho
- Teoria do Calórico e a sua conservação (indestrutível)
- Máquina a vapor reversível
- Equivalente mecânico do calor: 3,62J/cal
- Esboça a possibilidade de transformações recíprocas das diferentes formas de energia

1824

4



Teoria do Calórico

Antoine Laurent Lavoisier considerava o calor como um fluido elástico, indestrutível e imponderável, designado por calórico. Um corpo mais quente tinha mais calórico do que um frio e os fenômenos térmicos explicavam-se por trocas de calórico entre os corpos. Esta teoria denominada Teoria do Calórico foi sendo posta em causa desde a sua apresentação.

Só nos finais do século XVIII se pôs de parte esta falsa concepção, através de um jovem americano chamado, *Benjamin Thompson*, conde de Rumford. Os trabalhos de *Rumford* levaram à substituição da Teoria do Calórico pelo conceito de calor como energia em movimento.

7

“Ninguém ignora que o calor pode ser a causa do movimento. Que ele possui até uma grande potência motriz: as máquinas a vapor, hoje tão espalhadas, são uma prova eloquente para quem tiver olhos para ver.”

Carnot

8

“É impossível extrair trabalho do calor, sem ao mesmo tempo, descartar algum calor”

Joule

9

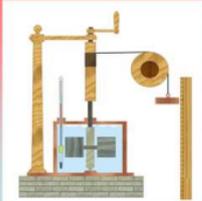
- Carnot (1824) percebeu que o condensador era indispensável em um processo cíclico e que representava uma ineficiência intrínseca e irremovível do processo, já que parte do calor que a caldeira fornecia e que não se transformava em trabalho no pistão era transferida para fora da máquina. Parte do calor sempre sobrava e precisava ser retirada.
- Após sua morte em 1832, surgiram várias notas, nas quais ele mostrava que tinha abandonado a teoria do Calórico e sugerido que na sua máquina o que se conservava era a energia e não o calor.
- Mas já era tarde, Kelvin e Clausius tinham formulado precisamente o segundo princípio da termodinâmica
- A máquina de Carnot é a máquina ideal cujo rendimento não pode ser superado. Ela opera entre 2 reservatórios (máquina térmica + refrigerador) e consegue o rendimento máximo em vista das outros processos térmicos.

10

Mayer

1842

- Seus trabalhos teóricos introduziram claramente a noção de equivalência entre calor e trabalho
- Equivalente mecânico do calor: 3,56 J/cal



Joule

1845

- Seus trabalhos experimentais definiram precisamente o equivalente mecânico de calor.
- Derrubou a teoria do calórico
- O calor era conservado e devia ser uma forma de energia
- Que o calor e a energia mecânica podem ser considerados manifestações diferentes da mesma quantidade física: a energia
- Teoria da Conservação da Energia (Lord Kelvin, 1851)

11

1ª Lei da Termodinâmica

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

Onde:

Q → Quantidade de Calor
 τ → Trabalho
 ΔU → Variação da energia interna

12

$\Delta U = Q - \tau$

$\Delta U > 0$
T aumenta

$\Delta U < 0$
T diminui

$\Delta U = 0$
T constante

$Q > 0$
recebe calor

$Q < 0$
perde calor

$Q = 0$
adiabática

$\tau > 0$
expansão
Perde E_M

$\tau < 0$
compressão
Ganha E_M

$\tau = 0$
Isométrica

Principais Transformações

Isotérmica (T → constante)
 • $\Delta U = 0 \rightarrow Q = \tau$

Isométrica (V → constante)
 • $\tau = 0 \rightarrow Q = \Delta U$

Isobárica (p → constante)
 • $\tau = p \cdot \Delta V \rightarrow Q - p \cdot \Delta V = \Delta U$

Cíclica
 • $\Delta U = 0 \rightarrow Q = \tau$

Adiabática (Não troca calor)
 • $Q = 0 \rightarrow \tau = -\Delta U$

14

Energia de Joule

James Prescott Joule foi uma vez O revolucionário industrial inglês quem fez Uso da sua jovem potencial energia Ligando-se na conservação que existia Enquanto transformava energia em energia

De tanto tratar de tal tema Acabou virando unidade do sistema

(Washington Lérias)

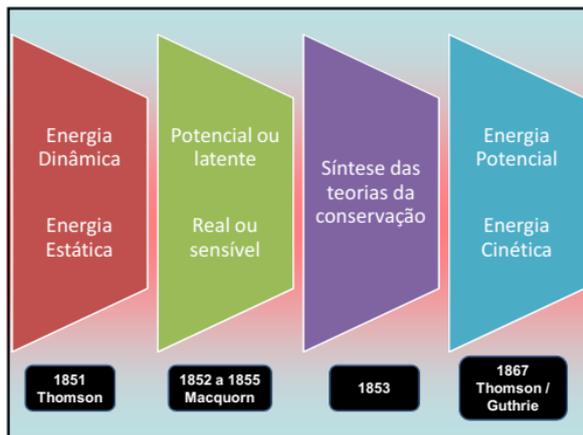
15

1847

"[...] chegamos a conclusão de que a natureza como um todo possui um estoque de energia que não pode de forma alguma ser aumentado ou reduzido; e que, por conseguinte, a quantidade de energia na natureza é tão eterna e inalterável como a quantidade de matéria. Expressa desta forma, chamei esta lei geral de Princípio da Conservação da Energia"

Herman Von Helmholtz

16



Rudolf Clausius (1822 - 1888)

1850

- Rejeitou a teoria do calórico
- O calor como uma função de estado do sistema. O estado macroscópico de um sistema termodinâmico simples fechado pode ser definido pelas variáveis P, V e T.

“O calor flui **naturalmente** de um reservatório quente para um frio, mas nunca ao contrário”

- Em 1834, Clausius reformula a 2ª lei e introduz o conceito de **valor de equivalência** de uma transformação térmica, medido pela relação entre a quantidade de calor e a temperatura na qual ocorria a transformação.



18

“Não é possível transformar calor de uma **fonte quente** (Q_q) em trabalho (τ) sem haver perdas para uma **fonte fria** (Q_f)”

τ (trabalho efetuado) = Q (calor líquido absorvido)

19

MÁQUINA TÉRMICA

•RENDIMENTO (n)

$$n = \frac{\tau}{Q_q} = \frac{Q_q - |Q_f|}{Q_q} = 1 - \frac{|Q_f|}{Q_q}$$

20

REFRIGERADORES

•COEFICIENTE DE EFICIÊNCIA (COE)

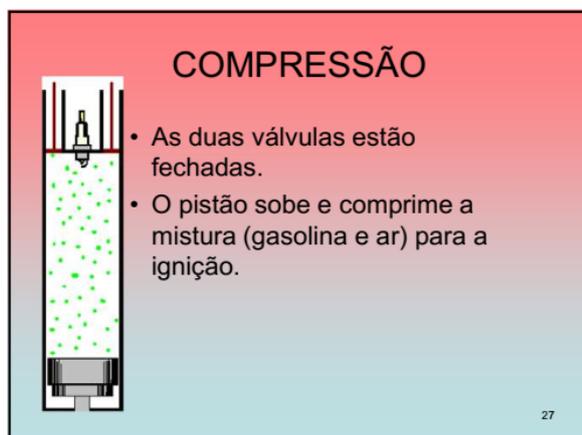
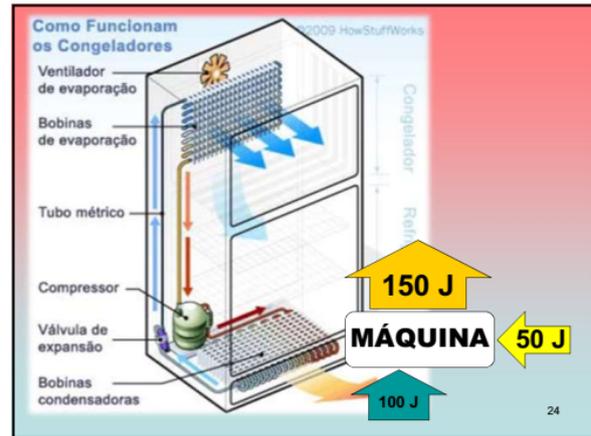
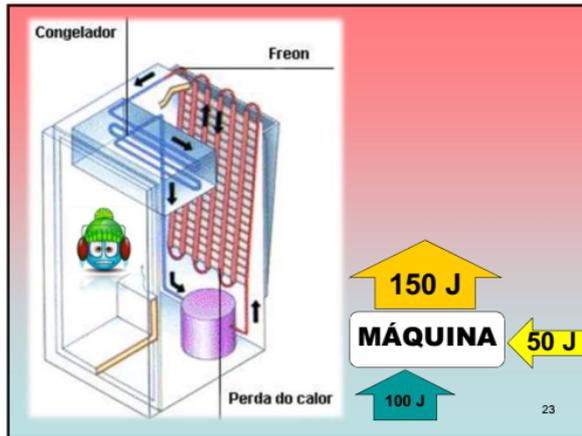
$$COE = \frac{Q_f}{\tau}$$

21

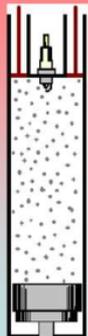
Fluidos frigoríferos (refrigerante):

- A amônia (NH₃), cloreto de metil (CH₃Cl), e dióxido de enxofre (SO₂), refrigerantes altamente adequados, porém tóxicos.
- 1930 - clorofluorcarbonetos (CFCs). Danos a Troposfera
- 1990 - CFCs foram trocados pelos hidroclorofluorcarbonetos (HCFCs) e pelos hidrofluorcarbonetos (HFCs).

22



DESCARGA

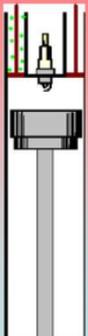


- Válvula de descarga aberta.
- O pistão sobe e expulsa os gases queimados.



29

CICLO OTTO




30

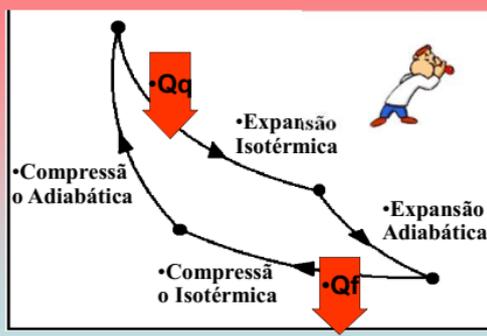
CICLO DE CARNOT

“Nenhuma máquina térmica que opera entre dois reservatórios térmicos, pode ser mais eficiente do que uma máquina reversível que opera entre os mesmos dois reservatórios.”
Teorema de Carnot

•RENDIMENTO NO CICLO DE CARNOT (n)

$$n = 1 - \frac{T_f}{T_q}$$

31



32

- Distinguiu os processos reversíveis dos irreversíveis
- Em 1865 propôs o termo **Entropia**

1865

“Em qualquer transformação que se produza num sistema isolado, a entropia do sistema aumenta ou permanece constante. Não há, portanto qualquer sistema térmico perfeito no qual todo o calor é transformado em trabalho. Existe sempre uma determinada perda de energia”

Varição da Entropia → Medida da “degradação” do calor ao passar de uma dada temperatura para outra mais baixa.

33

Ludwig Boltzmann (1822 - 1888)

- Procurou uma interpretação mecânica da Entropia, por meio de probabilidades
- Foi o primeiro e o mais ativo defensor da idéia de explicar os fenômenos macroscópicos (pressão, temperatura, etc.) através de interações entre átomos e moléculas em constante movimento.
- Planck inseriu a constante de Boltzmann e a equação da entropia na literatura



1900

34

- No final do século 19, porém, muitos físicos e químicos de renome não aceitavam a idéia de que a matéria é descontínua. As opiniões de Boltzmann foram contestadas com veemência por Ernest Mach e Wilhelm Ostwald e as desavenças, em certos momentos, saíram da arena puramente científica, entrando na disputa pessoal.
- Pouco tempo depois de sua morte as evidências experimentais da validade de suas idéias começaram a se acumular rapidamente. Medidas de J. Perrin, em 1908, mostraram de forma inequívoca a existência e o movimento dos átomos e moléculas e sua concordância perfeita com as previsões teóricas de Boltzmann. Juntamente com o americano Josiah Gibbs, que trabalhou na mesma linha que ele, de forma independente, Boltzmann é considerado o criador da Mecânica Estatística

35

Walter Nernst (1864 - 1941)

1903

- Químico e Físico alemão
- A entropia de um sistema no zero absoluto é uma constante universal

"É impossível reduzir a zero a entropia de um sistema"

"É impossível esfriar um sistema até o zero absoluto em um tempo finito"



36

Entropia

Tabela 1: Conceito de Entropia em Termos de Classes

Classe 1	<u>Entropia como indisponibilidade da energia.</u> Neste contexto a entropia é tratada, ou seja, associada ao conceito de energia. E diz-se, que é mensurado como indisponibilidade de energia, ou seja, quanto mais se "desperdiça" a energia maior é a entropia.
Classe 2	<u>Entropia como desordem.</u> Neste contexto a entropia é associada ao conceito de desorganização, ou seja, quanto mais "bagunçado" é um sistema, maior é a entropia. A entropia é caracterizada como desorganização.
Classe 3	<u>Entropia como estatística.</u> Neste contexto a entropia é associada ao número de possibilidades de um mesmo sistema se apresentar. A entropia é a medida do número de estados possíveis que um sistema pode se encontrar.

37

Lei Zero da Termodinâmica

- Essa lei baseada no Equilíbrio Térmico só apareceu da década de 1930
- Formalmente definida por Ralph Fowler e Guggenheim
- Evidenciou o conceito da grandeza Temperatura
- Proporciona uma maneira empírica de definir temperatura, além de estabelecer um processo operacional de como medi-la



38

QUENTE OU FRIO?

No frio eu me arrepio
 No quente fico ardente
 É frio no fundo do rio
 É quente no interior da gente
 É frio quando na noite **gio**
 Quente no dia de calor latente
 O quente sente o frio
 E o frio sente o quente
 Quando há o contato nato
 O quente esfria a sua energia
 E o frio se esquenta de fato
 Até que a parte quente não sente a fria
 E a fria não mais sente a quente

(Washington Lérias)

gio = verbo gear na primeira pessoa, como se o narrador pudesse gear com o efeito da geodg



B. LISTA DE EXERCÍCIOS COMPLEMENTAR



1. Kitéria, aprovada em Física neste bimestre, foi em férias para Caldas Novas com seu namorado Tungstênio. Caldas Novas é conhecida internacionalmente por ter o maior manancial hidrotermal do mundo, bastante disputada por vários turistas. Ela entrou num lago naturalmente aquecido, mas não suportou ficar por muito tempo, e exclamou: Ai que calor!!!. Kitéria expressou-se corretamente, de acordo com o conhecimento científico? Justifique.
2. A professora de Física é uma ótima cozinheira, tanto que a sua especialidade é um tradicional prato da cozinha brasileira: miojo! No processo de fervura dessa delícia gastronômica conseguimos observar vários exemplos de propagação do calor. Coloquei a panela no fogo, 3 minutos depois meu miojo estava pronto, após isso aproximei minha mão da panela e senti que ela aqueceu. Mamãe sempre diz que para resfriar o miojo mais rápido é necessário colocar a panela num recipiente com água fria (temperatura ambiente) e ficar mexendo com uma colher. Esse método realmente funciona? Descreva os processos de propagação de calor que estão inseridos nesse contexto.
3. No fim de semana fui a um rodízio de pizza e pedi ao garçom que me trouxesse um refrigerante em lata. Percebi que no freezer constava 5°C . A pressão do líquido contido na lata é de 1140 mmHg. Admitindo que o fluido se comporte como um gás ideal, calcule a pressão da lata quando estiver sobre a mesa.
4. Fui preparar o café da manhã para mim e meu irmão caçula. Eu prefiro tomar achocolatado com leite quente, já o caçula prefere com leite gelado. Se eu colocar a mesma quantidade de achocolatado nos dois copos ao mesmo tempo, qual vai dissolver primeiro? Justifique.
5. - Pô Novalgino, tô te esperando na lanchonete tem um tempão, o que você fez da sua casa até a escola?
 - Bem, eu acordei, escovei os dentes, tomei café-da-manhã...
 - Espera aê, mas o que você tomou no café da manhã?
 - Hum, tomei achocolatado e comi um pão.
 - Legal, e depois o que você fez?
 - Saí atrasado de casa, tive que correr muito pra não perder o ônibus, mas cheguei à escola no horário.

- Bom, o cardápio que tenho aqui diz que um pão tem 140 calorias e o achocolatado tem 200 calorias. E meu professor de Educação Física disse que numa corrida de 5 minutos perco cerca de 250 J. Mesmo assim sobrou alguma energia pra você está aqui, quanto será essa energia (U)?

6. As 3 leis da Termodinâmica estão associadas à diversos fenômenos em nosso cotidiano. Com o intuito de aguçar o senso crítico, julgue os itens.

- a) (C) (E) Máquina térmica, na Física, é um termo que designa sistemas capazes de realizar trocas de calor e de trabalho com o meio.
- b) (C) (E) As máquinas térmicas são caracterizadas por funcionarem em ciclos.
- c) (C) (E) Um refrigerador não pode ser considerado máquina térmica porque realiza um trabalho negativo.
- d) (C) (E) Uma caldeira industrial, o motor de um carro e o corpo humano podem ser considerados exemplos de máquinas térmicas.
- e) (C) (E) Carnot idealizou um ciclo totalmente reversível com o qual se obteria o máximo rendimento possível.
- f) (C) (E) Calor e trabalho podem ser expressos na mesma unidade de medida.
- g) (C) (E) As transformações que compõem o ciclo de Carnot são todas reversíveis. A máquina térmica que opera em ciclo de Carnot apresentará rendimento máximo, usando-se vapor de água como agente de transformação.
- h) (C) (E) Ciclo termodinâmico é um processo em que uma máquina térmica ou um sistema termodinâmico volta a seu estado inicial.
- i) (C) (E) Não existe máquina térmica que transforme todo calor de uma fonte em trabalho.
- j) (C) (E) A diluição de uma gota de tinta em um copo de água é um exemplo de processo reversível.
- k) (C) (E) Em todo processo isolado irreversível, a entropia total do sistema sempre aumenta.
- l) (C) (E) O rendimento de uma máquina térmica é a razão entre o trabalho realizado pela máquina num ciclo e o calor retirado do reservatório quente nesse ciclo.
- m) (C) (E) Os refrigeradores são máquinas térmicas que transferem calor de um sistema de menor temperatura para outro a uma temperatura mais elevada.
- n) (C) (E) É possível construir uma máquina, que opera em ciclos, cujo único efeito seja retirar calor de uma fonte e transformá-lo integralmente em trabalho.
- o) (C) (E) As válvulas de um motor têm como função gerenciar a entrada e saída do combustível no cilindro.
- p) (C) (E) Uma máquina térmica bem projetada pode chegar a uma eficiência de 100%.
- q) (C) (E) O calor flui naturalmente da fonte fria para a fonte quente.

- r) (C) (E) Quanto maior a diferença entre a temperatura da fonte fria e a temperatura da fonte quente mais eficiente é uma máquina térmica.
- s) (C) (E) Um refrigerador é um exemplo da máquina de Carnot, quando o ciclo segue primeiro o processo isotérmico, depois o processo adiabático e assim por diante até completar o ciclo.
- t) (C) (E) Numa expansão isotérmica de um gás ideal, o trabalho mecânico é proporcional a temperatura do gás.
7. Encontrou-se um projeto muito antigo de um fusca. Segundo suas especificações, após a tradução para a linguagem contemporânea da Física, a energia fornecida à máquina, por calor, era de 7,0 KJ vinda de uma fonte a 400K e a energia rejeitada para uma fonte fria a 300K era de 4,2 KJ. Calcule o rendimento desse motor.
8. O ar dentro de um automóvel fechado (nosso fusca) tem massa de 3kg e calor específico de $20\text{J}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$. Considere que o motorista perde calor a uma taxa constante de 120 J/s e que o aquecimento do ar confinado se deva exclusivamente ao calor emanado pelo motorista. Quanto tempo levará para a temperatura variar de 24°C a 34°C ?
9. Físico e engenheiro francês, Nicolas Léonard Sadi Carnot, assumiu (1827) o posto de capitão de engenharia no Exército francês, mas trocou a carreira militar (1828) para se dedicar às pesquisas científicas. Considerado o fundador da ciência da Termodinâmica, a partir de sua famosa tese *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance* (1824), demonstrando que o rendimento teórico máximo de qualquer máquina térmica não depende das propriedades dos fluidos e sim das temperaturas dos corpos entre os quais se processa em última instância a transferência de calor - o Princípio ou Ciclo de Carnot ou segunda lei da termodinâmica, que constituiria mais tarde a base da termodinâmica. Morreu vitimado pela cólera em Paris e, embora básica para o progresso da termodinâmica, sua obra permaneceu ignorada por seus contemporâneos durante cerca de dez anos, até que Émile Clapeyron a divulgou no *Journal de l'École Polytechnique*.
10. Um motor de combustão utilizado em um tanque de guerra foi projetado de tal forma que é capaz de realizar, em alguns ciclos, um trabalho de 200J, retirando 2000J de calor de uma fonte quente e transferindo 1800J para uma fonte fria. As temperaturas das fontes fria e quente valem 300K e 600K, respectivamente. Calculando o rendimento desse motor e comparando-a com o rendimento de uma máquina de Carnot, que opera entre essas mesmas duas fontes térmicas, podemos afirmar que a eficiência (rendimento) dessa máquina é de:
- a) 90% e é fisicamente impossível, pois se encontra acima do rendimento de uma máquina de Carnot;
- b) 90% e está abaixo do rendimento de uma máquina de Carnot;
- c) 20% e está abaixo do rendimento de uma máquina de Carnot;
- d) 10% e está abaixo do rendimento de uma máquina de Carnot.

- e) 100% e é uma máquina ideal.
11. Quando dois corpos, de materiais diferentes e massas iguais, estão em equilíbrio térmico (Lei Zero da Termodinâmica) podemos afirmar que:
- a) Ambos possuem a mesma temperatura;
 - b) Ambos possuem a mesma capacidade térmica;
 - c) Ambos possuem a mesmo calor específico;
 - d) Ambos possuem a mesma variação térmica;
 - e) Ambos possuem a mesma quantidade de calor.
12. No século XVII, uma das interpretações para a natureza do calor considerava-o um fluido ponderável, calórico, que preenchia os espaços entre os átomos dos corpos quentes. Essa interpretação explicava corretamente alguns fenômenos, porém falhava em outros, principalmente quando em uso na construção de máquinas de guerra: canhões, tanques, dentre outros. Isso motivou a proposição de uma outra interpretação, que teve origem em trabalhos de Mayer, Rumford e Joule, entre outros pesquisadores. Com relação aos conceitos de temperatura, calor e trabalho atualmente aceitos pela Física, assinale a que melhor define o conceito apresentado.
- a) Temperatura e calor representam o mesmo conceito físico.
 - b) Calor e trabalho não estão relacionados com transferência de energia.
 - c) A temperatura de um gás está relacionada com a energia cinética de agitação de suas moléculas.
 - d) No processo de fusão de um metal, a temperatura nunca permanece constante.
13. Um dos filmes de maior bilheteria de 2015 foi, sem dúvida, Interestelar. A mescla de um mundo pré-apocalíptico e a curiosidade incessante do homem em conhecer o Universo, torna o filme um deleite para os cinéfilos de plantão. No filme são retratados diversos fenômenos físicos relevantes tanto para uma possível odisseia no espaço quanto para entender melhor o seu cotidiano. Sabendo disso, explique a definição do termo Entropia e o relacione com as leis da Termodinâmica (máquinas a vapor, motores, energia, etc.).
14. Até 1824 acreditava-se que as máquinas térmicas, cujos exemplos são as máquinas a vapor e os atuais motores a combustão, poderiam ter um funcionamento ideal. Sadi Carnot demonstrou a impossibilidade de uma máquina térmica, funcionando em ciclos entre duas fontes térmicas (uma quente e outra fria), obter 100% de rendimento. Tal limitação ocorre porque essas máquinas
- a) realizam trabalho mecânico.
 - b) produzem aumento da entropia.
 - c) utilizam transformações adiabáticas.
 - d) contrariam a lei da conservação de energia.

- e) funcionam com temperatura igual à da fonte quente.
15. Para a instalação de um aparelho de ar-condicionado, é sugerido que ele seja colocado na parte superior da parede do cômodo, pois a maioria dos fluidos (líquidos e gases), quando aquecidos, sofrem expansão, tendo sua densidade diminuída e sofrendo um deslocamento ascendente. Por sua vez, quando são resfriados, tornam-se mais densos e sofrem um deslocamento descendente. A sugestão apresentada no texto minimiza o consumo de energia, porque
- a) diminui a umidade do ar dentro do cômodo.
 - b) aumenta a taxa de condução térmica para fora do cômodo.
 - c) torna mais fácil o escoamento da água para fora do cômodo.
 - d) facilita a circulação das correntes de ar frio e quente dentro do cômodo.
 - e) diminui a taxa de emissão de calor por parte do aparelho para dentro do cômodo.
16. O motor de combustão interna, utilizado no transporte de pessoas e cargas, é uma máquina térmica cujo ciclo consiste em quatro etapas: admissão, compressão, explosão/expansão e escape. Essas etapas estão representadas no diagrama da pressão em função do volume. Nos motores a gasolina, a mistura ar/combustível entra em combustão por uma centelha elétrica. Para o motor descrito, em qual ponto do ciclo é produzida a centelha elétrica?
- a) A
 - b) B
 - c) C
 - d) D
 - e) E
17. Num experimento, um professor deixa duas bandejas de mesma massa, uma de plástico e outra de alumínio, sobre a mesa do laboratório. Após algumas horas, ele pede aos alunos que avaliem a temperatura das duas bandejas, usando para isso o tato. Seus alunos afirmam, categoricamente, que a bandeja de alumínio se encontra numa temperatura mais baixa. Intrigado, ele propõe uma segunda atividade, em que coloca um cubo de gelo sobre cada uma das bandejas, que estão em equilíbrio térmico com o ambiente, e os questiona em qual delas a taxa de derretimento do gelo será maior. O aluno que responder corretamente ao questionamento do professor dirá que o derretimento ocorrerá
- a) mais rapidamente na bandeja de alumínio, pois ela tem uma maior condutividade térmica que a de plástico.
 - b) mais rapidamente na bandeja de plástico, pois ela tem inicialmente uma temperatura mais alta que a de alumínio.
 - c) mais rapidamente na bandeja de plástico, pois ela tem uma maior capacidade térmica que a de alumínio.

- d) mais rapidamente na bandeja de alumínio, pois ela tem um calor específico menor que a de plástico.
 - e) com a mesma rapidez nas duas bandejas, pois apresentarão a mesma variação de temperatura.
18. Diante de um ciclo de Carnot, onde pode se indicar a maior temperatura:
- a) AB
 - b) somente no ponto A
 - c) CD
 - d) BC
 - e) DA
19. No mesmo ciclo da questão anterior, onde podemos verificar que a variação da energia interna é zero:
- a) AB e CD
 - b) somente AB
 - c) somente BC
 - d) BC e DA
 - e) somente DA

C. QUESTIONÁRIO

1. Você consegue associar o texto com os vídeos exibidos?

2. Quais pontos te chamaram atenção no documentário?

3. Há alguma relação entre as máquinas exibidas e o seu cotidiano?

4. Quais as principais contribuições ocorridas ao longo da Revolução Industrial?

5. Qual o impacto do desenvolvimento das máquinas a vapor nos dias de hoje?

6. Há alguma relação entre o desenvolvimento das máquinas e o meio ambiente?

7. Cite, no mínimo, dez situações do seu dia a dia que remeta a alguma aplicação da Termodinâmica.

D. TEXTO SOBRE TERMODINÂMICA



Os pioneiros da Termometria não foram guiados por um entendimento claro das propriedades que eles queriam medir, mas avançaram por tentativa e erro, à procura de um correspondente objetivo, quantitativo, daquelas experiências subjetivas, qualitativas, que eram descritas como frio, morno, quente. Valia a pena o esforço? Havia uma expectativa razoável de sucesso? As respostas a essas questões não são óbvias. Mas na Europa do século XVII o interesse em medidas quantitativas estava no ar. Havia bastante gente tentando provar ideias sobre medidas de temperatura, contribuindo para que essa questão se resolvesse num período de pouco mais de um século.

Em termos gerais, a termometria é baseada na observação de que as variações fisiológicas no grau de quentura correspondem a várias mudanças físicas em determinados sistemas. A expansão do ar durante o aquecimento já era conhecida nos tempos da Grécia antiga, mas a ideia de utilizar esse fenômeno para propósitos termodinâmicos ocorreu provavelmente pela primeira vez a Galileu, por volta de 1600. O instrumento de Galileu era um bulbo de vidro contendo ar com uma longa haste estendida para baixo, dentro de um recipiente com água. A mudança de volume era considerada como uma mudança de temperatura. A preparação de capilares (tubos) mais finos, tornou possível a utilização de líquidos como substâncias termométricas. Mais tarde, em torno de 1700, quando as propriedades dos gases estavam mais bem estabelecidas e já era possível controlar a pressão, o termômetro a gás tornou a merecer todo o respeito. Ao longo do tempo, foram construídos diversos termômetros com inúmeras substâncias diferentes: água, álcool, óleo e assim por diante. Não é óbvio que a natureza nos forneça pontos fixos; de fato, as primeiras escalas de temperatura foram baseadas em pontos de referência pouco satisfatórios.

Ao colocar leite quente em uma caneca e esperar que as substâncias atinjam uma temperatura final comum permite determinar se as suas temperaturas eram originalmente diferentes e qual delas era maior, que mais recentemente tem sido reconhecido como a lei zero da termodinâmica. Dessa forma, podemos estabelecer marcações correspondentes às mesmas temperaturas em diferentes escalas.

A metade do século XVII testemunhou uma série de desenvolvimentos que levaram uma mudança radical do clima intelectual. Começa uma grande discussão sobre a natureza do calor: Fluido ou energia? Atenção: o termo energia como conhecemos hoje em dia, ainda não era utilizado, quiçá bem compreendido.

Também foi nessa época que nasceu o que chamamos de Revolução Industrial. Nesse período, o processo de produção nas fábricas passou a ser mecanizado, aumentando a produção de bens de consumo e, conseqüentemente a expansão de indústrias e de um mercado até então inexistente.

Nas mãos de Euler e Black, a concepção de fluido produziu descobertas fundamentais em física matemática. O aluno de Black, James Watt, é lembrado até hoje pelas suas descobertas e invenções no domínio das máquinas térmicas. De fato, os desenvolvimentos mais significativos do período entre 1760 e 1850 são todos fenomenológicos, podendo ser discutidos sem referências às ideias especulativas predominantes. O rigor impressionante da Termodinâmica foi conseguido evitando quaisquer especulações microscópicas.

Em 1859, as descobertas de Rudolf Clausius abriram espaço para a teoria cinética e a mecânica estatística de Maxwell, Boltzmann e Gibbs. A hipótese molecular finalmente conseguiu provar o seu valor. Através de longas cadeias de raciocínio matemático, foi possível relacioná-las às observações que já tinham sido descritas pela teoria fenomenológica.

Uma teoria pioneira envolvendo simultaneamente as ideias de conservação e conversão foi proposta em 1824 pelo jovem engenheiro militar francês Sadi Carnot. A riqueza de ideias extraordinariamente originais coloca esse trabalho entre os desenvolvimentos mais brilhantes da física teórica. Carnot abordou um problema de engenharia, o rendimento das máquinas térmicas, em termos de conceitos inteiramente novos, que ele mesmo desenvolveu, e que acabaram se revelando de fundamental importância em física e química.

A máquina de Carnot consiste de um determinado sistema, dois reservatórios, e um dispositivo puramente mecânico, por exemplo, uma mola, capaz de armazenar ou liberar energia mecânica sem introduzir quaisquer efeitos térmicos, constituindo sem dúvida mais uma idealização. Passados 194 anos, teríamos condições de criar uma máquina que funcionasse de acordo com o ciclo de Carnot?

(Texto adaptado) Fonte: A Evolução dos Conceitos da Termodinâmica Laszlo Tisza