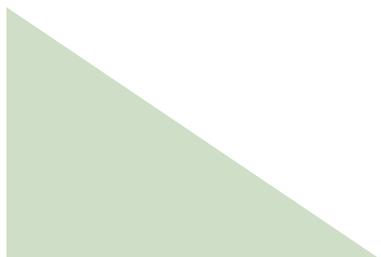


caderno do  
**PROFESSOR**

# FÍSICA



ensino médio  
**2ª SÉRIE**  
volume 2 - 2009





## GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

Governador  
**José Serra**

Vice-governador  
**Alberto Goldman**

Secretário da Educação  
**Paulo Renato Souza**

Secretário-adjunto  
**Guilherme Bueno de Camargo**

Chefe de Gabinete  
**Fernando Padula**

Coordenadora de Estudos e Normas Pedagógicas  
**Valéria de Souza**

Coordenador de Ensino da Região Metropolitana da Grande São Paulo  
**José Benedito de Oliveira**

Coordenadora de Ensino do Interior  
**Rubens Antonio Mandetta**

Presidente da Fundação para o Desenvolvimento da Educação – FDE  
**Fábio Bonini Simões de Lima**

### EXECUÇÃO

**Coordenação Geral**  
Maria Inês Fini

**Concepção**  
Guiomar Namó de Mello  
Lino de Macedo  
Luís Carlos de Menezes  
Maria Inês Fini  
Ruy Berger

### GESTÃO

Fundação Carlos Alberto Vanzolini

**Presidente do Conselho Curador:**  
Antonio Rafael Namur Muscat

**Presidente da Diretoria Executiva:**  
Mauro Zilbovicius

**Diretor de Gestão de Tecnologias aplicadas à Educação:**  
Guilherme Ary Plonski

**Coordenadoras Executivas de Projetos:**  
Beatriz Scavazza e Angela Sprenger

### COORDENAÇÃO TÉCNICA

CENP – Coordenadoria de Estudos e Normas Pedagógicas

### Coordenação do Desenvolvimento dos Conteúdos Programáticos e dos Cadernos dos Professores

Ghisleine Trigo Silveira

### AUTORES

#### Ciências Humanas e suas Tecnologias

**Filosofia:** Paulo Miceli, Luiza Christov, Adilton Luís Martins e Renê José Trentin Silveira

**Geografia:** Angela Corrêa da Silva, Jaime Tadeu Oliva, Raul Borges Guimarães, Regina Araujo, Regina Célia Bega dos Santos e Sérgio Adas

**História:** Paulo Miceli, Diego López Silva, Glaydson José da Silva, Mônica Lungov Bugelli e Raquel dos Santos Funari

**Sociologia:** Heloisa Helena Teixeira de Souza Martins, Marcelo Santos Masset Lacombe, Melissa de Mattos Pimenta e Stella Christina Schrijnemaekers

#### Ciências da Natureza e suas Tecnologias

**Biologia:** Ghisleine Trigo Silveira, Fabiola Bovo Mendonça, Felipe Bandoni de Oliveira, Lucilene Aparecida Esperante Limp, Maria Augusta Querubim Rodrigues Pereira, Olga Aguiar Santana, Paulo Roberto da Cunha, Rodrigo Venturoso Mendes da Silveira e Solange Soares de Camargo

**Ciências:** Ghisleine Trigo Silveira, Cristina Leite, João Carlos Miguel Tomaz Micheletti Neto, Julio César Foschini Lisbôa, Lucilene Aparecida Esperante Limp, Maira Batistoni e Silva, Maria Augusta Querubim Rodrigues Pereira, Paulo Rogério Miranda Correia, Renata Alves Ribeiro, Ricardo Rechi Aguiar, Rosana dos Santos Jordão, Simone Jaconetti Ydi e Yassuko Hosoume

**Física:** Luis Carlos de Menezes, Sonia Salem, Estevam Rouxinol, Guilherme Brockington, Ivã Gurgel, Luís Paulo de Carvalho Piassi, Marcelo de Carvalho Bonetti, Maurício Pietrocola Pinto de Oliveira, Maxwell Roger da Purificação Siqueira e Yassuko Hosoume

**Química:** Denilse Morais Zambom, Fabio Luiz de Souza, Hebe Ribeiro da Cruz Peixoto, Isis Valença de Sousa Santos, Luciane Hiromi Akahoshi, Maria Eunice Ribeiro Marcondes, Maria Fernanda Penteadó Lamas e Yvone Mussa Esperidião

### Linguagens, Códigos e suas Tecnologias

**Arte:** Geraldo de Oliveira Suzigan, Gisa Picosque, Jéssica Mami Makino, Mirian Celeste Martins e Sayonara Pereira

**Educação Física:** Adalberto dos Santos Souza, Jocimar Daolio, Luciana Venâncio, Luiz Sanches Neto, Mauro Betti e Sérgio Roberto Silveira

**LEM – Inglês:** Adriana Ranelli Weigel Borges, Alzira da Silva Shimoura, Livia de Araújo Donnini Rodrigues, Priscila Mayumi Hayama e Sueli Salles Fidalgo

**Língua Portuguesa:** Alice Vieira, Débora Mallet Pezarim de Angelo, Eliane Aparecida de Aguiar, José Luís Marques López Landeira e João Henrique Nogueira Mateos

### Matemática

**Matemática:** Nilson José Machado, Carlos Eduardo de Souza Campos Granja, José Luiz Pastore Mello, Roberto Perides Moisés, Rogério Ferreira da Fonseca, Ruy César Pietropaolo e Walter Spinelli

### Caderno do Gestor

Lino de Macedo, Maria Eliza Fini e Zuleika de Felice Murrrie

### Equipe de Produção

**Coordenação Executiva:** Beatriz Scavazza

**Assessores:** Alex Barros, Antonio Carlos Carvalho, Beatriz Blay, Carla de Meira Leite, Eliane Yambanis, Heloisa Amaral Dias de Oliveira, José Carlos Augusto, Luiza Christov, Maria Eloisa Pires Tavares, Paulo Eduardo Mendes, Paulo Roberto da Cunha, Pepita Prata, Renata Elsa Stark, Solange Wagner Locatelli e Vanessa Dias Moretti

### Equipe Editorial

**Coordenação Executiva:** Angela Sprenger

**Assessores:** Denise Blanes, Luis Márcio Barbosa

**Projeto Editorial:** Zuleika de Felice Murrrie

**Edição e Produção Editorial:** Conexão Editorial, Aeroestúdio, Verba Editorial e Occy Design (projeto gráfico).

### APOIO

FDE – Fundação para o Desenvolvimento da Educação

### CTP, Impressão e Acabamento

Esdeva Indústria Gráfica

A Secretaria da Educação do Estado de São Paulo autoriza a reprodução do conteúdo do material de sua titularidade pelas demais secretarias de educação do país, desde que mantida a integridade da obra e dos créditos, ressaltando que direitos autorais protegidos\* deverão ser diretamente negociados com seus próprios titulares, sob pena de infração aos artigos da Lei nº 9.610/98.

\* Constituem "direitos autorais protegidos" todas e quaisquer obras de terceiros reproduzidas no material da SEE-SP que não estejam em domínio público nos termos do artigo 41 da Lei de Direitos Autorais.

Catálogo na Fonte: Centro de Referência em Educação Mario Covas

S239c São Paulo (Estado) Secretaria da Educação.

Caderno do professor: física, ensino médio - 2ª série, volume 2 / Secretaria da Educação; coordenação geral, Maria Inês Fini; equipe, Guilherme Brockington, Estevam Rouxinol, Ivã Gurgel, Luís Paulo de Carvalho Piassi, Marcelo de Carvalho Bonetti, Maurício Pietrocola Pinto de Oliveira, Maxwell Roger da Purificação Siqueira, Yassuko Hosoume. – São Paulo : SEE, 2009.

ISBN 978-85-7849-262-5

1. Física 2. Ensino Médio 3. Estudo e ensino I. Fini, Maria Inês. II. Brockington, Guilherme. III. Rouxinol, Estevam. IV. Gurgel, Ivã. V. Piassi, Luís Paulo de Carvalho. VI. Bonetti, Marcelo de Carvalho. VII. Oliveira, Maurício Pietrocola Pinto de. VIII. Siqueira, Maxwell Roger da Purificação. IX. Hosoume, Yassuko. X. Título.

CDU: 373.5:53



Prezado(a) professor(a),

Vinte e cinco anos depois de haver aceito o convite do nosso saudoso e querido Governador Franco Montoro para gerir a Educação no Estado de São Paulo, novamente assumo a nossa Secretaria da Educação, convocado agora pelo Governador José Serra. Apesar da notória mudança na cor dos cabelos, que os vinte e cinco anos não negam, o que permanece imutável é o meu entusiasmo para abraçar novamente a causa da Educação no Estado de São Paulo. Entusiasmo alicerçado na visão de que a Educação é o único caminho para construirmos um país melhor e mais justo, com oportunidades para todos, e na convicção de que é possível realizar grandes mudanças nesta área a partir da ação do poder público.

Nos anos 1980, o nosso maior desafio era criar oportunidades de educação para todas as crianças. No período, tivemos de construir uma escola nova por dia, uma sala de aula a cada três horas para dar conta da demanda. Aliás, até recentemente, todas as políticas recomendadas para melhorar a qualidade do ensino concentravam-se nas condições de ensino, com a expectativa de que viessem a produzir os efeitos desejados na aprendizagem dos alunos. No Brasil e em São Paulo, em particular, apesar de não termos atingido as condições ideais em relação aos meios para desenvolvermos um bom ensino, o fato é que estamos melhor do que há dez ou doze anos em todos esses quesitos. Entretanto, os indicadores de desempenho dos alunos não têm evoluído na mesma proporção.

O grande desafio que hoje enfrentamos é justamente esse: melhorar a qualidade de nossa educação pública medida pelos indicadores de proficiência dos alunos. Não estamos sós neste particular. A maioria dos países, inclusive os mais desenvolvidos, estão lidando com o mesmo tipo de situação. O Presidente Barack Obama, dos Estados Unidos, dedicou um dos seus primeiros discursos após a posse para destacar exatamente esse mesmo desafio em relação à educação pública em seu país.

Melhorar esses indicadores, porém, não é tarefa de presidentes, governadores ou secretários. É dos professores em sala de aula no trabalho diário com os seus alunos. Este material que hoje lhe oferecemos busca ajudá-lo nesta sua missão. Foi elaborado com a ajuda de especialistas e está organizado em bimestres. O Caderno do Professor oferece orientação completa para o desenvolvimento das Situações de Aprendizagem propostas para cada disciplina.

Espero que este material lhe seja útil e que você leve em consideração as orientações didático-pedagógicas aqui contidas. Estaremos atentos e prontos para esclarecer suas dúvidas e acatar suas sugestões para melhorar a eficácia deste trabalho.

Alcançarmos melhores indicadores de qualidade em nosso ensino é uma questão de honra para todos nós. Juntos, haveremos de conduzir nossas crianças e jovens a um mundo de melhores oportunidades por meio da educação.

**Paulo Renato Souza**

Secretário da Educação do Estado de São Paulo





# SUMÁRIO

<b>São Paulo faz escola – Uma Proposta Curricular para o Estado</b>	<b>5</b>
<b>Ficha do Caderno</b>	<b>7</b>
<b>Orientação sobre os conteúdos do bimestre</b>	<b>8</b>
<b>Tema 1 – Calor como energia</b>	<b>10</b>
Situação de Aprendizagem 1 – O equivalente mecânico do calor	11
Situação de Aprendizagem 2 – A máquina de Heron	18
Grade de Avaliação	22
Propostas de questões para aplicação em avaliação	23
<b>Tema 2 – Máquinas térmicas</b>	<b>25</b>
Situação de Aprendizagem 3 – Revolução Industrial e as máquinas térmicas	26
Situação de Aprendizagem 4 – Entrevista com um mecânico	29
Situação de Aprendizagem 5 – Entrevista com um técnico em refrigeração	36
Situação de Aprendizagem 6 – Pesquisando a potência e o rendimento	41
Grade de Avaliação	45
Propostas de questões para aplicação em avaliação	46
<b>Tema 3 – Entropia e degradação da energia</b>	<b>49</b>
Situação de Aprendizagem 7 – Uma pergunta intrigante: Por que temos de economizar energia já que a Física diz que ela não se perde?	49
Situação de Aprendizagem 8 – O balanço energético do Brasil e os ciclos de energia na Terra	54
Grade de Avaliação	58
Propostas de questões para aplicação em avaliação	58
<b>Proposta de Situação de Recuperação</b>	<b>61</b>
<b>Recursos para ampliar a perspectiva do professor e do aluno para a compreensão do tema</b>	<b>62</b>
<b>Considerações finais</b>	<b>63</b>





# SÃO PAULO FAZ ESCOLA – UMA PROPOSTA CURRICULAR PARA O ESTADO

Prezado(a) professor(a),

É com muita satisfação que apresento a todos a versão revista dos Cadernos do Professor, parte integrante da Proposta Curricular de 5ª a 8ª séries do Ensino Fundamental – Ciclo II e do Ensino Médio do Estado de São Paulo. Esta nova versão também tem a sua autoria, uma vez que inclui suas sugestões e críticas, apresentadas durante a primeira fase de implantação da proposta.

Os Cadernos foram lidos, analisados e aplicados, e a nova versão tem agora a medida das práticas de nossas salas de aula. Sabemos que o material causou excelente impacto na Rede Estadual de Ensino como um todo. Não houve discriminação. Críticas e sugestões surgiram, mas em nenhum momento se considerou que os Cadernos não deveriam ser produzidos. Ao contrário, as indicações vieram no sentido de aperfeiçoá-los.

A Proposta Curricular não foi comunicada como dogma ou aceite sem restrição. Foi vivida nos Cadernos do Professor e compreendida como um texto repleto de significados, mas em construção. Isso provocou ajustes que incorporaram as práticas e consideraram os problemas da implantação, por meio de um intenso diálogo sobre o que estava sendo proposto.

Os Cadernos dialogaram com seu público-alvo e geraram indicações preciosas para o processo de ensino-aprendizagem nas escolas e para a Secretaria, que gerencia esse processo.

Esta nova versão considera o “tempo de discussão”, fundamental à implantação da Proposta Curricular. Esse “tempo” foi compreendido como um momento único, gerador de novos significados e de mudanças de ideias e atitudes.





Os ajustes nos Cadernos levaram em conta o apoio a movimentos inovadores, no contexto das escolas, apostando na possibilidade de desenvolvimento da autonomia escolar, com indicações permanentes sobre a avaliação dos critérios de qualidade da aprendizagem e de seus resultados.

Sempre é oportuno lembrar que os Cadernos espelharam-se, de forma objetiva, na Proposta Curricular, referência comum a todas as escolas da Rede Estadual, revelando uma maneira inédita de relacionar teoria e prática e integrando as disciplinas e as séries em um projeto interdisciplinar por meio de um enfoque filosófico de Educação que definiu conteúdos, competências e habilidades, metodologias, avaliação e recursos didáticos.

Esta nova versão dá continuidade ao projeto político-educacional do Governo de São Paulo, para cumprir as dez metas do Plano Estadual de Educação, e faz parte das ações propostas para a construção de uma escola melhor.

O uso dos Cadernos em sala de aula foi um sucesso! Estão de parabéns todos os que acreditaram na possibilidade de mudar os rumos da escola pública, transformando-a em um espaço, por excelência, de aprendizagem. O objetivo dos Cadernos sempre será apoiar os professores em suas práticas de sala de aula. Posso dizer que esse objetivo foi alcançado, porque os docentes da Rede Pública do Estado de São Paulo fizeram dos Cadernos um instrumento pedagógico com vida e resultados.

Conto mais uma vez com o entusiasmo e a dedicação de todos os professores, para que possamos marcar a História da Educação do Estado de São Paulo como sendo este um período em que buscamos e conseguimos, com sucesso, reverter o estigma que pesou sobre a escola pública nos últimos anos e oferecer educação básica de qualidade a todas as crianças e jovens de nossa Rede. Para nós, da Secretaria, já é possível antever esse sucesso, que também é de vocês.

Bom ano letivo de trabalho a todos!

**Maria Inês Fini**

Coordenadora Geral  
Projeto São Paulo Faz Escola





# FICHA DO CADERNO

## Calor, ambiente e usos de energia

<b>Nome da disciplina:</b>	Física
<b>Área:</b>	Ciências da Natureza e suas Tecnologias
<b>Etapa da educação básica:</b>	Ensino Médio
<b>Série:</b>	2ª
<b>Período letivo:</b>	2º bimestre de 2009
<b>Temas e conteúdos:</b>	<p>O processo histórico da unificação entre calor e trabalho mecânico e o princípio de conservação da energia</p> <p>A conservação da energia em sistemas físicos (por exemplo, nas trocas de calor com mudança de estado físico, nas máquinas mecânicas e a vapor)</p> <p>O funcionamento das máquinas térmicas em termos de ciclos fechados. Calcular potência e rendimento de máquinas térmicas reais</p> <p>As fontes de energia na Terra, identificando as transformações e a degradação</p> <p>O ciclo de energia no Universo e sua influência nas fontes de energia terrestre</p> <p>Os balanços energéticos de alguns processos de transformação da energia na Terra</p> <p>As necessidades energéticas como problema da degradação de energia</p>





## O RIENTAÇÃO SOBRE OS CONTEÚDOS DO BIMESTRE

As Situações de Aprendizagem propostas neste Caderno representam uma possibilidade de trabalho com os temas propostos para a 2ª série do Ensino Médio, com enfoque nas máquinas térmicas, em uma perspectiva científica, histórica e tecnológica, envolvendo conteúdos e procedimentos relacionados à equivalência entre trabalho mecânico e calor e à conservação da energia e entropia.

Esses conteúdos permitem entender situações importantes da vida moderna, como o impacto das máquinas a vapor na Revolução Industrial, o funcionamento dos motores a combustão e as necessidades para a produção de energia em grande escala.

No tratamento dos conteúdos, optou-se prioritariamente pela abordagem experimental e pela realização de pesquisas e buscas de informação (bibliográficas ou de campo), seguidas de discussões em classe envolvendo diferentes dimensões do conhecimento, como as socio-históricas e tecnoeconômicas, relacionadas a situações reais e não apenas à resolução de problemas abstratos. Essa abordagem possibilita o desenvolvimento de competências relacionadas ao uso de linguagem científica específica para conceituar e quantificar as grandezas físicas; e para a construção de modelos capazes de representar tais grandezas.

Especial destaque foi dado ao desenvolvimento das máquinas térmicas nos séculos XVII e XVIII como resultado das mudanças nos meios de produção na Europa. Esse tema é afeito a parcerias e colaborações com outros domínios disciplinares, sugeridos ao longo do texto.

O Caderno tem início com uma experiência para medir o equivalente mecânico do ca-

lor, empregando materiais simples. Em seguida, trata da importância e do funcionamento das máquinas a vapor. O contexto da primeira Revolução Industrial situa o aparecimento das máquinas a vapor, substituindo o trabalho humano e animal. Um estudo de natureza histórica permite relacionar necessidades produtivas nas minas de carvão e na recente indústria têxtil com a invenção de máquinas baseadas na força motriz do fogo.

Dessa forma, as máquinas são associadas a necessidades sociais e não como fruto do acaso. Suas diversas etapas de desenvolvimento permitem qualificar a atividade tecnocientífica como um processo de sucessivas aproximações, sujeito a erros e superações, muitas vezes de profundas transformações nos modelos científicos, que envolvem imaginação e criatividade, além da razão.

Visitas ou trabalhos de campo são sugeridos para que os alunos iniciem o estudo das máquinas térmicas presentes no cotidiano. A partir de entrevistas com mecânicos automotivos e técnicos em refrigeração, os principais elementos presentes em motores e geladeiras são reconhecidos. Essas duas máquinas térmicas, que funcionam de maneiras opostas no que se refere ao emprego de fontes quentes e frias, permitem discutir e formalizar leis e princípios termodinâmicos importantes. Os ciclos de transformação no interior dessas máquinas reais são abordados até se chegar ao ciclo de máquinas ideais e à formulação do segundo princípio da termodinâmica.

O tema final deste Caderno retoma e aprofunda o estudo da energia na perspectiva atual em torno dos debates sobre escassez e necessidades de racionalização. A aparente contradição entre a conservação da energia e a necessidade de sua economia no atual contexto serve de pano de



fundo para um debate importante sobre as irreversibilidades de certas transformações e introduz o conceito de entropia. Dados sobre a matriz energética brasileira expandem essa discussão para as fontes de energia renováveis e não renováveis e os impactos de sua produção e uso no cotidiano.

O desenvolvimento da competência de relacionar informações para construir uma argumentação consistente está presente em vários momentos, especialmente na última Situação de Aprendizagem. A partir de dados sobre o balanço energético no Brasil e o ciclo natural da energia solar no planeta, os alunos são solicitados a discutir argumentos relativos à necessidade de racionalizar energia.

As estratégias utilizadas para o desenvolvimento dessas competências, com os conhecimentos específicos de Física, foram escolhidas de forma a valorizar a ação e a autonomia do aluno, os seus conhecimentos prévios e a interação dinâmica entre os estudantes e estes com o professor, em continuidade ao que vem sendo proposto em bimestres anteriores.

Para isso, é importante que se valorizem, seja na realização de atividades experimentais, ou ainda em pesquisas e buscas de informações, as diversas manifestações dos alunos, seus conhecimentos e hipóteses iniciais, os procedimentos experimentais, as formas de organização de dados e informações, suas sínteses e questões.

Uma postura investigativa não pode ser interpretada como mera execução de experimentos segundo receituário de etapas rígidas, com o objetivo de ilustrar ou comprovar um fenômeno, conceito ou teoria. Assim, ao propor um experimento, contextualize-o inicialmente para que os alunos compreendam seus objetivos, tenham em mente as questões ou desafios que pretendem

responder por meio de sua realização e discussão, reconheçam os problemas experimentais e discutam formas de reduzi-los.

Enfatize que os resultados da atividade não constituem seu principal objetivo, que muitas vezes o resultado não é aquele esperado, ou não é único e comum a todos. Mais importante que “acertar” é compreender o que, como e por que se chegou a uma conclusão, coerente com as observações feitas ou dados obtidos.

Explore as questões que afloram desde o início da Situação de Aprendizagem até seu término, explicitando conceitos e modelos e as questões em aberto que poderão ser retomadas em outros momentos.

Para complementar as discussões e os encaminhamentos das Situações de Aprendizagem, estão previstos momentos em que outras ações devem ser programadas por você, que são importantes para a adequação desta proposta ao trabalho com os grupos de alunos de cada sala de aula.

Nesses momentos, você poderá desenvolver uma programação voltada a demandas específicas da sua turma para complementar as atividades com definições mais formais dos conceitos, análises gráficas e resolução de exercícios numéricos que se encontram em muitos livros didáticos de Física do Ensino Médio.

Alguns materiais sugeridos no decorrer do Caderno são de uso livre para fins educacionais, como é o caso daqueles produzidos pelo Gref, pelo PEC, pelo Pró-Universitário e pelo NuPIC, que podem ser acessados de forma fácil e gratuita pela internet, nos endereços indicados no item **Recursos para ampliar a perspectiva do professor e do aluno para a compreensão do tema**.



## TEMA 1 – CALOR COMO ENERGIA

Produzir calor a partir do movimento é algo que os alunos podem facilmente vivenciar em seu dia a dia. Desde esfregar as mãos e martelar pregos, até se aquecer quando descem por um escorregador em um parque, ou ainda quando sentem o aquecimento de uma bomba manual ao encherem o pneu de uma bicicleta. A experiência corriqueira com o atrito evidencia a transformação de energia cinética em energia térmica. Tais transformações evidenciam que o calor, assim como o trabalho, é energia em trânsito ou formas de transmissão de energia.

Damos sequência ao estudo da Física Térmica a partir da relação entre calor e trabalho mecânico, que permite aplicar a conservação da energia em sistemas físicos, possibilitando a compreensão do funcionamento das máquinas mecânicas e a vapor.

### Apresentação da proposta

Até este momento, foi trabalhada a ideia de que o calor está associado a um tipo de vibração das partículas e que a temperatura é uma medida dessa vibração. Entretanto, uma discussão voltada à origem dessas ideias ou mesmo à existência de outras que se transformaram ao longo do tempo ainda não foi feita.

O trabalho com este enfoque permite conceituar a evolução da ciência e articulá-los com importantes fatos da história da teoria do calor. Com isso, pode-se tratar da equivalência entre energia mecânica e calor conduzindo-os à compreensão de que essa determinação foi uma das maiores revoluções conceituais da Física.

Os estudos de Joule mostraram que a energia é o conceito que governa todos os movimentos e interações entre os corpos. Na maioria dos livros didáticos, a equivalência entre calor e energia aparece apenas como uma fórmula  $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$ ,

como se esse valor fosse algo óbvio, que surge naturalmente, ou que essa equivalência representasse tão somente uma conversão de unidades. Geralmente, nada é dito sobre as inúmeras contendas envolvidas na compreensão e no desenvolvimento de uma teoria para o calor. Para isso, foi proposta a Situação de Aprendizagem 1, na qual se constrói um experimento que utiliza o conceito de equivalente mecânico do calor, as transformações de energia e seu princípio de conservação.

Por meio de discussões históricas, pode-se possibilitar a compreensão do contexto que resultou no surgimento da termodinâmica como campo de pesquisa no século XIX, iniciando uma etapa na ciência e na sociedade, a partir do aperfeiçoamento das máquinas térmicas.

Ainda que a elaboração e, sobretudo, a aceitação de uma teoria completa sobre o calor tenha demorado muito para acontecer, seu uso tecnológico teve início muito tempo antes.

As máquinas a vapor começaram a ser utilizadas com algum sucesso no século XVII. Contudo, a história delas é muito mais antiga e é resgatada na Situação de Aprendizagem 2, com a construção de um experimento inspirado na **máquina de Heron** de Alexandria, projetada no século I a.C.

Por meio desta atividade, pode-se discutir a possibilidade de uma máquina como essa, ao gerar movimento a partir da expansão de um gás, produzir trabalho útil. Esta discussão cria o pano de fundo ideal para o estudo das máquinas que operam em ciclo, conteúdo a ser trabalhado no próximo tema.

Com o encerramento deste tema, espera-se que os alunos estejam aptos a identificar a presença do calor, trabalho e energia em diferen-



tes fenômenos cotidianos; reconhecer o calor e o trabalho como formas de transmissão de energia; relacionar energia mecânica e calor; compreender o princípio de conservação de energia; reconhecer a evolução histórica do modelo de calor e a unificação entre energia mecânica e calor.

Os alunos também devem ter condições de reconhecer a capacidade de realização de trabalho a partir da expansão de um gás; contextualizar historicamente o surgimento, a evolução e o uso das máquinas térmicas, associando-as, em diferentes épocas, a aspectos sociais, econômicos e tecnológicos.

Eles também deverão estabelecer relação entre trabalho e calor; relacionar pressão e volume

ao trabalho realizado na expansão de um gás e compreender os limites e as possibilidades de uma máquina térmica que não opera em ciclo.

Os alunos podem ser avaliados, de maneira coletiva ou individual, por meio da execução das experiências propostas ao longo das aulas, bem como pelo uso correto de conceitos físicos e da linguagem culta e científica nas respostas às questões contidas nos roteiros e na elaboração de sínteses de observações, análises e soluções.

É possível também avaliar a variedade e a qualidade das manifestações dos alunos durante a realização das atividades em termos de postura em relação aos colegas e ao professor; de seu envolvimento e compreensão dos procedimentos e conceitos físicos envolvidos nas atividades.

## SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 1 O EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR

O objetivo desta Situação de Aprendizagem é trabalhar com os alunos um experimento que aborda o equivalente mecânico do calor. A atividade possibilita uma gama de discussões, principalmente de caráter histórico, revelando aos alunos uma face rica e interessante do fazer científico. Pode-se também apresentar a evolução

dos modelos de calor e discutir como evoluiu o conceito de energia e trabalho, além de permitir discussões sobre o princípio da conservação da energia. O experimento é proposto como uma demonstração investigativa. É importante prepará-lo com antecedência, testando sua execução e medidas.



**Tempo previsto:** 2 aulas.

**Conteúdos e temas:** calor; trabalho; energia; equivalente mecânico do calor.

**Competências e habilidades:** reconhecer o processo histórico da unificação entre os conceitos de calor e trabalho mecânico; compreender e aplicar o princípio da conservação da energia; manusear equipamentos de medida, controlar variáveis e elaborar hipóteses para interpretar observações e medidas; construir modelos a partir da realização de experimentos; elaborar relatórios analíticos, apresentar e discutir dados e resultados dos experimentos; fazer uso da linguagem física apropriada.

**Estratégias:** atividade experimental para conduzir discussões sobre o equivalente mecânico do calor.

**Recursos:** roteiro da atividade; materiais experimentais de baixo custo.

**Avaliação:** avaliar a construção adequada do arranjo experimental; acompanhar a variedade e a qualidade das manifestações do aluno durante a realização das atividades; verificar a compreensão acerca dos procedimentos e conceitos físicos envolvidos nas atividades; avaliar as respostas às questões apresentadas no roteiro de atividade, bem como a apresentação e a interpretação dos resultados experimentais.

## Desenvolvimento da Situação de Aprendizagem

Até este momento, propusemos Situações de Aprendizagem e modelos sobre a relação entre calor e energia. Além da radiação, o calor foi apresentado como energia que passa de um corpo para outro quando há uma diferença de temperatura entre eles.

Após retomar estes conceitos, discuta com os alunos o que deve então ocorrer quando esfregamos as mãos, quando os pneus de um carro atiram com o solo ao ser freado ou quando martelamos vigorosamente um prego.

Nestes casos, as mãos, o prego e o martelo ou o pneu do carro e o solo estão inicialmente à mesma temperatura. Contudo, após sofrerem atrito, os objetos se aquecem. *Como explicar esses fatos? Qual a relação entre o movimento ou*

*o trabalho mecânico realizado nas situações citadas e o calor produzido?* Leve os alunos a perceber que existe algo mais a ser discutido sobre o calor. Por meio desses exemplos, prepare-os para a Situação de Aprendizagem 1.

Esta Situação de Aprendizagem pode ser bem demorada, caso não seja previamente organizada. Sendo assim, sugerimos que leve tudo pronto e deixe somente a execução por conta dos estudantes.

Sugerimos que disponha os alunos em fila, pois será necessário inverter um tubo por cem vezes. Cada aluno poderá girá-lo cinco vezes até que se complete as cem vezes. Os dados colhidos devem ser guardados, pois, após o tratamento conceitual, pode-se trabalhar quantitativamente para encontrar o equivalente mecânico do calor.



### Roteiro 1 – O equivalente mecânico do calor

Você já deve ter tido a experiência de esfregar uma mão contra a outra para aquecê-las em um dia frio. Ou já observou outras situações em que, ao se atritar um objeto contra outro, eles se aquecem. O odor de queimado produzido pela freada de um caminhão, o aquecimento de uma pedra ao ser esfregada contra outra ou de um prego ao ser martelado em uma superfície são outros exemplos. Que relação existe entre essas situações? Pode o movimento produzir calor?

Nessa atividade, faremos um experimento que reproduz esse fenômeno, o que possibilitará a compreensão dessa relação entre calor e movimento, ou seja, entre calor e trabalho mecânico.

### Materiais

Um tubo de PVC de 1,20 m de comprimento, com “tampa” nas duas extremidades; 500 g de chumbinho (munição para arma de ar comprimido); borracha; vasilha de alumínio; vasilha com gelo e sal; fita adesiva; termômetro.



Figura 1 - Material do experimento.

### Mãos à obra!

**Passo 1** – Faça um furo da largura do termômetro em uma das tampas do tubo de PVC.



**Passo 2** – Corte um pedaço da borracha (pode ser borracha escolar) de modo a lacrar esse furo, mas com uma aba que permita retirá-la quando quiser sem muita dificuldade. Será por meio desse furo que você irá colocar o termômetro para medir a temperatura do chumbinho. Assim, note que ele precisa estar bem vedado para evitar a troca de calor com o ambiente.

**Passo 3** – Coloque os chumbinhos em uma vasilha de alumínio e deposite-a dentro de outra vasilha com gelo e sal. O objetivo é resfriar os chumbinhos. Cuide para não molhá-los!

**Passo 4** – Mantenha-os nessa vasilha por três ou quatro minutos.

**Passo 5** – Retire os chumbinhos da vasilha de alumínio e coloque dentro do tubo.

**Passo 6** – Tampe e agite um pouco (dê umas duas “viradas”).

**Passo 7** – Cuidadosamente, retire o lacre de borracha e coloque o termômetro.

**Passo 8** – Mantenha o tubo na vertical, com o lado do furo para baixo, para que o termômetro possa ficar em contato com o chumbinho por três minutos.

**Passo 9** – Depois de retirá-lo, lacre o furo imediatamente (deixe uma fita adesiva já preparada; tampe o furo com o lacre de borracha e passe a fita adesiva para evitar que ele caia ao se movimentar o tubo) e anote a temperatura medida, que será a temperatura inicial do sistema.

**Atenção:** Este procedimento deve ser feito com bastante cuidado, pois o termômetro poderá se quebrar. Assim que retirar o termômetro, o tubo precisa ser girado rapidamente, de modo que o chumbinho “caia” por toda a sua extensão. Repita essa operação cem vezes. Cuide para que suas mãos não entrem em contato com as extremidades do tubo, ficando próximas ao meio, dificultando a troca de calor do seu corpo com o chumbinho.

**Passo 10** – Ao chegar à última inversão do tubo, retire cuidadosamente o lacre, coloque o termômetro, deixe-o por três minutos e meça a nova temperatura.

Após o término da atividade, responda às seguintes questões:

1. O que aconteceu com a temperatura dos chumbinhos ao final da experiência?
2. Qual explicação você daria para o que ocorreu?
3. Por que é preciso girar o tubo tantas vezes?
4. Que tipo de transformação de energia ocorre com os chumbinhos?
5. Qual a quantidade de calor, em caloria, trocada pelos chumbinhos? Qual a sua variação de energia, em Joule? Que dados e relações são necessários para obter esses valores?



6. Obtenha uma relação entre essas duas grandezas, ou seja, entre o calor trocado (cal) e a variação de energia (J). Que hipóteses estão sendo feitas para estabelecer essa relação?
7. O que esse valor diz para você?

Finalmente, elabore um relatório que apresente suas observações e sintetize o que aprendeu. Descreva o que o grupo procurava responder ao realizar o experimento, os procedimentos usados e os cuidados necessários.

Apresente também os dados obtidos de forma organizada, discuta esses dados e as conclusões a que se chegou, tendo em vista as questões que pretendiam responder por meio do experimento.

Lembre-se de que o importante não é o resultado em si (os valores encontrados), mas aquilo que os dados obtidos permitiram que vocês concluíssem. Em suas conclusões finais, escreva de forma clara e sintética o que aprenderam com esse experimento.

### Encaminhando a ação

Ainda que trabalhosa, esta Situação de Aprendizagem tem apresentado bons resultados com os alunos. Além de tratar do conceito físico, ela permite discutir os cuidados necessários para realizar um experimento. Caso tudo corra bem, a temperatura final dos chumbinhos terá se elevado bastante e, muitas vezes, será possível chegar a um valor razoável para o equivalente mecânico (4,18 J/cal). Devido aos materiais utilizados e à própria execução do experimento, não se deve esperar um resultado preciso. Os valores encontrados poderão diferir bastante de 4,18. Assim, é interessante trabalhar as eventuais fontes de problema, principalmente relacionadas às trocas de calor. Por isso, discuta sobre a vedação feita, o material do tubo, a forma de medir a temperatura etc. Peça que eles proponham melhorias para aumentar a precisão da medida.

Mesmo sem o conhecimento da explicação científica sobre a produção de calor por meio de movimento, muitos alunos são capazes de perceber as transformações de energia cinética em energia térmica, fato que corrobora o conceito de calor. Ou seja, o calor deixa de ser pensado como uma substância presente nos corpos, visão bas-

tante comum entre os estudantes. Demorou-se muito para que essa ideia fosse compreendida e, hoje em dia, essa afirmação não é mais polêmica. Contudo, sua aceitação causou muita discussão no meio científico nos séculos XVIII e XIX.

Já na Antiguidade, os gregos debatiam sobre a natureza do calor. Esse debate intensificou-se após o Renascimento. Muitos consideravam o calor como um tipo de fluido; outros, de vibração existente nos corpos. Este é um momento oportuno para fazer com que os alunos percebam a evolução das ideias e conceitos, contribuindo para desmitificar a ciência como algo pronto que é dado e não pode ser questionado ou revisto; ou, ainda, como algo apenas acessível e revelado a gênios.

Mostre como foram necessários vários séculos para que o calor fosse tratado cientificamente a partir da noção de movimento contínuo de átomos e moléculas, com diferentes graus de liberdade (vibração, translação, rotação etc.), de modo que a compreensão da natureza do calor e da temperatura, bem como a construção de teorias e modelos para esses conceitos, faz parte de um momento rico na história da ciência.



No século XVIII, o calor já era, então, um velho conhecido do pensamento científico. Nessa época, contudo, imaginava-se que o calor fosse uma substância, um fluido chamado calórico. Assim, ao colocar em contato dois corpos com temperaturas diferentes, pensava-se que essa substância fluía de um corpo a outro, explicando por que o mais quente se resfriava enquanto o mais frio se aquece. Alguns outros fenômenos davam apoio a essa teoria, como o fato de alguns metais apresentarem um peso maior após serem queimados (hoje compreende-se que isso ocorre por que o ferro reage com o oxigênio da atmosfera, aumentando a massa final do produto da queima). Entretanto, essa teoria apresentava falhas, como, por exemplo, corpos percutidos poderem se aquecer quase indefinidamente ou corpos aquecidos não aumentarem de massa.

Para cada uma dessas falhas, os cientistas criavam “soluções” particulares (hipóteses *ad hoc*). Para explicar especificamente este último fato, eles propunham que o calórico era, então, uma substância muito tênue, quase invisível. Da mesma forma, ao se pesarem corpos frios e aquecidos, não é possível detectar qualquer diferença que evidencie a existência dessa substância. Esse resultado, que inicialmente contrariava a teoria do calor como fluido, era refutado ao se alegar que o calórico era uma substância sem massa, então sem peso.

Neste momento, é interessante fazer com que os alunos atentem à própria dinâmica da ciência. Que eles percebam que ocorrem mudanças nos modelos para que evidências experimentais possam estar de acordo com as previsões teóricas e vice-versa. É fundamental que eles percebam também a parcela humana envolvida no fazer científico, com seus preconceitos, valores, vaidades, relações de poder etc.

A compreensão do calor como uma forma de transmissão de energia ocorreu no século XIX, em função de vários trabalhos científicos. O mais conhecido deles foi sobre a perfuração de

canhões, produzido por Benjamin Thompson, o conde de Rumford. Ele pesou com precisão os corpos frios e aquecidos, não encontrando qualquer diferença em suas massas.

Entretanto, foram suas reflexões e conclusões acerca de fenômenos que envolviam fricção que forneceram sólidas evidências contra a existência do calórico. Ele era encarregado da produção e da calibração de canhões em Munique, em 1798. Para fazer a “boca” do canhão, perfurava blocos de ferro. Após observar o aquecimento que surge durante a produção dos canhões, ele percebeu que o calor gerado na tentativa de perfuração do metal por uma broca “cega” não se esgotava, obtendo então um importante argumento contra a hipótese do calor como substância. Como a broca não conseguia arrancar pedaços do metal, era impossível que o calórico saísse do material. Contudo, o bloco de ferro tinha sua temperatura aumentada em grande intensidade. Como nesse caso também não havia corpo quente em contato com o bloco para lhe “passar” o calórico, aumentando sua temperatura, uma forte evidência contra sua existência passou a ser considerada.

Assim, no final do século XVIII, o conde de Rumford afirmava que esse resultado só poderia ser explicado caso o calor fosse uma forma de movimento das partículas da substância, sendo, no caso do canhão, produzido pela agitação das partículas do metal mediante o atrito com a broca.

A afirmação do conde de Rumford foi um duro golpe para a teoria do calórico e contribuiu muito para a evolução do conceito de calor, mas não encerrou a disputa sobre sua natureza, que envolvia cientistas do porte de Antoine Lavoisier, Sadi Carnot e lord Kelvin, entre outros, todos adeptos do calórico.

A ideia de calor como forma de transferência de energia estava começando a ser compreendida, assim como a própria energia. Rumford foi o primeiro a indicar uma correspondência numérica

entre o trabalho mecânico e o calor. Sua teoria foi investigada e aperfeiçoada por meio de outros experimentos. Foi com os trabalhos do inglês James Prescott Joule, meio século depois, que veio a confirmação da medida do equivalente mecânico do calor. Joule montou meticulosamente um experimento para estudar a transformação de energia mecânica em calor. Em 1840, após diversas tentativas, ele mediu a relação entre o trabalho e a geração de calor em inúmeras experiências, concluindo que o calor não era nada além de uma forma de energia. É essa relação que recebe o nome de “equivalente de calor” e vale  $4,18 \text{ J/cal}$ .

A fórmula  $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$  aparece em muitos livros didáticos como uma constatação trivial. Os conflitos entre as teorias não são citados dando a impressão de que o cientista simplesmente verifica verdades da natureza ou que eles são seres especiais, para quem o Universo se revela. Assim, trabalhar historicamente esse conceito é fundamental.

Na Situação de Aprendizagem 1, o que ocorre é a transformação da energia potencial gravitacional dos chumbinhos em energia cinética quando estes caem através da extensão do tubo. Ao colidirem com a tampa do tubo, essa energia é convertida em energia de vibração das moléculas, manifestando então um aumento na temperatura. Tem-se aqui um momento oportuno para se discutir o princípio da conservação da energia.

Quando se conhece o calor específico do material e sua massa, a quantidade de calor produzida durante o impacto pode ser determinada pela mudança na temperatura ( $Q = mc\Delta t$ ). Se for possível considerar que toda a energia potencial ( $E_p = mgh$ ) é transformada em calor (hipótese a ser levantada), pode-se determinar a relação entre trabalho e calor, chegando ao valor chamado de equivalente mecânico do calor. Assim, considerando o calor específico do chumbinho  $0,031 \text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$ , tente chegar a esse valor, já que possui a massa do chumbinho, a variação de temperatura e a “altura”  $h$  do tubo.

Atente aos possíveis fatores que implicam a precisão de seus cálculos, principalmente quanto a garantir que toda energia potencial é convertida em calor. Trabalhe assim com os alunos a necessidade das condições idealizadas, a possibilidade de aperfeiçoar os experimentos a fim de obter dados cada vez mais seguros e auxilie-os a imaginar as dificuldades encontradas por esses cientistas 200 anos atrás. Contudo, reforce que as explicações dadas aos resultados obtidos são mais importantes que o resultado a que chegaram, para que não se sintam “forçados” a chegar a um único valor. Os diferentes resultados possibilitarão uma rica discussão.

A parte histórica aqui descrita foi bastante resumida. É preciso apresentar informações históricas confiáveis, fugindo de mitos e lendas que só dificultam a aprendizagem e criam estereótipos. Em muitas bibliotecas do Estado, é possível encontrar livros paradidáticos sobre calor e temperatura (há indicações bibliográficas no item **Recursos para ampliar a perspectiva do professor e do aluno para a compreensão do tema**). Enfatize que, mais do que o valor do equivalente entre joule e caloria, esse tipo de trabalho serviu para consolidar a ideia de energia e de sua conservação entre os diversos processos de transformação.

Disponha da aula seguinte para trabalhar exercícios mais tradicionais sobre as transformações envolvendo as diversas formas de energia, entre elas o calor. Pode-se selecionar exercícios dos livros didáticos.

Caso queira aprofundar o aspecto histórico, após a realização da Situação de Aprendizagem 1, apresente o experimento de Joule sobre o cálculo do equivalente mecânico do calor. Ou, ainda, peça aos alunos que façam uma pesquisa sobre a evolução dos modelos de calor para enriquecer essa aula de síntese. Eles podem consultar o livro didático e também a internet, ou as fontes sugeridas no final deste Caderno.



Auxilie-os na pesquisa, indique *sites* a serem visitados etc. Ao final da Aula 2, mostre aos alunos o roteiro da Situação de Aprendizagem 2, para que possam trazer o material do experimen-

to ou montá-lo em casa. Ainda que simples, essa atividade utiliza fogo. Sendo assim, caso julgue arriscado pedir que os alunos a executem, opte por fazê-la de forma demonstrativa.

## SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 2 A MÁQUINA DE HERON

Esta Situação de Aprendizagem visa à construção de uma *aeolipilae* (eolípila) ou a máquina de Heron.

O estudo começa com as máquinas térmicas e possibilita aprofundar a discussão sobre as relações entre trabalho, calor e energia.

A montagem da experiência exige alguma habilidade manual, em particular na preparação da lâmpada (veja as instruções no roteiro). Avalie se os seus alunos dispõem das habilidades necessárias. Caso contrário, você pode trazer lâmpadas já preparadas, sem as roscas, ou, ainda, realizar o experimento de modo demonstrativo.

**Tempo previsto:** 2 aulas.

**Conteúdos e temas:** calor; trabalho; energia.

**Competências e habilidades:** ler, interpretar e executar corretamente um roteiro de atividade experimental; elaborar hipóteses e interpretar resultados de situações experimentais ou teóricas em processo que envolve a unificação entre calor e trabalho mecânico; elaborar hipóteses para interpretar observações e medidas e conceituar e quantificar as grandezas envolvidas; elaborar comunicação escrita ou oral para relatar resultados de experimento sobre o princípio da conservação da energia, utilizando esquemas, símbolos e linguagem científica.

**Estratégias:** leitura de roteiro, montagem de experimento e verificação qualitativa de fenômenos que associam calor ao movimento; discussão em grupo de questões que acompanham o roteiro; discussão e sistematização com a classe; compreensão da situação-problema; identificação do conhecimento científico para a solução e resolução adequada do problema; apresentação oral ou escrita dos resultados.

**Recursos:** roteiro da atividade; material experimental de baixo custo para construção da máquina de Heron.

**Avaliação:** a variedade e a qualidade das manifestações do aluno durante a realização das atividades em termos de postura em relação aos colegas e ao professor; seu envolvimento e de sua compreensão na realização das atividades propostas; o uso correto de conceitos físicos e da linguagem culta e científica nas respostas às questões contidas no roteiro e na elaboração de sínteses de observações, análises e soluções.



## Desenvolvimento da Situação de Aprendizagem

As máquinas a vapor começaram a ser utilizadas com algum sucesso somente no século XVII. No entanto, sua história é muito mais antiga, como se pode ver pela máquina de Heron.

O intuito aqui é apresentar a possibilidade de utilizar a expansão de um gás para gerar movimento.

Lúdica e ilustrativa, parece que a máquina não foi criada para ser nada além de uma curiosidade. Antes de realizar a observação, peça aos alunos que elaborem e redijam em uma folha de

papel suas hipóteses sobre o que esperam observar e por quê.

Uma vez feita a observação, peça aos alunos que apresentem suas explicações sobre por que a máquina gira quando a água ferve, confrontando esse resultado com suas hipóteses iniciais.

É preciso que relacionem o fato de haver uma expansão do volume quando a água entra em ebulição. O vapor de água sai com uma pressão grande e, devido à disposição dos tubos, há o aparecimento de um torque que faz a máquina girar.

### Roteiro 2 – A máquina de Heron

Quase como uma viagem no tempo, você irá construir a mais antiga máquina térmica criada pelo homem, uma “precursora” da máquina a vapor. Ela foi projetada por Heron de Alexandria, no século I a.C. Era uma máquina chamada de *aeolipilae* (eolípila).

#### Materiais

Bulbo de uma lâmpada para servir de recipiente para água; alicate; uma rolha de borracha que será usada para lacrar a lâmpada; dois tubos de cobre de  $\frac{1}{8}$  de polegada e com 10 cm de comprimento; 50 cm de barbante; gancho para amarrar o barbante na rolha; uma vela.



© Fernando Favoretto

Figura 2 - Material do experimento.



### Mãos à obra!

- Passo 1** – Cuidadosamente, é preciso preparar a lâmpada como recipiente para a água. Para isso, arranque com o alicate parte do bocal, deixando-a como mostra a Figura 2. É preciso cuidado para que a lâmpada não se quebre no processo, o que pode cortar as mãos. Se necessário, utilize uma toalha para segurá-la, o ideal é riscar a lâmpada com diamante de vidraceiro.
- Passo 2** – Ajuste a rolha na lâmpada, de forma a lacrá-la.
- Passo 3** – Faça dois furos na rolha, de modo que caiba um tubo em cada furo. No centro da rolha, fixe o ganchinho. Nele será amarrado o barbante para que a lâmpada possa girar livremente. Certifique-se de que ele está bem centralizado.
- Passo 4** – Passe os tubos através dos furos, coloque um pouco de água dentro da lâmpada e lacre com a rolha.
- Passo 5** – Cuidadosamente, dobre as extremidades do tubo como mostra a Figura 3, de forma que uma aponte em direção oposta à da outra.
- Passo 6** – Acenda a vela e coloque-a no chão, em um lugar seguro.
- Passo 7** – Suspenda sua máquina de Heron, amarrando o barbante em algum lugar, de forma a deixar a lâmpada próxima à chama da vela (pode ser, por exemplo, no tampo de uma mesa). É preciso que haja espaço suficiente para a lâmpada girar sobre seu eixo.

© Fernando Favoretto



Figura 3.



© Fernando Favoretto

Figura 4 .



**Passo 8** – Espere a água entrar em ebulição e observe o que acontecerá.

Após o término da atividade, responda às seguintes questões:

1. O que faz a lâmpada girar?
2. Explique como isso ocorre.
3. Que transformações de energia ocorrem no funcionamento dessa máquina?
4. Por que esse arranjo pode ser chamado de “máquina”? Será que se pode usá-la para realizar alguma coisa útil? O quê, por exemplo?
5. Finalmente, tal como na atividade anterior, elabore um relatório que apresente de forma organizada suas observações e sintetize o que aprendeu.

### Encaminhando a ação

Nesta Situação de Aprendizagem, o principal é discutir como surge o movimento do bulbo da lâmpada quando o vapor de água se expande. O conceito e a definição de trabalho ( $W$ ) podem então ser retomados. Lembre-se de que tal conceito já deve ter sido trabalhado no ano anterior, mas é importante retomá-lo.

Coloque, então, em discussão, o trabalho realizado no experimento. *Quem (o que) realiza trabalho? Sobre quem (o quê)? O que esse trabalho “produz”? Quais as variáveis importantes para se obter o valor do trabalho, ou seja, a que se relaciona?*

No caso do trabalho de um gás que se expande, é melhor expressá-lo em termos de pressão e de volume. Um exemplo ilustrativo e fácil de ser percebido pelos alunos é o caso do leite fervendo. Todos sabem que, ao ferver, o leite sobe e derrama. Toda a superfície do leite sobe, e esse fato pode ser usado para discutir a pressão (lembre-se de destacar que na superfície do leite acumula-se uma fina camada de gordura que acaba servindo como uma “tampa orgânica”). Assim, trabalhe a ideia de que,

ao se expandir, é como se surgisse uma força distribuída ao longo de toda a superfície do leite, que é justamente a ideia de pressão, que pode ser assim relacionada:  $P = F/A$ . Como, na verdade, houve aumento do volume do leite, que é obtido ao se multiplicar o deslocamento pela área  $d \cdot A = \Delta v$ , pode-se escrever o trabalho como o produto da pressão no interior do gás pela variação do volume  $w = P \cdot \Delta v$ . Nesta Situação de Aprendizagem, é justamente essa relação que interessa: a realização de trabalho com a expansão de um gás.

Há, neste momento, uma boa oportunidade para se discutir um pouco de história geral e da ciência. É importante que os alunos percebam que, somente a partir da primeira Revolução Industrial, começou-se a quantificar o trabalho. E isso só ocorreu devido ao novo modo de produção que surgiu com a revolução, quando foi possível substituir o trabalho de tração animal e o trabalho humano pelo trabalho de máquinas.

Dessa forma, a quantificação era necessária, pois, como se passou a vender e comprar trabalho, era preciso então medi-lo para que houvesse uma forma de compará-lo e para es-



tabelecer seu custo (a unidade cavalo-vapor, ou *horse-power* – HP –, foi instituída nesse contexto). Estava assim inaugurado o uso tecnológico do calor.

Sugerimos que a próxima aula seja dedicada à sistematização do conteúdo tratado até aqui. Com essas quatro aulas, tem-se o pano de fundo para o estudo das máquinas térmicas e a consequente formalização das leis da termodinâmica. A Situação de Aprendizagem 3 é uma pesquisa sobre a Revolução Industrial e o surgimento das máquinas térmicas. Assim, proponha a tarefa

antecipadamente, para que seus alunos tenham tempo de realizá-la.

Com a sistematização da Situação de Aprendizagem 2, concluímos mais um tema de Física térmica. Esse estudo possibilita aprofundar o conceito de calor como energia, o princípio da conservação de energia e o princípio da conservação de trabalho. Além disso, permite que eles tenham um primeiro contato com o funcionamento das máquinas térmicas, iniciando o estudo da termodinâmica, conteúdos a serem aprofundados no próximo tema.

## GRADE DE AVALIAÇÃO

Indicadores de Aprendizagem	
Situação de Aprendizagem 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Identificar a presença do calor, trabalho e energia em diferentes fenômenos cotidianos.</li> <li>– Reconhecer o calor e o trabalho como formas de transmissão de energia.</li> <li>– Relacionar energia mecânica e calor.</li> <li>– Compreender o princípio de conservação de energia.</li> <li>– Reconhecer a evolução histórica do modelo de calor e a unificação entre energia mecânica e calor.</li> </ul>
Situação de Aprendizagem 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Reconhecer a capacidade de realização de trabalho a partir da expansão de um gás.</li> <li>– Contextualizar historicamente o surgimento, a evolução e o uso das máquinas térmicas, associando-as, em diferentes épocas, a aspectos sociais, econômicos e tecnológicos.</li> <li>– Estabelecer relação entre trabalho e calor.</li> <li>– Relacionar pressão e volume ao trabalho realizado na expansão de um gás.</li> <li>– Compreender os limites e as possibilidades de uma máquina térmica que não opera em ciclo.</li> </ul>

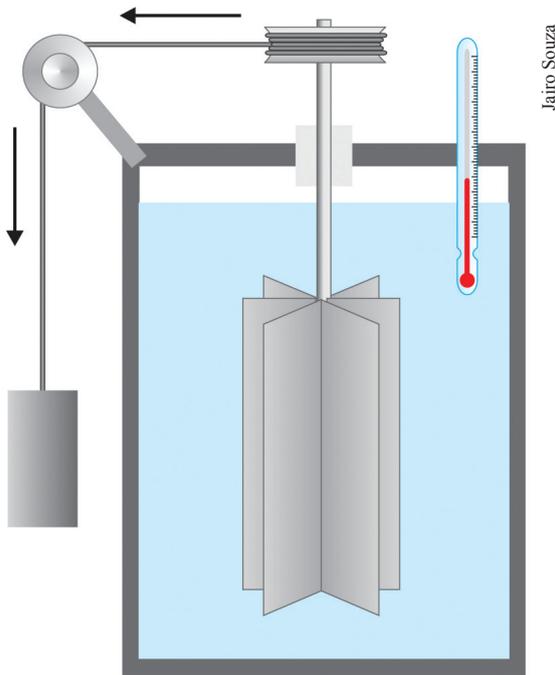


## PROPOSTAS DE QUESTÕES PARA APLICAÇÃO EM AVALIAÇÃO

1. Uma bola de golfe cai em um piso de cimento e quica várias vezes até parar. Explique por que a temperatura da bola é ligeiramente maior depois da queda.

*A cada colisão com o piso, a energia mecânica é convertida em energia interna dos átomos da bola de golfe, de modo que esse aumento é manifestado na elevação de sua temperatura.*

2. Suponha uma repetição da experiência de Joule: um objeto de massa conhecida é preso em uma corda e abandonado de uma certa altura. Durante sua queda, um sistema de pás é acionado, entrando em rotação e agitando a água contida em um recipiente isolado termicamente. Devido ao atrito das pás com a água, o objeto cai com velocidade praticamente constante, de modo que sua energia poten-



cial perdida é integralmente transformada em energia interna da água, provocando aumento de sua temperatura. Com um termômetro, pode-se medir essa variação. Considerando que o objeto tem uma massa de 6 kg, que ele cai de uma altura de 2 m, por 25 vezes, e que isso causa uma variação de 1,4 °C em 500 g de água, determine:

- a) A quantidade de energia potencial perdida pelo objeto durante todas as quedas.  
b) A quantidade de calor recebida pela água.  
c) A equivalência entre a quantidade de energia potencial perdida e a quantidade de calor cedida à água.

$$a) E_p = mgh = 6 \cdot 9,8 \cdot 2 \cdot (25 \text{ vezes}) = 2940 \text{ J.}$$

$$b) (Q = mc)T = 500 \cdot 1 \cdot 1,4 = 700 \text{ cal.}$$

$$c) \text{ Logo, } 2940 \text{ J equivalem a } 700 \text{ cal.} \\ \text{ Assim, } 1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J.}$$

3. Considere um experimento semelhante ao da questão 2. Contudo, suponha que o objeto tenha massa de 10 kg, que ele tenha caído 30 vezes de uma altura de 1,5 m. A elevação de temperatura de 400 g de água deverá ser:

(considere  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$  e  $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$ )

- a) 2,36 °C  
b) 3,66 °C  
c) 2,63 °C  
d) 1,36 °C  
e) 4,18 °C



$$EP = mgh = 10 \cdot 9,8 \cdot 1,5 \cdot (30 \text{ vezes}) = 4410$$
$$J \cong 1055 \text{ cal.}$$

$$\text{Como } \Delta Q = mc\Delta T,$$

$$\text{temos: } 1055 = 400 \cdot 1 \cdot \Delta T.$$

$$\text{Logo, } \Delta T \cong 2,63 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

4. Em um experimento semelhante ao que foi feito na Situação de Aprendizagem 1, uma massa  $m$  (em gramas) de chumbinho foi colocada em um tubo de 1 m de comprimento. Após o tubo ter sido invertido 20 vezes, verifica-se que o chumbinho sofreu alteração de  $1,5 \text{ } ^\circ\text{C}$  em sua temperatura. Considerando  $g = 10 \text{ m/s}^2$  e o calor específico do chumbo  $= 0,031 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ , o valor encontrado para o equivalente mecânico do calor nesse experimento deve ser:

a) 4,34 J;

b) 4,18 J;

c) 3,14 J;

d) 4,16 J;

e) 4,43 J.

$$EP = mgh = m \cdot 10 \cdot 1 \cdot (20 \text{ vezes}) = 200 m J.$$

$$\text{Como } \Delta Q = mc\Delta T,$$

$$\text{temos: } \Delta Q = m \cdot 0,031 \cdot 1,5.$$

$$\text{Logo, } \Delta Q = 0,046 m \text{ cal.}$$

Assim, o equivalente mecânico será:

$$200 m / 0,046 m. \text{ Logo, } 1 \text{ cal} = 4,34 J.$$



## TEMA 2 – MÁQUINAS TÉRMICAS

Atualmente, é corriqueiro o uso de veículos movidos a gasolina, álcool, *diesel* e gás. Da mesma forma, a utilização de máquinas que podem fazer o trabalho humano de forma mais eficaz e rápida tornou-se comum a partir da Revolução Industrial.

Um dos principais objetivos deste tema é a discussão sobre a evolução do trabalho humano ao longo da história, possibilitando aos alunos reconhecer a utilização do calor para benefício do homem, além de fazer com que os alunos sejam capazes de avaliar os impactos sociais e econômicos advindos da primeira Revolução Industrial.

A partir desse contexto, é possível iniciar uma discussão sobre o funcionamento das máquinas térmicas em termos de ciclos fechados, estudando por meio delas os princípios fundamentais da termodinâmica.

A civilização ocidental não teria chegado à condição atual se, em algum momento do seu percurso histórico, não tivesse compreendido a necessidade de superar os limites do trabalho humano. O uso de animais, inicialmente no transporte, na agricultura e depois nas mais variadas atividades, foi uma etapa importante nesse processo.

Foi na idealização e no melhoramento das máquinas que a civilização deu seu verdadeiro salto em direção ao futuro. Máquinas mecânicas, como o arado e as talhas, ampliaram a força dos homens e dos animais. Os moinhos de vento e de água permitiram que forças naturais pudessem ser utilizadas na produção de trabalho e ampliaram as possibilidades de utilização dos recursos disponíveis.

A partir de meados do século XVIII, na Inglaterra, acentuou-se um processo que viria a modificar completamente o panorama da civilização e suas relações sociais, econômicas e políticas. Essa

modificação iria se dar na forma de organização da produção, aliada a uma evolução tecnológica sem precedentes na história da humanidade. A nossa atual forma de vida tem origem na Revolução Industrial processada nesse período e ela não teria ocorrido sem as possibilidades de multiplicação do trabalho introduzido pelas máquinas a vapor.

Sendo assim, a fim de propiciar um contexto relevante para começar os estudos da termodinâmica, iniciamos esse tema com a Situação de Aprendizagem 3, na qual os alunos deverão fazer uma pesquisa sobre a relação entre o desenvolvimento das máquinas térmicas, o consequente desenvolvimento da termodinâmica e a Revolução Industrial.

Com essa atividade, é possível criar o cenário ideal para o aprofundamento das máquinas térmicas, tema da Situação de Aprendizagem 4, na qual os alunos deverão fazer uma visita a uma oficina e entrevistar um mecânico. Será por meio de discussões sobre os princípios físicos que fundamentam o funcionamento de máquinas térmicas reais, como motores a combustão e turbinas a vapor, que as leis da termodinâmica serão apresentadas e discutidas com os alunos.

Ao se falar em máquinas térmicas, tem-se o momento ideal para se discutir o funcionamento de uma geladeira. Compará-la e entendê-la como uma máquina térmica é essencial para a compreensão dos princípios da termodinâmica, principalmente com relação à segunda lei. As discussões surgirão a partir da Situação de Aprendizagem 5, na qual os alunos irão entrevistar um técnico em refrigeração.

Para concluir este tema, os alunos deverão calcular a potência e o rendimento de máquinas térmicas reais. Assim, na Situação de Aprendizagem 6, deverão pesquisar essas grandezas em diferentes motores.



## SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 3 REVOLUÇÃO INDUSTRIAL E AS MÁQUINAS TÉRMICAS

Esta Situação de Aprendizagem tem como objetivo fazer com que os alunos compreendam o papel do conhecimento sobre o calor (termodinâmica) na construção da sociedade ocidental como a conhecemos. Uma pesquisa multidisciplinar contribuirá para a compreensão dos con-

textos socioeconômico, científico e histórico nos quais se deu a primeira Revolução Industrial.

Além disso, os alunos terão um primeiro contato com as máquinas térmicas e os princípios físicos que fundamentam seu funcionamento.

**Tempo previsto:** 2 aulas.

**Conteúdos e temas:** processos que envolvem troca de calor; propriedades térmicas dos materiais; calor específico e capacidade térmica.

**Competências e habilidades:** associar o papel do conhecimento sobre o calor (termodinâmica) com características da sociedade ocidental como a conhecemos; redigir textos utilizando linguagem e conceitos científicos; identificar os contextos socioeconômico, científico e histórico nos quais se deu a primeira Revolução Industrial; avaliar o funcionamento das máquinas térmicas e sua importância social.

**Estratégias:** uso de pesquisa acerca das relações entre máquinas térmicas e a Revolução Industrial.

**Recursos:** roteiro da atividade; pesquisa com a utilização de internet, biblioteca etc.; uso de diferentes recursos para apresentação da pesquisa em sala de aula.

**Avaliação:** avaliar a variedade e a qualidade das manifestações do aluno durante a realização das atividades em termos de postura em relação aos colegas e ao professor; de seu envolvimento na realização e na análise das questões propostas no roteiro e de sua compreensão dos conceitos físicos envolvidos; avaliar a realização e o resultado da pesquisa e sua apresentação em sala de aula.

### Desenvolvimento da Situação de Aprendizagem

Antes de iniciar a atividade, problematize com os alunos o tema a ser tratado, propondo questões como: *Máquinas térmicas sempre existiram? Por que e em que época teriam surgido? Como seria (ou como foi) o mundo sem a sua existência? Alguém sabe como era uma máquina térmica antigamente? E hoje em dia?*

Organize a turma em grupos de no máximo cinco alunos para a realização da atividade.

O objetivo é que eles façam uma apresentação de suas pesquisas na aula. Para isso, é necessário que os alunos leiam o roteiro 3, que será entregue com antecedência.

Se considerar mais interessante ou viável, pode-se dividir entre os grupos diferentes questões para pesquisarem, de modo que troquem as informações posteriormente. Para a apresentação, incentive a criatividade dos alunos. Sugira que



façam cartazes ilustrados, folhetos, pequenas “peças” de teatro ou outros meios, conforme os recursos materiais disponíveis (transparências,

*slide-show* etc.). Se possível, peça para que um professor de História participe/acompanhe a preparação dessa aula.

### Roteiro 3 – Revolução Industrial e as máquinas térmicas

Nesta atividade, você deverá fazer uma pesquisa sobre um tema que relaciona a Física com a História, procurando entender a influência do desenvolvimento dos estudos em termodinâmica e a construção da sociedade ocidental.

Para isso, você deverá buscar informações para as seguintes questões:

1. O que foi a primeira Revolução Industrial? Qual foi seu contexto histórico-social?
2. Qual a grande dificuldade técnica da época?
3. Quais os tipos de máquinas térmicas mais utilizadas na Revolução Industrial?
4. Algumas dessas máquinas ainda são utilizadas?
5. Quais os principais fatores que motivaram o aperfeiçoamento dessas máquinas?
6. É possível encontrar influências desse período hoje em dia?

Para responder às questões acima, pesquise em bibliotecas, enciclopédias, internet e, principalmente, consulte e converse com um professor de História.

Organize uma apresentação dos resultados de sua pesquisa para a turma, indicando as fontes que utilizou. Essa apresentação pode ser feita por meio de cartazes com textos, mapas e ilustrações; ou de outra forma, conforme os recursos disponíveis e sugestões do professor.

### Encaminhando a ação

Esta Situação de Aprendizagem propicia uma contextualização excelente para iniciar os estudos em termodinâmica. É interessante que os alunos compreendam as relações entre ciência, tecnologia e sociedade, que facilmente se explicitam neste episódio do desenvolvimento científico e social.

Tem-se aqui um momento bastante oportuno para se tentar trabalhar de modo interdisciplinar.

A questão-base para discutir o papel da máquina a vapor na Revolução Industrial é associá-la à necessidade de retirar água das minas de carvão na Europa.

À medida que as cidades se desenvolveram, a demanda por carvão aumentou, exigindo que minas cada vez mais profundas fossem abertas. A infiltração da água devido à existência de lençóis freáticos obrigava o uso de bombas de água nem sempre eficazes, por serem manuais ou movidas a tração animal.



Nesse momento, a busca por máquinas mais eficientes colocou em ação a criatividade dos artesãos do século XVII.

Discuta como os diversos inventores passaram a projetar máquinas que bombeavam água. Thomas Savery (1650-1715), militar inglês, foi o primeiro inventor a construir uma máquina a vapor comercialmente viável. Ela foi projetada com a finalidade de retirar água de poços de minas inglesas de carvão mineral. Essa máquina, contudo, tinha como grande desvantagem o fato de funcionar com alta pressão, tornando-a altamente perigosa. Além disso, exigia enorme consumo de carvão para o funcionamento, limitando seu uso a lugares onde houvesse carvão barato e em grande quantidade.

Com a intensificação do comércio, houve uma necessidade de produção em larga escala de diferentes materiais, principalmente tecidos e carvão, gerando motivação para o aperfeiçoamento das máquinas a vapor. Surgem a máquina a vapor de Thomas Newcomen (1663-1729), também inglês, e a do inventor escocês mais conhecido de todos, James Watt (1736-1819), cujo nome, não por acaso, tornou-se a unidade de potência  $1 \text{ Watt} = 1 \text{ Joule/segundo}$ .

Os aperfeiçoamentos geravam aumento de produtividade e, principalmente, diversificação de uso, como a elevação de pesos e a geração de movimento contínuo e não apenas o bombeamento de água.

Somente após várias décadas, o princípio de funcionamento dessas máquinas foi tratado de maneira científica. O trabalho que mais se destacou nesse cenário foi o de Sadi Carnot (1796-1832), que idealizou um modelo de funcionamento em que o importante era considerar o fluxo de calor entre pontos com diferentes temperaturas. Nas próximas aulas, o conceito de ciclo ideal, elaborado por Carnot, será aprofundado.

A intenção aqui é fazer com que os alunos percebam o cenário e os atores nessa época do desenvolvimento da ciência do calor, da sociedade ocidental e do modo de produção inaugurado com a primeira Revolução Industrial. Trata-se de um episódio importante e fascinante da história da humanidade. Perceber as relações da Física com outras áreas do conhecimento é fundamental para a compreensão da ciência e uma excelente forma de motivar os alunos.

Organize a apresentação dos grupos, de modo que troquem e confrontem entre si os resultados das pesquisas. Ao final, junto com eles, sintetize as principais informações e conclusões a que chegaram, colocando-as no quadro.

Retome as conclusões a que os alunos chegaram nas atividades realizadas: a relação entre calor e trabalho mecânico; as transformações e a conservação de energia nos sistemas que observaram (chumbinhos caindo e máquina de Heron); o trabalho realizado na expansão de um gás; a origem e a evolução das máquinas térmicas e sua relação com os contextos socioeconômico e tecnológico.

Finalize pedindo uma lista de máquinas térmicas usadas no mundo contemporâneo. Destaque (ou acrescente) entre elas o motor de um automóvel e um refrigerador, objetos de estudo das duas próximas Situações de Aprendizagem, sugerindo que façam questões sobre eles e registrando-as para que sejam incorporadas nos próximos roteiros.

Nesta aula, os alunos deverão fazer a tarefa do roteiro da Situação de Aprendizagem 4, que será uma entrevista com um mecânico de automóveis. Peça que eles entreguem a entrevista na aula seguinte.



## SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 4 ENTREVISTA COM UM MECÂNICO

Esta Situação de Aprendizagem tem por objetivo fazer o aluno entrar em contato com o funcionamento de máquinas térmicas reais, neste caso, o motor de automóvel. Os processos

físicos essenciais para compreender esse funcionamento darão suporte para a formalização conceitual dos princípios fundamentais da termodinâmica.

**Tempo previsto:** 3 aulas.

**Conteúdos e temas:** calor; energia; trabalho; primeira lei da termodinâmica; segunda lei da termodinâmica; máquinas térmicas; diagramas PV.

**Competências e habilidades:** buscar informações de especialistas para reconhecer o princípio de funcionamento de máquinas térmicas reais; utilizar linguagem escrita para relatar informações obtidas em entrevista que evidenciem relações entre procedimentos práticos e características dos motores a combustão; comparar e discriminar diferentes tipos de motores; elaborar, realizar e apresentar questões a técnicos e/ou especialistas sobre o tema em questão; representar o ciclo de um motor em um diagrama PV; compreender e aplicar em situações-problema o primeiro princípio da termodinâmica.

**Estratégias:** realização de uma entrevista com um mecânico com o intuito de obter um primeiro contato com o funcionamento de motores a combustão; análise dos resultados obtidos; trabalho em grupo; discussão com a classe.

**Recursos:** roteiro da atividade.

**Avaliação:** avaliar a qualidade das respostas às questões contidas no roteiro; avaliar o relatório-síntese e o da entrevista; avaliar a compreensão do aluno em relacionar as respostas fornecidas pelo especialista e as características dos diferentes motores; avaliar sua compreensão das principais características de máquinas térmicas e as representações dos ciclos em diagramas PV.

### Desenvolvimento da Situação de Aprendizagem

Crie grupos com cinco alunos, no máximo, para a realização desta Situação de Aprendizagem. O objetivo é que eles façam uma entrevista com um mecânico a fim de se familiarizar com um motor. A ideia é criar condições para que, em sala de aula, possa se discutir como um motor funciona e, por meio dessa abordagem, apresentar os princípios fundamentais da termodinâmica. Apresente a proposta de atividade e discuta as

questões propostas, organizando-as. Sugira algumas questões importantes como:

1. Quais as partes essenciais de um motor?
2. Como funciona um motor a combustão?
3. Qual a diferença entre um motor de quatro tempos e um de dois tempos?



4. Como eles funcionam?
5. Quais as diferenças entre um motor a álcool, a gasolina e a *diesel*?
6. O que é cilindrada do motor?
7. Como funcionam os motores dos carros flex (funcionam com gasolina ou álcool)?

Peça aos alunos que relatem como foi a entrevista com o mecânico de automóveis e que expliquem as dúvidas surgidas a partir da conversa.

Reúna o máximo de informações que puder para subsidiar a formalização dos conceitos posteriormente. Incentive-os a explicar com suas palavras como funciona o motor. Anote na lousa o que mais chamar a sua atenção para um futuro aprofundamento do tema.

#### Roteiro 4 – Entrevista com um mecânico de automóveis

Certamente você já sabe que automóveis, ônibus e caminhões possuem motores que os fazem funcionar. São os chamados motores a combustão interna. Mas você sabe como esses motores funcionam? Será que você já viu um deles alguma vez? Para começar a investigação, você irá entrevistar um mecânico. Veja se você, ou alguém de sua família, conhece algum bom mecânico, ou vá até alguma oficina perto de sua casa ou da escola.

Para isso, elabore com seu grupo perguntas que considerem importantes para fazer a esse profissional. Lembre-se de que estamos interessados em usar as informações dessa entrevista para compreender e aprofundar nossos estudos sobre máquinas térmicas. No caso desta atividade, o objetivo é compreender como funciona um motor a combustão, bem como ser capaz de comparar as semelhanças e as diferenças entre os tipos de motores, para que depois possamos sistematizar o que aprendemos.

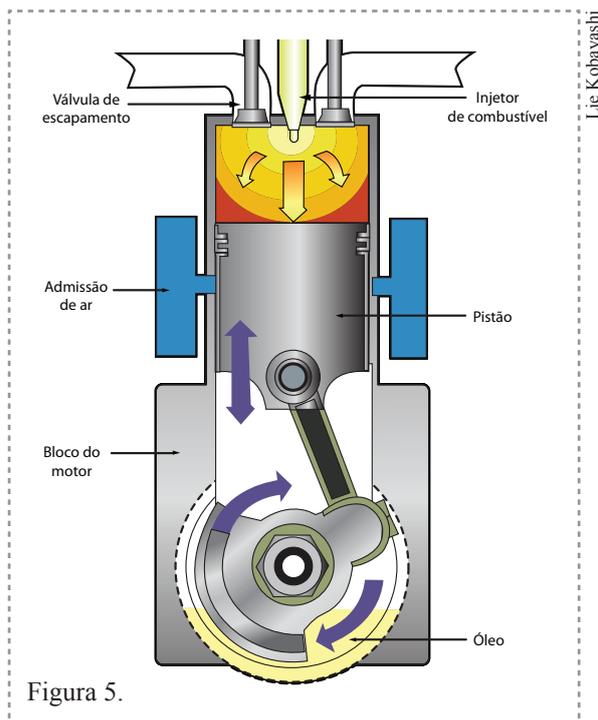
Após a atividade, crie um relatório sintetizando suas observações e seus aprendizados. Além de suas questões, ele deve conter o nome do entrevistado, o local em que trabalha e o tempo de experiência como mecânico. Entregue uma cópia da entrevista realizada para o seu professor.

#### Encaminhando a ação

Retomando o que foi relatado nas entrevistas com o mecânico, inicialmente é interessante discutir como o motor consegue dar movimento ao carro. Para isso, ao verem um motor real na oficina, os alunos poderão entender as funções de cada uma de suas partes. Assim, deverão constatar que ele é constituído de um bloco de ferro ou alumínio que possui câmaras de combustão.

Nelas, ficam os cilindros, nos quais se movem pistões. Cada pistão tem um virabrequim ligado a ele por meio de uma biela. Esta peça é capaz de transformar o movimento de vai e vem do pistão em rotação do virabrequim. É justamente o virabrequim que, ao girar, transmite o movimento às rodas do carro. Entender o papel de cada uma dessas peças em detalhe é imprescindível para a compreensão do que ocorre no momento da descrição de seu funcionamento.





O importante agora é focar o funcionamento do motor como uma máquina térmica, que é uma designação geral para qualquer sistema que converte calor em trabalho, operando de forma cíclica. A ideia é que a energia de determinado combustível transforma-se em energia térmica de um gás ou vapor, por meio da combustão. O gás expande-se e, assim, realiza trabalho, o que diminui então sua temperatura.

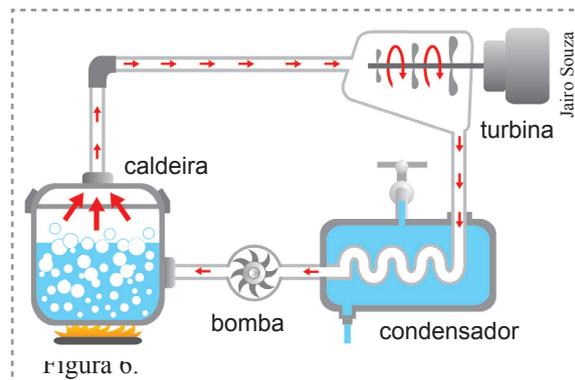
Trabalhe com os alunos as diferenças entre os motores, principalmente quanto ao ciclo de funcionamento. Eles podem ser de dois ou de quatro tempos. Em cada caso, os pistões trabalham em um ciclo, constituindo assim uma máquina térmica. Compreendendo o que ocorre em cada caso, pode-se discutir os principais fundamentos da termodinâmica.

Antes de falar sobre o ciclo de funcionamento dos motores, você pode introduzir e discutir uma máquina térmica mais simples: a turbina a vapor. Retome a máquina de Heron como desencadeador para a apresentação. Ao abordar a

turbina a vapor, você irá preparar o terreno para a formalização do primeiro princípio da termodinâmica. Após essa primeira etapa, retome o motor e trabalhe detalhadamente cada parte de seu ciclo.

Da mesma forma que o motor de um carro, a turbina a vapor é uma máquina que transforma energia interna do combustível em energia mecânica. Em uma caldeira, por meio da queima de um combustível, como óleo ou gás natural, ferve-se uma substância de operação, em geral a água. Neste processo, há uma mudança de estado físico de líquido para vapor e vice-versa.

O vapor, assim como em uma panela de pressão, sai da caldeira em alta pressão e é conduzido de forma a fazer girar as pás de uma turbina, diminuindo a pressão e a temperatura do vapor. Essa rotação ocorre devido ao vapor que transfere parte de sua energia cinética para as pás. Esse eixo produz, então, o trabalho útil, fazendo, por exemplo, funcionar um gerador (veja a Figura 6).



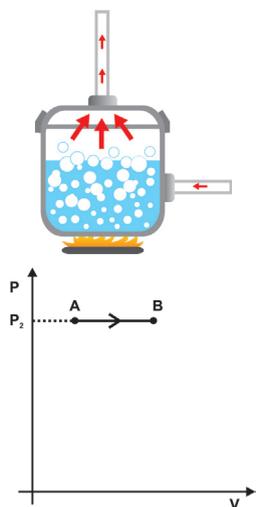
Ao passar pelas pás, ainda que o vapor sofra queda de pressão e temperatura, ele ainda sai da turbina como vapor em baixa pressão, o que exigiria muito trabalho para comprimi-lo de volta à caldeira. Por isso, há a necessidade de um condensador. Assim, o vapor passa por uma serpentina, trocando calor com o meio externo, geralmente água, sendo então condensado.



No estado líquido, ele pode facilmente ser bombeado como água quente de volta à caldeira. Seguem as etapas de cada parte do ciclo:

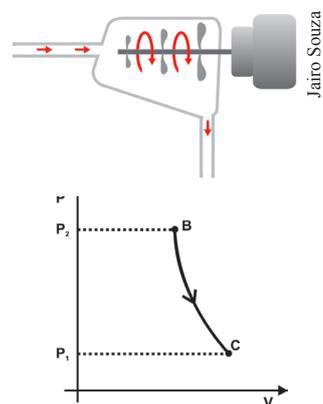
### 1. Caldeira

A água vaporiza à pressão constante, aumentando seu volume: transformação isobárica (A → B).



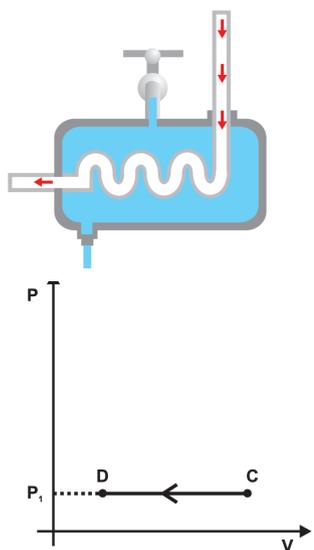
### 2. Turbina

O vapor se expande realizando trabalho. Como as hélices da turbina e o vapor estão à mesma temperatura e a transformação ocorre rapidamente, não há trocas de calor: expansão adiabática (B → C).



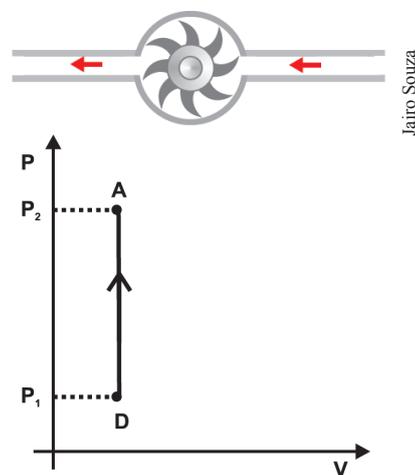
### 3. Condensador

O vapor passa para o estado líquido, trocando calor com o meio e diminuindo o volume à pressão constante (C → D).



### 4. Bomba

A bomba, ao comprimir a água, aumenta sua pressão até que esta se iguale à pressão do interior da caldeira. Pelo fato da água ser praticamente incompressível, podemos considerar este processo isométrico (D → A).



Esses processos podem ser todos representados em um mesmo diagrama PV para o ciclo completo da turbina, como mostra o Gráfico 1.

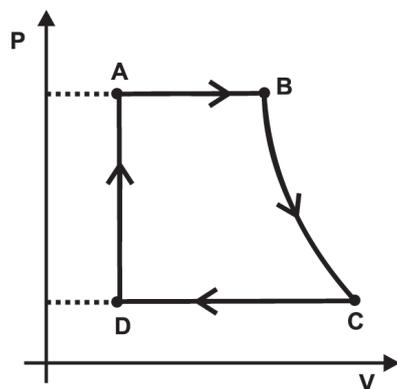


Gráfico 1 - Representação gráfica do ciclo completo de uma turbina a vapor.

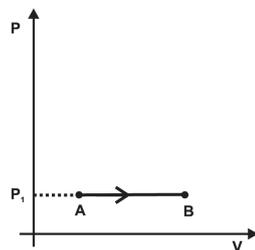
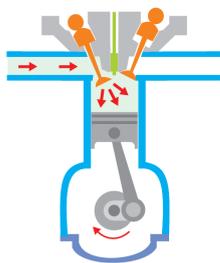
Por meio do estudo dessa máquina térmica, é possível que os alunos comecem a compreender o primeiro princípio da termodinâmica. Eles devem notar que a energia da queima do combustível é usada para variar a energia interna da água e do vapor e também para realizar trabalho, ao girar o

eixo da turbina. Já que existe contato com o meio externo, que se dá por meio do condensador, a água que nele circula também se aquece, indicando uma troca de calor. Com isso, fica claro que a energia fornecida ao sistema é transformada em trabalho, reaproveitada no processo e tem uma parte cedida ao ambiente. Com isso, os alunos podem compreender que, em um ciclo completo da turbina a vapor, a energia é conservada. A relação entre energia interna, calor e trabalho pode então ser formalizada após seu aprofundamento no estudo do motor a combustão interna.

Faça agora o paralelo da máquina a vapor com o motor a combustão, trabalhando a descrição dos quatro tempos de um motor a gasolina, não esquecendo de que se trata de um ciclo “aberto” em que, diferentemente da turbina, na exaustão e na admissão troca-se a substância de operação.

Apresente o diagrama PV do chamado ciclo Otto. Esse ciclo pode ser resumido em quatro operações ou tempos:

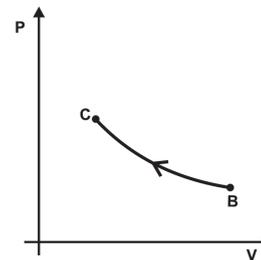
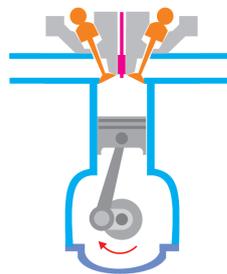
1. Devido ao giro do virabrequim, o pistão desce no cilindro, abrindo a válvula de admissão e injetando para dentro a mistura de gasolina e ar.



### 1. Admissão da mistura: 1º tempo

Abertura da válvula de admissão: enquanto o volume do gás aumenta, a pressão fica praticamente constante: transformação isobárica (A → B).

2. O pistão agora sobe, comprimindo a mistura.



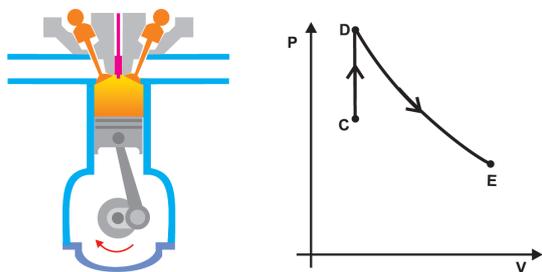
### 2. Compressão da mistura: 2º tempo

Enquanto o volume diminui, a pressão e a temperatura aumentam. Como a processo é muito rápido, não há troca de calor com o ambiente: transformação adiabática (B → C).

Jairo Souza



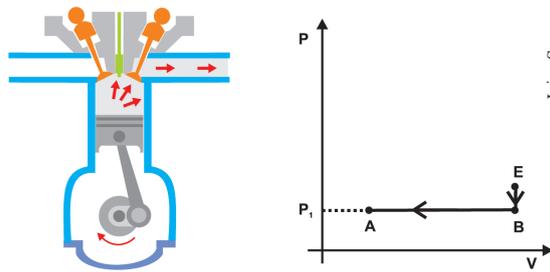
3. Quando a compressão tem seu valor máximo, uma centelha elétrica produzida pela vela de ignição promove a combustão, instantânea, aquecendo os gases, primeiro com volume constante, e logo depois estes se expandem, empurrando o pistão e realizando trabalho.



### 3. Explosão da mistura: 3º tempo

Inicialmente o volume do gás fica praticamente constante, e ocorre um grande aumento da temperatura e da pressão: transformação isométrica ( $C \rightarrow D$ ). Em seguida, enquanto o volume aumenta, a pressão e a temperatura diminuem: transformação adiabática ( $D \rightarrow E$ ).

4. O pistão sobe empurrando os gases, a válvula de escape abre-se, de modo que os gases provenientes da queima são expelidos para o meio ambiente.



Jairo Souza

### 4. Escape dos gases: 4º tempo

Abertura da válvula de escape: o volume da parte ocupada do cilindro permanece o mesmo e a pressão diminui: transformação isométrica ( $E \rightarrow B$ ) depois, enquanto o volume diminui, a pressão fica praticamente constante: transformação isobárica ( $B \rightarrow A$ ).

Esses processos podem ser todos representados em um mesmo diagrama PV para o ciclo completo do motor a combustão interna, o ciclo Otto, representado no Gráfico 2. Neste diagrama, é possível identificar as transformações que ocorreram durante o ciclo. Assim, no trecho AB, temos um processo isobárico, já que a pressão permaneceu constante. Isso acontece porque a velocidade do pistão é quase igual à velocidade da mistura de gasolina e ar. Já no trecho BC, há uma compressão adiabática, ou seja, não há troca de calor com o meio exterior. Isso ocorre porque a conversão do trabalho do pistão em energia interna da mistura acontece muito rapidamente, dificultando a troca. Note que, com o trabalho sofrido, a mistura tem sua pressão e temperatura aumentada. No trecho CD, há uma transforma-

ção isométrica, uma vez que a mistura tem seu volume inalterado, pois é nesse trecho que acontece a combustão. Como ela é muito rápida, o pistão nem chega a se mover, de modo que o volume da mistura não sofre nenhuma variação.

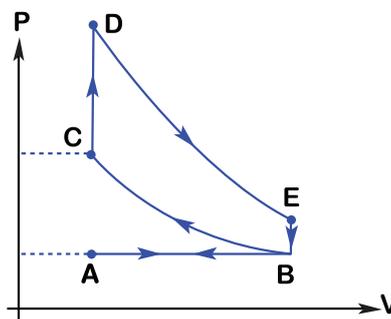


Gráfico 2 - Representação gráfica do ciclo Otto.



Ressalte o fato de que, nesse instante, há conversão da energia do combustível em energia interna, manifestada na grande elevação de temperatura dos gases provenientes do processo de combustão. Já no trecho DE, temos a segunda parte do tempo de combustão. Aqui ocorre uma expansão adiabática, visto que, devido à rapidez com que ocorre, não há tempo para a troca de calor com o meio. No trecho EB há uma descompressão isométrica, porque também não há tempo para o pistão se mover, de forma que o volume permanece inalterado. Finalmente, no trecho BA, há um processo isobárico, com a expulsão dos gases da queima para o meio ambiente. Como a massa de gás no cilindro diminui proporcionalmente ao volume, a pressão mantém-se constante.

É preciso ressaltar que esse diagrama é a representação teórica de um ciclo real, uma idealização, já que, durante o funcionamento de um cilindro, os processos não ocorrem de forma perfeita. Portanto, no trecho AB, por exemplo, em que se tem representado um processo isobárico, na realidade há sim uma queda de pressão. Isso ocorre pois a velocidade de expansão da mistura não acompanha perfeitamente o movimento do pistão, acarretando a queda de pressão.

Da mesma forma, no trecho BA, a expulsão do gás também não chega a ser isobárica, pois o pistão não tem velocidade suficiente para acompanhar a saída do gás. Ainda assim, esse diagrama é útil para a compreensão do funcionamento de um motor. É um momento oportuno para discutir a idealização de modelos, revelando sua importância no processo de construção da ciência.

Ressalte que no diagrama do ciclo, como sempre, o trabalho útil é a área dentro da curva, ou seja, o trabalho da expansão menos o trabalho da compressão.

Ainda que se tenha iniciado sua conceituação já nas atividades 1 e 2, o primeiro princípio da termodinâmica pode ser então tratado formalmente a partir do funcionamento do motor.

Apesar de haver quatro tempos de funcionamento em um ciclo completo do motor, a energia química do combustível só é transformada em trabalho no terceiro tempo, pois é somente nessa etapa que os gases resultantes da combustão empurram o pistão.

Nas outras etapas (primeiro, segundo e quarto tempos), o pistão é empurrado por meio do trabalho externo, devido ao giro do virabrequim. Os gases resultantes da combustão saem pelo escapamento a temperaturas muito altas e parte do calor de combustão é eliminada como energia interna ( $U$ ) desses gases, além de haver o aquecimento das peças do motor que são refrigeradas, continuamente, trocando calor com o meio ambiente. Para fechar o balanço energético, parte restante do calor de combustão é convertida em energia de movimento do pistão, por meio da realização de trabalho.

Assim, é possível afirmar que a energia ou quantidade de calor  $Q$  fornecida a um sistema pelo combustível aumenta sua energia interna e realiza trabalho. Esse princípio de conservação da energia, denominado primeira lei da termodinâmica, pode ser expresso pela seguinte relação matemática:  $Q = U + W$ , sendo  $Q$  = energia do combustível;  $U$  = variação da energia interna do sistema e  $W$  = trabalho realizado pelo combustível.

Para enriquecer a aula, é interessante utilizar prospectos e propagandas de diversos automóveis disponíveis no mercado. Selecione, em suas especificações técnicas, os termos que os alunos ouvem no dia a dia, como 1.0, 16 válvulas etc. Com isso, eles deverão compreender, por exemplo, que a cilindrada do motor é a soma dos volumes deslocados pelos pistões.

Assim, os carros com motor 1.0 indicam que a soma dos volumes deslocados corresponde a 1 litro. Então, as expressões 1.3, 1.6, 1.8 e 2.0 significam 1,3 litros, 1,6 litros, 1,8 litros e 2,0 litros, respectivamente. Da mesma forma, discuta a classificação dos motores em relação ao número de válvulas.



Geralmente, cada um dos quatro cilindros de um motor possui duas válvulas (uma de admissão e outra de exaustão), daí a classificação 8 v. Contudo, ao se buscar maior eficiência nos processos, pode-se dispor de duas válvulas de admissão e duas de exaustão para cada cilindro do motor. Esses motores são chamados de 16 v. Portanto, um carro 2.0 – 16 v tem quatro válvulas em cada cabeçote de cilindro e seus quatro cilindros deslocam um volume de dois litros.

Após a descrição do motor de quatro tempos, é bastante simples falar sobre o de dois tempos, visto que a diferença se encontra no fato de a aspiração

e a compressão da mistura combustível ocorrerem enquanto o pistão sobe (primeiro tempo), e a combustão e a exaustão ocorrem enquanto o pistão desce (segundo tempo). Este motor é muito utilizado em motocicletas, cortadores de grama etc.

Como dica, procure vídeos sobre o funcionamento de motores. É possível encontrar alguns excelentes produzidos por reconhecidas montadoras de automóveis, o que pode auxiliar no processo de visualização de todas as etapas envolvidas no funcionamento de um motor. Faça uma investigação, em *sites*, livros ou enciclopédias sobre locomotivas a vapor para orientar os alunos no item 5 do Você Aprendeu.

## SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 5 ENTREVISTA COM UM TÉCNICO EM REFRIGERAÇÃO

Esta Situação de Aprendizagem tem por objetivo dar continuidade à discussão dos princípios de funcionamento das máquinas térmicas. O foco agora é um refrigerador, buscando-se reconhecer os processos físicos que ocorrem durante o resfriamento que ele produz. A intenção é fazer

com que os alunos compreendam o refrigerador como uma máquina térmica que faz uso da vaporização de uma substância para retirar calor de seu interior. A compreensão desse funcionamento dará suporte para a apresentação da segunda lei da termodinâmica.

**Tempo previsto:** 2 aulas.

**Conteúdos e temas:** calor; energia; trabalho; primeira e segunda leis da termodinâmica; máquinas térmicas; diagramas PV.

**Competências e habilidades:** reconhecer o refrigerador como uma máquina térmica; identificar os principais elementos, etapas e ciclo de funcionamento de um refrigerador; elaborar, realizar e apresentar questões a técnicos e/ou especialistas sobre o tema em questão; representar o ciclo de um refrigerador em um diagrama PV; compreender e aplicar em situações-problema o segundo princípio da termodinâmica.

**Estratégias:** realização de uma entrevista com um técnico em refrigeração com o intuito de obter um primeiro contato com o funcionamento de uma geladeira.

**Recursos:** entrevista com um técnico em refrigeração; análise dos resultados obtidos; trabalho em grupo; discussão com a classe.

**Avaliação:** avaliar a qualidade das respostas às questões contidas no roteiro; avaliar o relatório-síntese e o da entrevista; avaliar a compreensão do aluno em relacionar as respostas fornecidas pelo especialista e as características dos refrigeradores; avaliar sua compreensão das principais características de máquinas térmicas e as representações dos ciclos em diagramas PV.



## Desenvolvimento da Situação de Aprendizagem

Organize a turma em grupos de no máximo cinco alunos para a realização desta Situação de Aprendizagem. O objetivo é fazer uma entrevista com um técnico em refrigeração para se compreender o funcionamento de uma geladeira. Devem ser criadas condições para discutir em sala de aula os processos físicos que fundamentam seu funcionamento e, por meio dessa abordagem, apresentar a segunda lei da termodinâmica.

Tal como na atividade anterior, oriente a elaboração do roteiro de questões, apresentando sugestões como:

1. Como funciona uma geladeira?
2. Qual é o gás utilizado nas geladeiras?
3. Quais as partes essenciais de uma geladeira?

4. Como funciona cada uma das partes?
5. Qual a diferença entre um *freezer* e uma geladeira?
6. Como funciona o freezer?
7. Como a geladeira liga e desliga sozinha?
8. Para que serve a grade que fica atrás da geladeira?

Uma vez realizada a entrevista, peça que os alunos a relatem, apresentando as informações obtidas e as dúvidas que surgiram a partir da conversa com o técnico. Reúna o máximo de informações que puder para subsidiar uma posterior formalização dos conceitos. Incentive-os a explicar com suas palavras como a geladeira funciona. Anote na lousa o que mais chamar a sua atenção para depois aprofundar esse estudo.

### Roteiro 5 – Entrevista com um técnico em refrigeração

Armazenar, conservar e transportar alimentos perecíveis sempre foi um problema para o homem, como vimos no início de nossas aulas. Durante muitos milênios, os recursos para a conservação dos alimentos resumiam-se à defumação, ao uso do sal, de condimentos, açúcar e ao consumo rápido. Uma invenção muito recente que resolveu esse problema e transformou os hábitos da sociedade foi o refrigerador. Como funciona uma geladeira? Será que ela possui algo em comum com um motor de carro? Por que algo que gela as coisas tem uma grade na parte de trás que está sempre quente? Para responder a essas e outras perguntas e investigar o funcionamento de uma geladeira, você agora irá entrevistar um técnico em refrigeração. Veja se você, ou alguém de sua família, conhece algum bom técnico, ou vá até uma oficina perto de sua casa ou da escola. Tal como fez na atividade anterior, elabore com o seu grupo, questões que consideram importantes para a entrevista e discuta o roteiro com seu professor.

Após a realização da entrevista, elabore um relatório sintetizando suas observações e seus aprendizados. Entregue uma cópia da entrevista que realizou a seu professor.



## Encaminhando a ação

Após os relatos, você pode iniciar as discussões conceituais a partir do estudo da turbina a vapor, visto que o refrigerador tem um ciclo semelhante, só que no sentido contrário, usando trabalho e não gerando. Da mesma forma que em uma turbina a vapor, a geladeira necessita de uma substância de operação que, em vez da água, é um gás. Normalmente o gás utilizado é chamado freon, no entanto, por razões ambientais, este gás que agride a camada de ozônio vem sendo substituído por outros que ficaram conhecidos como ecológicos. Ela também possui partes que funcionam a altas temperaturas (fonte quente) e a baixas temperaturas (fonte fria).

O mais importante é ressaltar que a geladeira não usa calor, mas o bombeia de uma temperatura mais baixa para uma mais alta, ou seja, na geladeira o fluxo de calor não é espontâneo. Na turbina, o calor flui espontaneamente da fonte quente, o vapor, para a fonte fria, que é a água de refrigeração contida no condensador. Já na geladeira, a troca de calor ocorre no sentido oposto, do mais frio – o interior da geladeira – para o mais quente – o ambiente.

Obviamente, não se trata de um processo natural, pois o calor flui do quente para o frio. Portanto, para bombear calor na direção contrária, é preciso realizar um trabalho externo sobre o gás de operação de modo que ele perca calor no condensador e evapore no congelador.

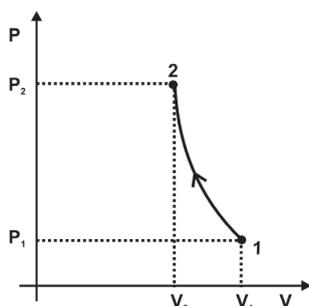
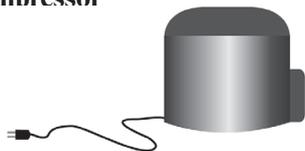
Discuta por que o CFC não é mais usado nos novos refrigeradores (e também em *sprays*), por conta da ação de certos compostos de flúor sobre a camada de ozônio, que nos protege de parte dos raios ultravioleta da radiação solar.

Descreva para os alunos as etapas envolvidas no funcionamento de um refrigerador. A geladeira funciona em ciclos, utilizando como substância de operação um fluido que se vaporiza em baixa pressão e que tem alto calor latente de vaporização. O gás de operação é comprimido pelo compressor, sofrendo assim aumento de pressão e temperatura. Em seguida, o gás, ao passar pelo condensador, que é a grade quente que fica na parte de trás da geladeira, perde calor para o meio exterior e se liquefaz. Ainda em alta pressão, o gás de operação no estado líquido sai do condensador e chega até uma válvula de descompressão, que nada mais é que um estreitamento da tubulação, sofrendo então uma queda em sua pressão. O gás de operação liquefeito, agora em baixa pressão, chega até o evaporador, corriqueiramente chamado de congelador. Com um diâmetro bem maior que o capilar, o freon então se vaporiza e retira calor da região interna do congelador. Daí, um novo ciclo se inicia quando o gás, em forma gasosa e à baixa pressão e temperatura, é aspirado para o compressor.

Seguem as etapas de cada parte do ciclo:

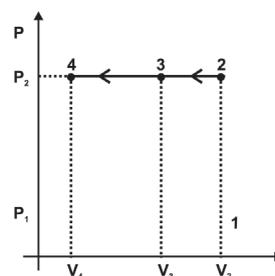
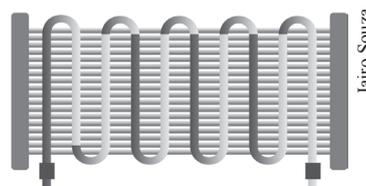


### 1. Compressor



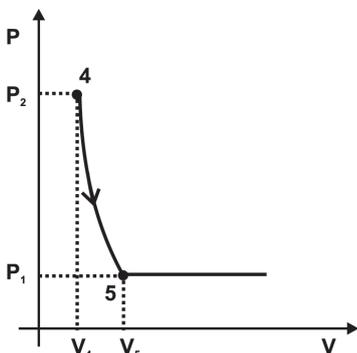
Devido à rapidez com que ocorre a compressão, esta pode ser considerada adiabática. A temperatura e a pressão se elevam. Como não há trocas de calor ( $Q = 0$ ), o trabalho realizado pelo compressor é equivalente à variação de energia interna da substância ( $1 \rightarrow 2$ ).

### 2. Radiador



Inicialmente ocorre uma diminuição de temperatura a pressão constante ( $2 \rightarrow 3$ ), seguida de uma diminuição isobárica e isotérmica do volume, condensação ( $3 \rightarrow 4$ ). O calor trocado corresponde ao calor se esfriando e ao calor de condensação.

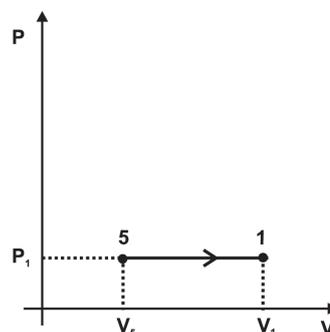
### 3. Válvula descompressora



Esta descompressão pode ser considerada adiabática devido à rapidez com que ocorre: a pressão diminui e o volume aumenta ( $4 \rightarrow 5$ ).

### 4. “Congelador” (evaporador)

O freon troca calor com o interior da geladeira a pressão e temperatura constantes, expandindo-se à medida que se vaporiza (calor latente de vaporização) ( $5 \rightarrow 1$ ).





Esses processos podem ser todos representados em um mesmo diagrama PV para o ciclo completo do refrigerador.

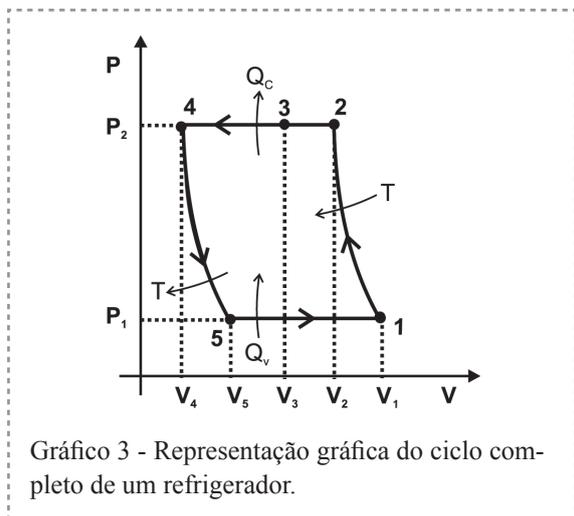


Gráfico 3 - Representação gráfica do ciclo completo de um refrigerador.

Você deve retomar nesse caso a primeira lei da termodinâmica, já que, em cada ciclo, a quantidade de calor retirada do interior da geladeira mais o trabalho realizado pelo compressor é igual à quantidade de calor cedida ao meio ambiente por meio do condensador, ou seja:

$$Q_{\text{congelador}} + W_{\text{compressor}} = Q_{\text{condensador}}$$

Após retomar a primeira lei, formalize então o segundo princípio da termodinâmica, visto que ele surge na discussão do funcionamento da geladeira (ainda que apareça, de forma mais implícita, nos motores a combustão).

Com base nos conteúdos e atividades trabalhados até agora, os alunos podem compreender que é possível transformar espontaneamente energia mecânica (trabalho) totalmente em calor (energia térmica). Para reforçar, lembre a experiência de Joule. Assim, o movimento ordenado de um objeto pode se converter em movimento desordenado das moléculas que o compõem. Entretanto, o inverso não ocorre. Em ambos os casos, motores a combustão e geladeira, o uso do calor para produzir trabalho não pode ter eficiência de 100%.

Da mesma forma, os alunos devem ter entendido que o calor flui espontaneamente da fonte quente para a fria, fato corriqueiro que pode ser discutido ao considerar as diferentes trocas de calor entre sistemas. Mas o fluxo contrário deve ser feito com o uso de energia externa ao sistema (como no caso da geladeira).

Esses processos são chamados de irreversíveis, visto que possuem um sentido determinado nos processos naturais, não ocorrendo espontaneamente em sentido contrário. Tão universal quanto as leis de conservação, a lei da irreversibilidade é chamada de segunda lei da termodinâmica. Ela pode ser enunciada como: “É impossível construir uma máquina que, operando em ciclos, transforme todo calor em trabalho” ou “O calor não flui espontaneamente da fonte fria para a fonte quente”. Ainda que haja enunciados diferentes, eles expressam a mesma ideia fundamental. Juntamente com as leis de conservação, as leis fundamentais da termodinâmica ampliam a capacidade humana de compreender os processos físicos, bem como entender os limites de sua intervenção nos processos naturais.

Para finalizar, solicite aos alunos que façam um esquema ou desenho de uma geladeira, com as respectivas legendas, e redijam um parágrafo simples que explique seu funcionamento a uma pessoa “leiga”.

Sugerimos que a próxima aula seja dedicada a sistematizar os conteúdos tratados até aqui. Isso pode ser feito de diferentes maneiras, conforme o encaminhamento dado até o momento, de forma a caracterizar e formalizar os conceitos e leis da termodinâmica envolvidos: retomando as principais conclusões sobre como se opera uma máquina térmica; o que diferentes máquinas (como um motor, um refrigerador e uma turbina a vapor) têm em comum e de diferente.

Outra possibilidade seria estender a atividade anterior, pedindo que elaborem e justifiquem algumas medidas de economia de energia



no uso de refrigeradores. Também pode se usar este momento para selecionar alguns exercícios contidos no livro didático que você utiliza e trabalhar quantitativamente esses conceitos.

Para a próxima aula, os alunos deverão fazer uma pesquisa sobre o rendimento de diferentes motores. Assim, peça aos alunos que leiam o roteiro da Situação de Aprendizagem 6 e façam a tarefa com antecedência.

## SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 6 PESQUISANDO A POTÊNCIA E O RENDIMENTO

O objetivo desta Situação de Aprendizagem é fazer com que os alunos calculem a potência e o rendimento de máquinas térmicas reais. Para isso, será realizada uma pesquisa com a finalidade de construir um quadro comparati-

vo com potências e rendimentos de diferentes motores. Por meio do estudo do rendimento de máquinas térmicas, será introduzido o conceito de ciclo ideal, com a apresentação do ciclo de Carnot.

**Tempo previsto:** 1 aula.

**Conteúdos e temas:** calor; energia; trabalho; primeira e segunda leis da termodinâmica; máquinas térmicas; diagramas PV; potência; rendimento.

**Competências e habilidades:** buscar informações em diferentes fontes para reconhecer a participação do calor e os processos envolvidos no funcionamento de máquinas térmicas; reconhecer e compreender o princípio da conservação da energia; utilizar linguagem escrita para relatar informações obtidas em pesquisas que envolvam a determinação da potência e o rendimento de uma máquina; compreender e representar o ciclo de Carnot, entendendo-o como um ciclo ideal; ler e interpretar gráficos que sintetizem informações obtidas em diferentes fontes sobre potência e rendimento de máquinas diversas.

**Estratégias:** realização de uma pesquisa sobre a potência e o rendimento de diferentes motores; análise dos resultados obtidos; trabalho em grupo; discussão com a classe.

**Recursos:** roteiro da atividade; pesquisa, utilizando internet, biblioteca, revistas de automóveis etc.

**Avaliação:** avaliar a qualidade das respostas às questões contidas no roteiro; avaliar o relatório-síntese e a qualidade da pesquisa; avaliar a compreensão do aluno acerca da potência e do rendimento de diferentes máquinas térmicas; avaliar sua compreensão das principais características de máquinas térmicas.

### Desenvolvimento da Situação de Aprendizagem

Separe seus alunos em grupos de no máximo cinco para a realização desta Situação de Aprendizagem. O objetivo é que eles façam uma pesquisa e montem um quadro comparativo com valores de potência e rendimento

de diferentes motores. Para isso, é necessário que o roteiro 6 seja entregue com certa antecedência. Utilize os quadros por eles produzidos para formalizar o conceito de potência e rendimento.



### Roteiro 6 – Pesquisando a potência e o rendimento

O que é mais potente: o motor de um Fusca ou o de uma Ferrari? O motor de um avião ou o de uma locomotiva? O de uma geladeira ou o de um ar-condicionado? Perguntas como essas parecem poder ser respondidas facilmente, principalmente a comparação entre o Fusca e a Ferrari, não é mesmo? Contudo, como se define que uma coisa é mais potente que outra? Com relação aos motores, como isso acontece?

Quando se faz a leitura de revistas especializadas em automóveis, sempre aparece o termo rendimento. O que ele significa? Como é determinado?

Para responder a essas perguntas, você deverá fazer uma pesquisa e, ao final, criar um quadro comparativo, explicitando aquilo que encontrou. Procure na internet, em livros, revistas especializadas, manuais técnicos etc.

Para auxiliar sua pesquisa, tente responder às perguntas a seguir:

1. Qual carro é mais potente, 1.8 ou 2.0? Por quê?
2. Qual motor é mais potente: a gasolina, a *diesel* ou a álcool?
3. O que significa a potência de um motor? Como se calcula?
4. O que significa o rendimento de um motor? Como se calcula?
5. Compare os rendimentos de uma turbina a vapor, de um motor a gasolina e de um motor a *diesel*. Por que são diferentes?
6. Um motor pode ter 100% de rendimento? Justifique sua resposta?

Essas são sugestões de perguntas que devem guiar sua pesquisa. Além de motores a gasolina, *diesel*, álcool e vapor, faça um quadro comparativo com as máquinas que quiser. Após a realização da atividade, elabore um relatório que apresente suas observações e sintetize o que aprendeu.

### Encaminhando a ação

Esta Situação de Aprendizagem propicia uma contextualização excelente para reforçar a irreversibilidade imposta pela natureza, descrita pela segunda lei da termodinâmica.

Tem-se também a condição de trabalhar o conceito de ciclo ideal, por meio do ciclo de Carnot.

Um quadro comparativo que pode servir de exemplo é apresentado a seguir:



Rendimento de motores	%
 vapor simples (locomotivas)	6 a 8
 turbinas a vapor, usinas termoeleétricas	16 a 30
 motores de gasolina, aeroplanos	22 a 28
 motores a diesel (fábricas e locomotivas)	32 a 38

Jairo Souza

Figura 7.

Ao analisá-lo, percebe-se que, em qualquer motor, há grande perda da energia fornecida. Retome aqui a primeira lei da termodinâmica, lembrando sua formalização pela expressão:  $Q = (U + W)$ . Para um motor a *diesel*, por exemplo, para cada 100 unidades de energia fornecida ao motor ( $Q$ ), 35 são convertidas em trabalho ( $W$ ) e 65 são transformadas em variação da energia interna do sistema ( $U$ ), ou seja, são perdidos 65% da energia fornecida pela combustão. Essa perda de energia deve-se à energia interna dos gases de escape, da troca de calor do motor com o ambiente e pelo atrito das peças. Assim, é interessante que os alunos compreendam que existem enormes perdas de energia em qualquer máquina térmica, de locomotivas até motores a jato. Compare os rendimentos dos outros tipos de motores.

Tal discussão favorece a compreensão da necessidade de avaliar a potência e o rendimento de um motor. Como há enorme gasto de energia, deve-se levar em consideração, por exemplo, o custo de um combustível no momento de optar por determinada máquina. Têm-se, assim, a oportunidade ideal para trabalhar os conceitos de potência e rendimento.

O conceito de potência já foi trabalhado no ano anterior, e não é de difícil compreensão para os alunos. Levando em conta a pesquisa que fizeram, faça que percebam que o motor mais potente é aquele que realiza mais trabalho em uma unidade de tempo ( $P = W/t$ ). Já o rendimento indica quanto trabalho é produzido em relação ao calor que recebe:  $\eta = W/Q$ .

Com isso, ao se conhecerem o trabalho realizado pelo motor e a energia fornecida pelo combustível, é possível determinar seu rendimento. Ressalte que o trabalho pode também ser calculado pela diferença entre a quantidade de calor oferecida ao sistema e a quantidade de calor não aproveitada.

É bastante provável que os alunos tragam comparações entre carros 1.0, 1.8, 2.0 etc. Como vimos, na Situação de Aprendizagem 4 há uma referência direta à cilindrada de um motor. Assim, ao falarmos em motores de carros, a unidade cilindrada pode ser relacionada à sua potência<sup>1</sup>. Quando se deseja aumentar o rendimento de um motor a combustão, uma solução utilizada é o aumento da razão entre o volume máximo e o mínimo ocupado pela mistura de ar e combustível dentro do cilindro, já que o deslocamento do pistão será tão maior quanto maior for esta razão.

No entanto, é preciso ter clareza de que o aumento da potência não se deve exclusivamente ao aumento da cilindrada do motor, o aprimoramento de outros componentes pode minimizar as perdas de energia por diversos fatores. Como exemplo, podemos citar o uso de mais válvulas de admissão e escape de gases ou a melhoria do sistema de arrefecimento do motor.

Contribua para que os alunos percebam que aumentar o rendimento de um motor significa

<sup>1</sup> Vale lembrar que não é apenas o volume dos cilindros que determina a potência de um carro. As características dos motores, como o regime de rotação, posicionamento dos cilindros, entre outras, determinam a potência. O melhor contraexemplo são os motores 1.0 turbo, que forçam a entrada da mistura por meio de turbinas, postas em movimento pelos gases exalados do próprio motor.



aumentar as variações de pressão e de volume. Tais mudanças expressam-se no diagrama PV do motor como um aumento da área interna delimitada pelo ciclo, já que o trabalho realizado pela máquina corresponde às delimitadas pelas curvas do diagrama PV, ou seja, o trabalho da expansão menos o trabalho da compressão.

É importante permitir que os alunos discutam a possibilidade de uma máquina ter 100% de rendimento, ou seja, não ter perdas. O rendimento nunca é igual a um (100% de eficiência), pois é impossível transformar todo o calor em trabalho, e sempre parte dele tem de ser cedido à fonte fria, como visto na segunda lei da termodinâmica.

Surge, assim, o momento de trabalhar o ciclo de Carnot, visto que, com tantas perdas, é claro o desejo de aproveitar ao máximo a energia utilizada. Isso foi uma preocupação para o engenheiro francês Sadi Carnot, já no século XVIII. Desejando melhorar o rendimento das máquinas térmicas reais, ele estabeleceu o limite teórico, inalcançável, para o rendimento de qualquer máquina real. Carnot percebeu que qualquer máquina operando em seu ciclo ideal, que não considera quaisquer dificuldades técnicas (ciclo de Carnot), teria rendimento máximo operando em um ciclo completamente reversível, independentemente da substância utilizada.

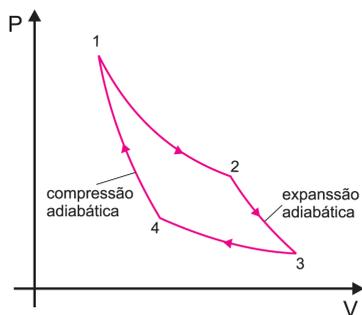


Gráfico 4.

Mesmo sendo um limite não alcançável, o estudo teórico de Carnot possibilitou aprofundar a compreensão sobre o funcionamento das máquinas térmicas. Seu diagrama PV seria como o representado no Gráfico 4, consistindo de duas

isotermas (1-2 para a fonte quente, durante o processo de expansão e 3-4, para a fonte fria, durante a compressão) situadas entre duas adiabáticas.

Carnot mostrou que a parcela máxima de energia que pode ser convertida em trabalho útil depende da diferença de temperatura entre a fonte quente e a fonte fria. A equação que relaciona esse fato é dada por:  $\eta_{\text{ideal}} = (T_{\text{Quente}} - T_{\text{Fria}}) / T_{\text{Quente}}$ .

Ou seja, o rendimento ideal depende apenas da diferença de temperatura entre a entrada e a saída. Como se trata da razão entre temperaturas, deve-se utilizar a escala absoluta, expressando-as então em Kelvin (lembre-se que  $T_{\text{C}} = T_{\text{K}} - 273$ ). Essa relação mostra, por exemplo, que, quando uma turbina estiver a 400K (127 °C), e a fonte fria a 300K (27 °C), o rendimento ideal é igual a 1/4. Isso significa que, mesmo sob condições ideais de temperatura, apenas 25% do calor fornecido à turbina pode ser convertido em trabalho.

Uma busca por novos materiais vem da necessidade de uma melhoria no rendimento das máquinas. E o ciclo de Carnot aponta que quanto mais alta for a temperatura da fonte quente, mais o rendimento estará próximo de seu máximo. Assim, o ponto de fusão do material com que são construídos os motores torna-se um obstáculo a ser superado quando se precisa aumentar muito as temperaturas de operação. Hoje, já se utilizam motores com alguns de seus elementos em cerâmica, o que possibilita um maior rendimento, visto que eles são capazes de suportar maiores temperaturas de operação.

Para finalizar, retome, entre as questões propostas inicialmente, aquelas que eventualmente deixaram dúvidas ou ficaram em aberto para responder com os alunos.

Na próxima aula, a apresentação do conceito de entropia será feita por meio da exploração desse fato. Os alunos deverão fazer uma pesquisa para tentar responder a uma pergunta que relaciona a entropia com o princípio da



conservação de energia. Assim, lembre os alunos de ler o roteiro da Situação de Aprendizagem 7 antecipadamente para que eles possam realizá-la.

Com a sistematização da Situação de Aprendizagem 6, concluímos mais um tema de Física térmica. Neste momento, os alunos devem estar mais familiarizados com os conceitos de calor, energia e trabalho. Eles devem compreender minimamente o funcionamento das máquinas

térmicas e, assim, entender os princípios fundamentais da termodinâmica, já que eles fundamentam suas construções. Os alunos devem, então, ser capazes de caracterizar o funcionamento dessas máquinas em termos de ciclos fechados, bem como saber calcular a potência e o rendimento de máquinas térmicas reais.

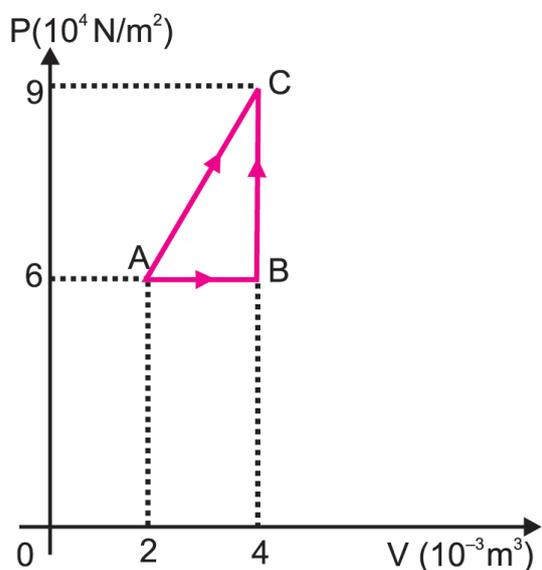
O próximo tema possibilita aprofundar o conceito de energia, trabalhando suas transformações e sua degradação.

## GRADE DE AVALIAÇÃO

	Indicadores de Aprendizagem
Situação de Aprendizagem 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Analisar fatores sociais, econômicos e históricos associados à origem e ao desenvolvimento das máquinas térmicas, avaliando seus impactos sobre a sociedade.</li> <li>– Compreender a relação entre energia mecânica e calor.</li> <li>– Reconhecer diferentes tipos de máquinas térmicas presentes no mundo contemporâneo.</li> </ul>
Situação de Aprendizagem 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Explicar os princípios básicos de funcionamento de um motor a combustão interna.</li> <li>– Identificar e comparar características e o funcionamento de diferentes tipos de motores a combustão.</li> <li>– Caracterizar e comparar o funcionamento de um motor a combustão e de uma turbina a vapor em termos de ciclos fechados.</li> <li>– Analisar e interpretar os diagramas PV de uma turbina a vapor e de um motor a combustão.</li> </ul>
Situação de Aprendizagem 5	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Explicar os princípios básicos de funcionamento de um refrigerador, reconhecendo-o como uma máquina térmica.</li> <li>– Comparar o funcionamento de um refrigerador ao de outras máquinas térmicas.</li> <li>– Analisar e interpretar os diagramas PV de diferentes ciclos das máquinas térmicas.</li> <li>– Reconhecer os princípios fundamentais da termodinâmica que norteiam a construção e o funcionamento de diferentes máquinas térmicas.</li> </ul>
Situação de Aprendizagem 6	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Compreender conceitos de potência e de rendimento de uma máquina.</li> <li>– Comparar e analisar a potência e o rendimento de diferentes máquinas térmicas a partir de dados reais.</li> <li>– Estimar e calcular a potência e o rendimento de máquinas térmicas reais.</li> <li>– Compreender o ciclo de Carnot como modelo ideal de operação de uma máquina térmica, associando-o à impossibilidade de existência de uma máquina térmica com 100% de rendimento.</li> <li>– Sistematizar e aplicar em situações-problema os princípios da termodinâmica.</li> </ul>

## PROPOSTAS DE QUESTÕES PARA APLICAÇÃO EM AVALIAÇÃO

1. Em um cilindro com um êmbolo, um gás é levado de um estado inicial A até um estado final C. Isso ocorre seguindo dois processos diferentes, AC e ABC, como mostra o diagrama abaixo.



Sabe-se que 300 J de calor são absorvidos pelo sistema no processo AC. Sendo assim, determine:

- Qual é o trabalho realizado pelo sistema nos dois processos?
- Qual foi a variação de energia interna do sistema no processo AC?
- Qual foi a variação de energia interna do sistema no processo ABC?
- Qual foi o calor absorvido pelo gás no processo ABC?

a) O trabalho é encontrado quando se calcula a área sob o gráfico  $P \cdot V$ .

$$\text{Assim, } W_{AC} = (9 \cdot 10^4 + 6 \cdot 10^4) \cdot 2 \cdot 10^{-3}/2.$$

$$\text{Logo, } W_{AC} = 150 \text{ J e } W_{ABC} = 6 \cdot 10^4 \cdot 2 \cdot 10^{-3}.$$

$$\text{Logo, } W_{ABC} = 120 \text{ J.}$$

b) No processo AC, como houve a absorção de 300 J, temos, de acordo com a primeira lei da termodinâmica, que:  $Q_{AC} = \Delta U + W$ . Assim,  $300 = \Delta U + 150$ . Logo,  $\Delta U = 150 \text{ J}$ .

c) Uma das leis básicas da termodinâmica afirma que a variação da energia interna de um sistema não depende do processo que o leva de um estado inicial a um estado final. Sendo assim, no processo ABC a variação da energia interna do sistema será a mesma, ou seja,  $\Delta U = 150 \text{ J}$ .

Professor, perceba que no processo ABC o trabalho realizado foi de 120J, portanto o calor absorvido no processo foi menor do que em AC:

$$Q = \Delta U + W$$

$$Q = 150 + 120$$

$$Q = 270 \text{ J.}$$

É importante atentar para esse fato, pois os alunos podem tentar resolver este item utilizando o valor de 300J; porém deve ser reforçada a informação do enunciado de que esse valor corresponde ao calor absorvido no processo AC e não ABC.

$$d) Q_{ABC} = \Delta U + W.$$

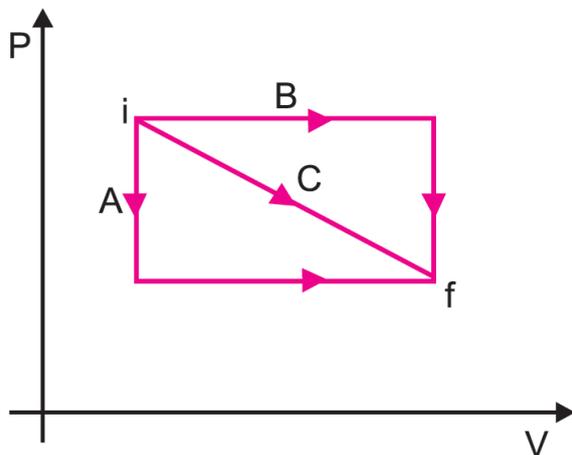
$$\text{Logo, } Q_{ABC} = 150 + 120$$

$$Q_{ABC} = 270 \text{ J.}$$

2. Após saber como funciona uma geladeira, um aluno tem a seguinte ideia: “Geralmente, a cozinha da minha casa é muito quente. Então, farei o seguinte: fecharei bem suas portas e janelas e deixarei aberta a porta da geladeira! Assim, conseguirei resfriar o ambiente da cozinha!”. Justifique fisicamente se essa ideia dará certo ou não.

*A ideia do aluno não dará certo, ou melhor, acontecerá justamente o contrário, ou seja, a temperatura da cozinha vai se elevar! A geladeira vai retirar uma quantidade de calor do seu interior e, como a porta está aberta, ela acabará retirando parte do calor da cozinha. Contudo, o condensador da geladeira irá rejeitar para o próprio ambiente da cozinha uma quantidade de calor maior do que a retirada, visto que o compressor realizou trabalho. Perceba que, mesmo com a porta fechada, uma geladeira tende sempre a aumentar a temperatura do ambiente onde ela se encontra, já que sempre rejeita calor.*

3. Um sistema termodinâmico sofre um acréscimo de energia interna de 1 000 J, por meio de dois processos distintos. Sendo assim, responda:



- a) Quando se realiza sobre o sistema um trabalho de 1800 J, qual é a quantidade de calor envolvida no processo? Esse calor é absorvido ou cedido pelo sistema?
- b) Qual o trabalho envolvido em um processo no qual esse sistema recebe 800 J de calor do meio externo? Esse trabalho foi realizado pelo sistema ou sobre o sistema?

*a) De acordo com a primeira lei da termodinâmica, temos que:  $Q = \Delta U + W$ . Logo,  $Q = 1000 - 1800$ . Assim,  $Q = -800$  J, quantidade de calor cedida pelo sistema. Note que o valor do trabalho foi negativo, visto que foi realizado sobre o sistema.*

*b)  $Q = \Delta U + W$ . Assim,  $800 = 1000 + W$ . Logo,  $W = -200$  J, trabalho realizado sobre o sistema.*

4. Qual é o rendimento máximo de uma máquina a vapor, com sua caldeira a 227 °C, nas seguintes situações.

- a) Como nas locomotivas a vapor de antigamente, o vapor escapa direto para a atmosfera em pressão normal.
- b) Com um condensador, que resfria o vapor na saída, em temperatura ambiente de 27 °C.

*a) Nesta primeira situação, como o vapor escapa diretamente para a atmosfera, então ele não se condensa. Assim, a temperatura de condensação, 100 °C, é a menor temperatura que o vapor pode atingir nessas condições. Então, de acordo com a expressão:*

$$\eta = \frac{(T_{\text{Quente}} - T_{\text{Fria}})}{T_{\text{Quente}}}$$



temos:  $T_{\text{Quente}} = 227 + 273$

$$T_{\text{Quente}} = 500 \text{ K}$$

$$\text{e } T_{\text{Fria}} = 100 + 273$$

$$T_{\text{Fria}} = 373 \text{ K.}$$

O rendimento então será:

$$\eta = \frac{(500 - 373)}{500} = 0,25,$$

ou seja  $\eta = 25\%$ .

b) Já com o condensador,

$$T_{\text{Fria}} = 27 + 273$$

$$T_{\text{Fria}} = 300 \text{ K.}$$

O rendimento então será:

$$\eta = \frac{(500 - 300)}{500} = 0,40,$$

ou seja,  $\eta = 40\%$ .

5. Um gás é levado de um estado inicial  $i$  para um estado final  $f$  por meio de três processos diferentes, A, B e C, como mostrado no diagrama da questão 3. Determine qual é a transformação na qual o gás absorve a maior quantidade de calor.

*De acordo com a primeira lei da termodinâmica, temos que  $Q = \Delta U + W$  e, como a variação da energia interna não depende do processo que leva um sistema de um estado inicial até um estado final,  $\Delta U$  terá o mesmo valor nos três processos. Portanto, absorverá maior quantidade de calor o processo no qual terá sido realizada a maior quantidade de trabalho. Analisando o gráfico, fica claro que esse é o processo B, visto ser aquele que possui a maior área sob o gráfico.*

## TEMA 3 – ENTROPIA E DEGRADAÇÃO DA ENERGIA

Sabemos que a energia está presente em todas as nossas ações cotidianas. Sendo assim, é imprescindível que saibamos avaliar sua disponibilidade e qualidade, bem como considerar seu custo em nossos projetos, sejam pessoais ou em planejamentos governamentais.

É fundamental que se discuta na educação básica o papel das fontes de energia. Ter um conhecimento mínimo sobre a matriz energética do país, reconhecendo suas fontes em termos de renovação ou não da energia, é importante para a formação de um cidadão autônomo e capaz de agir no mundo em que vive.

Para isso, propomos as Situações de Aprendizagem 7 e 8 para que os alunos tomem conta-

to, por meio de uma pesquisa, com informações sobre as fontes primárias de energia utilizadas no país.

Isso permite estudar as transformações para formas de energia úteis para o uso final, como a eletricidade, acionamento mecânico ou iluminação, ressaltando o princípio da conservação da energia.

Ao se aprofundar o estudo das fontes energéticas, é possível, então, trabalhar o ciclo de energia da Terra, relacionando-o com a produção, a transformação, o consumo e as leis da termodinâmica que regulam esses processos. Ao mostrar de onde vem e para onde vai a energia, concluímos o estudo da Física térmica.

### SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 7 UMA PERGUNTA INTRIGANTE: POR QUE TEMOS DE ECONOMIZAR ENERGIA JÁ QUE A FÍSICA DIZ QUE ELA NÃO SE PERDE?

Esta Situação de Aprendizagem possibilita iniciar um aprofundamento na segunda lei da termodinâmica. Por meio de um aparente paradoxo (se a energia se conserva, por que economizá-la?), os alunos são levados a uti-

lizar os princípios fundamentais da termodinâmica para tentar resolvê-lo. Assim, podem ser introduzidos o conceito de entropia e as discussões pertinentes ao princípio da conservação da energia.



**Tempo previsto:** 2 aulas.

**Conteúdos e temas:** fontes e transformações de energia; processos que envolvem transformações de energia; princípio da conservação de energia; leis da termodinâmica; entropia.

**Competências e habilidades:** reconhecer os ciclos de energia no sistema terrestre; calcular balanços energéticos de alguns processos de transformação da energia na Terra; relacionar as necessidades energéticas como problema da degradação da energia; ler e interpretar gráficos e tabelas; redigir texto informativo e sugestivo sobre economia de energia usando conceitos físicos.

**Estratégias:** realização de uma pesquisa para tentar responder a um aparente paradoxo; elaboração de um pequeno texto que simule a resposta a um leitor de revista de divulgação científica.

**Recursos:** roteiro da atividade 7; pesquisa utilizando internet, biblioteca etc.

**Avaliação:** avaliar a variedade e a qualidade das manifestações do aluno durante a realização das atividades em termos de postura em relação aos colegas e ao professor; seu envolvimento na realização e análise das questões propostas no roteiro e sua compreensão dos conceitos físicos envolvidos; avaliar redação do texto respondendo para um "leigo" a pergunta contida no roteiro.

## Desenvolvimento da Situação de Aprendizagem

Organize a turma em grupos de no máximo cinco alunos para a realização desta Situação de Aprendizagem. O objetivo é trabalhar o conceito de entropia a partir das respostas encontradas para a pergunta colocada no roteiro.

Como é bastante complicado elaborar atividades que abordem esse conceito com o aprofundamento adequado para o Ensino Médio, uma boa alternativa é iniciar esse estudo por

meio das discussões que surgem na tentativa de responder à questão colocada, que se torna bastante intrigante caso se consiga mobilizar os alunos. Deixe que eles pensem inicialmente sobre a questão, antes de fazerem suas consultas. Depois, com os materiais disponíveis, dê um tempo para que discutam e elaborem suas respostas. Acompanhe as discussões em cada um dos grupos, orientando-os no que for necessário.

### Roteiro 7 – Uma pergunta intrigante: por que temos de economizar energia já que a Física diz que ela não se perde?

Com os nossos estudos, foi possível perceber o quanto vivemos cercados de processos que envolvem transformações de energia. Usamos a energia proveniente do Sol, quando, por exemplo, nos alimentamos e utilizamos a energia armazenada nas plantas pela fotossíntese. Da mesma forma, vimos que a queima do gás butano (gás de cozinha) transforma energia química em energia térmica ao se utilizar o fogão no momento de cozinhar os alimentos. Sabemos que a energia



armazenada nos combustíveis é utilizada nos diversos meios de transporte, transformando-se em energia cinética e por aí vai...

Nas mais variadas situações, sabemos que a energia se transforma. Contudo, em geral, a energia se conserva. O princípio da conservação da energia é um dos mais fundamentais princípios da natureza.

Mas pensando nisso surge um pequeno problema: frequentemente a mídia discute sobre crise energética, excesso no consumo de energia e necessidade de racionalização de seu uso. Ora, se a energia se conserva, significa que ela não se perde. Assim, por que se fala em crise de energia? Por que se preocupar com seu consumo? A energia pode acabar?

Você pode responder a essas perguntas a partir dos conceitos da termodinâmica. Para isso, use os meios fornecidos pelo seu professor (livros didáticos, textos extraídos de *sites*, jornais ou revistas de divulgação científica).

Depois das consultas e discussões e uma conclusão do grupo, redija um pequeno texto dirigido a um leitor de uma revista de divulgação que tenha enviado a dúvida, justificando por que é necessário economizar energia, mesmo que ela seja algo “que se conserva”. Escolha um título que considere sugestivo e que leve o “leitor” a se interessar pelo seu texto.

## Encaminhando a ação

A baixa eficiência dos motores a combustão interna e a irreversibilidade dos ciclos termodinâmicos são boas “pistas” para que os alunos percebam que, embora a energia se conserve sempre, nem sempre é possível transformá-la na direção que queremos.

O intuito é relacionar a resposta com a segunda lei da termodinâmica e, conseqüentemente, com o conceito de entropia. Os alunos devem perceber o que foi estudado no tema anterior, ou seja, parte da energia utilizada para realizar um trabalho sempre é transformada em calor. E, dessa forma, a parcela de energia transformada em calor é “perdida”, no sentido de que não pode ser reutilizada para gerar mais trabalho.

Um motor, por exemplo, esquenta ao ser utilizado e, para produzir mais trabalho, é preciso injetar mais combustível. Assim, na realidade, não ocorre uma perda efetiva de energia. O que

acontece é que ao ser convertida em calor há uma degradação dessa energia de forma que não podemos mais utilizá-la para gerar trabalho útil.

O conceito de entropia está então ligado a essa ideia de degradação da energia, da perda da capacidade de sua utilização. Também por isso é preciso que haja um consumo racional de energia, visto que suas reservas são limitadas.

É preciso ressaltar que o conceito de entropia talvez seja um dos mais difíceis de ensinar, pois precisa de alto grau de abstração e, principalmente, um domínio razoável da estrutura do conhecimento físico. Por isso, seu tratamento em sala de aula requer muito cuidado e trabalho.

A segunda lei da termodinâmica possui diferentes enunciados que, no fundo, tratam da mesma coisa: há restrições no modo como o calor e outras formas de energia podem ser transferidos e realizam trabalho. Já vimos que um deles é: “Não é possível construir uma máquina que con-



verta todo o calor em trabalho”. Sempre que há uma transformação de energia térmica em qualquer outro tipo de energia, parte do calor é cedida ao ambiente. Essa energia não é destruída, apenas não pode ser usada para gerar trabalho. Caso a restrição não existisse, bastaria diminuir apenas um pouco da temperatura do oceano e teríamos energia suficiente para mover todos os navios da Terra.

Os motos-perpétuos oferecem uma oportunidade interessante para discutir em sala de aula as possibilidades de produção de trabalho. Você pode utilizar um dos esquemas de moto-perpétuo encontrados em diversos livros e questionar os alunos se seria possível produzir trabalho a partir deles de forma inesgotável.

Outro desses enunciados é: “O calor não flui espontaneamente de um corpo frio para um corpo quente”. Essa afirmação é facilmente observada no dia a dia, quando, por exemplo, deixamos uma taça de sorvete fora da geladeira por certo tempo. Sabemos que o sorvete vai derreter, pois o calor passa do ar para ele, excedendo sua temperatura de fusão. Da mesma forma, o calor de uma xícara de café é transferido para o ar, esfriando o café. Não há sentido acreditar que o contrário pudesse acontecer, ou seja, que o café se tornasse mais quente ainda enquanto o ar ao seu redor esfriasse.

Note que essa lei não diz que o calor não pode passar do corpo mais frio para o mais quente, afinal é isso o que ocorre em um refrigerador. O que ela afirma é que isso não acontece espontaneamente<sup>2</sup>. Para que isso ocorra, na hora de gelar um sorvete, por exemplo, é preciso gastar energia, fato que se evidencia no momento em que você paga sua conta de luz. Ainda que esse enunciado da segunda lei da termodinâmica pareça trivial pelas observações cotidianas, é preciso ressaltar

que, do ponto de vista do princípio da conservação da energia, não há motivo para que haja esse sentido preferencial, com o calor passando espontaneamente sempre do mais quente para o mais frio.

Por trás do que é aparentemente trivial, esconde-se o mistério de todas as mudanças que tornam o passado diferente do futuro: a seta do tempo, a direcionalidade do tempo no Universo. A natureza privilegia uma direção para o transcurso dos acontecimentos, para a passagem do tempo, de forma que todos os fenômenos espontâneos ou naturais são irreversíveis.

Outro enunciado é: “Todo sistema isolado torna-se mais desordenado com o passar do tempo”. A entropia seria uma medida dessa desordem. Então, de acordo com a segunda lei da termodinâmica, a entropia sempre aumenta. Para a compreensão desse enunciado, o aluno precisará entender o significado físico dos termos ordem e desordem.

Para a Física, um sistema ordenado é aquele no qual determinada quantidade de objetos, que podem ser átomos ou tijolos, está disposta de forma regular e previsível. Assim, os átomos de um cristal ou os tijolos fixados em uma parede são sistemas altamente ordenados.

Já um sistema desordenado, fisicamente, é aquele no qual os objetos estão dispostos de forma irregular, como os átomos de um gás ou os tijolos espatifados depois de uma demolição. Então, de acordo com esse princípio da termodinâmica, é possível entender, por exemplo, o que ocorre com as moléculas de gás que escapam de um vidro de perfume: elas se movem de um estado relativamente ordenado, quando estão confinadas no pequeno vidro, para um estado altamente desordenado.

<sup>2</sup> O melhor seria dizer que a probabilidade de que isso ocorra espontaneamente é muito baixa, próxima de zero. Leia mais sobre isso usando uma abordagem estatística para o estudo do calor.



Como a entropia sempre cresce, significa que a desordem sempre aumenta, explicando por que as moléculas do gás não voltam espontaneamente para o vidro de perfume depois de aberto. Talvez esse seja uma dos enunciados mais profundos da segunda lei, visto que nos diz algo a respeito da ordem do próprio Universo.

Faça os alunos perceberem outro interessante enfoque: o conceito de entropia diz que os sistemas naturalmente progridem da ordem para a desordem. *Se assim é, como sistemas biológicos se desenvolvem e mantêm alto grau de ordem? Seria a própria vida uma violação da segunda lei da termodinâmica?*

A resposta a esse aparente paradoxo está no fato de que, para se produzir ordem a partir da desordem, sempre é necessário que seja realizado trabalho, logo, sempre há gasto de energia para a produção de estados altamente ordenados.

Os seres vivos não são sistemas isolados, o que permite trabalhar com a ideia de complexidade. Existem na Física e na Química alguns sistemas que são altamente organizados, mas que surgem espontaneamente a partir de estados altamente desorganizados.

Tais sistemas têm a capacidade de trocar energia com o exterior. É essa troca que fornece a energia necessária para a formação de estados ordenados e, em certos casos, possibilita sua manutenção, impedindo que eles se degenerem para um estado final desordenado.

Além disso, esses sistemas são capazes de interagir consigo mesmos, e é devido a essa capacidade de interação que eles podem se ordenar. A vida parece então surgir desse processo espontâneo de ordem a partir da desordem.

A ordem associada com a vida na Terra é produzida com o auxílio da energia solar. Plantas usam a energia proveniente do Sol em minúsculas “fábricas” de energia, os chamados cloroplastos. Usando a clorofila, no processo de fotossíntese, elas convertem a energia do Sol e a armazenam em moléculas ordenadas de açúcar. Desse jeito, carbono e água, que estão em um estado mais desordenado, são combinados para formar as moléculas de açúcar, mais ordenadas.

Em sistemas animais, também há dentro das células as mitocôndrias, que usam a energia armazenada na molécula de açúcar proveniente da ingestão de alimentos para produzir estruturas mais ordenadas. Com isso, tem-se o mote para a discussão das próximas aulas.

Finalize a Situação de Aprendizagem solicitando o texto aos alunos (individualmente, de preferência). Peça que se coloquem no lugar de um “especialista” ou “jornalista” para quem a pergunta inicial da atividade tenha sido feita por um leitor da revista de divulgação científica. Eles devem escolher um título instigante e criativo, redigir de forma clara e acessível, podendo-se também incluir uma ilustração. Se possível, escolha um local na escola, como um mural, onde possam divulgar seus textos para outros alunos e professores.

Nas próximas aulas, concluímos o estudo da Física térmica por meio de um fechamento geral sobre os processos de produção e transformação de energia. Para isso, os alunos deverão realizar uma pesquisa, na qual irão encontrar dados referentes ao balanço energético brasileiro, realizado pelo Ministério de Minas e Energia (MME). Procure entregar aos alunos o roteiro da Situação de Aprendizagem 8 com antecedência para que eles tenham tempo de realizá-la.



## SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 8 O BALANÇO ENERGÉTICO DO BRASIL E OS CICLOS DE ENERGIA NA TERRA

Nesta Situação de Aprendizagem, os alunos deverão fazer uma pesquisa para conhecer as diferentes fontes de energia brasileira e seu consumo. O objetivo é fazer com que os alunos saibam

caracterizar o ciclo de energia natural na Terra, perceber sua influência sobre diferentes fontes de energia utilizadas no mundo, alguns de seus impactos, vantagens e desvantagens.

**Tempo previsto:** 2 aulas.

**Conteúdos e temas:** energia e fontes; processos que envolvem transformações de energia; princípio da conservação de energia; leis da termodinâmica; entropia.

**Competências e habilidades:** identificar diferentes fontes de energia na matriz energética brasileira; reconhecer os ciclos de energia no sistema terrestre; calcular balanços energéticos de alguns processos de transformação da energia na Terra; relacionar as necessidades energéticas como problema da degradação da energia; discriminar fontes renováveis de fontes não renováveis de energia; ler e interpretar gráficos e tabelas.

**Estratégias:** realização de uma pesquisa para encontrar informações sobre as principais fontes de energia no Brasil, bem como estudar o ciclo de energia da Terra; análise das informações obtidas; trabalho em grupo; discussão com a classe.

**Recursos:** roteiro da atividade; pesquisa utilizando internet, biblioteca etc.

**Avaliação:** avaliar a variedade e a qualidade das manifestações do aluno durante a realização das atividades em termos de postura em relação aos colegas e ao professor; seu envolvimento na realização e análise das questões propostas no roteiro e sua compreensão dos conceitos físicos envolvidos; avaliar redação do relatório-síntese.

### Desenvolvimento da Situação de Aprendizagem

Separe grupos de no máximo cinco alunos para a realização desta atividade. O objetivo é fazer com que eles tomem contato com as principais fontes de energia da Terra. A análise das informações contidas no Balanço Energético Nacional serve de pano de fundo para discutir o ciclo de energia terrestre e sua influência nas fontes de energia.

Coordene a realização da pesquisa de modo que os alunos possam discutir e responder às ques-

tões propostas. Acrescente (ou substitua) questões que considere relevantes. Se achar conveniente e mais adequado, também é possível trazer dados, tabelas e gráficos extraídos do *site* do MME ou de outras fontes confiáveis (que usam esses dados) e espalhá-los na classe para que os alunos os consultem. Procure garantir que tenham clareza das questões e das informações que estão buscando. Também é possível distribuir questões diferentes para os grupos de alunos, de forma que no conjunto se complementem.



### Roteiro 8 – O balanço energético do Brasil e os ciclos de energia na Terra

Basta ligar a televisão para ouvir falar em crise energética, fontes de energia renováveis, biodiesel etc. Além disso, vemos que todo o tempo nossa interação com o mundo é regida pela energia. Desde que acordamos, nos alimentamos para começar o dia, caminhamos para a escola, até mesmo quando dormimos estamos gastando energia.

Vimos como ocorrem os processos que transformam energia quando se aciona o motor de um automóvel ou de uma geladeira.

Sabemos que só acendemos uma lâmpada ou assistimos à TV quando existe energia. Da mesma forma, sabemos que ela rege os fenômenos naturais, como o calor que chega do Sol ou a formação da chuva.

Enfim, o tempo todo estamos consumindo ou transformando algum tipo de energia. Mas, afinal de contas, de onde ela vem? Para onde ela vai?

Para responder a essa pergunta, faremos, inicialmente, uma análise local. Para isso, você deverá entrar no *site* do Ministério de Minas e Energia <<http://www.mme.gov.br>> e buscar informações sobre o Balanço Energético Nacional (BEN), divulgado anualmente pelo MME.

Nele, você encontra inúmeras informações sobre a matriz energética do país, como demanda e fonte em diferentes setores da sociedade e diferentes regiões e dados comparativos em relação ao mundo.

Procure as seguintes informações:

1. Qual a porcentagem de energia mundial utilizada pelo Brasil?
2. Qual é o consumo total de energia do país em seu equivalente em petróleo (TEP – tonelada equivalente de petróleo)?
3. Qual é o perfil das fontes de energia brasileira? Ele mudou com o passar dos anos?
4. Como é o perfil das fontes energéticas brasileiras em relação ao perfil mundial?
5. Qual é a fração de “energia renovável” do Brasil?

No *site*, você encontrará subsídios para responder a essas perguntas. Há também outras fontes de informação que seu professor pode sugerir.

Procure cada uma das informações solicitadas e organize-as de forma clara e sucinta, relacionando os dados que obteve e a resposta a que chegou. Se necessário, apresente tabelas e gráficos que contenham essas informações. Sistematize os dados e conclusões em um breve relatório.



## Encaminhando a ação

Para discutir os resultados de suas pesquisas, vá reapresentando as questões e solicitando que cada grupo responda a uma questão, de modo que os demais grupos a complementem ou contestem, o que possibilita argumentações e debates.

Terminada a apresentação, verifique se os alunos relacionam o suposto “consumo” de energia com a degradação imposta pela segunda lei da termodinâmica.

Pode-se, então, classificar as fontes de energia. Um critério é classificá-las em primárias e secundárias. Aquelas que se originam de processos fundamentais da natureza, como a energia nuclear ou gravitacional, são chamadas de primárias. Aquelas que derivam dessas fontes, representando apenas transformações ou conversões, como a energia da biomassa (que é uma transformação da energia solar) e a das marés (que é uma transformação da energia gravitacional), são chamadas de secundárias.

Então, coloque em questão a origem dessas fontes. *De onde vem o petróleo? A lenha? A água usada em hidrelétricas? O gás ou óleo combustível usado em termoelétricas? O urânio das usinas nucleares? O vento das eólicas? Os materiais orgânicos da biomassa (como biodiesel)?* Identifique a energia solar como fonte primeira de praticamente todas as outras, que possibilita o ciclo da água, a formação de ventos, a fotossíntese realizada por seres vivos soterrados há milhões de anos, produzindo compostos orgânicos como petróleo, carvão mineral e gás natural, e a própria energia solar direta usada para aquecimento ou para geração de eletricidade.

Torna-se possível, então, classificar essas fontes em renováveis e não renováveis, sendo esse um dos critérios importantes usados para discutir e debater vantagens e desvantagens de seus usos no mundo. Antes de discutir esses conceitos e fazer uma classificação, pergunte o que os alunos entendem sobre esses termos e peça

que façam uma lista do que consideram fonte de um tipo e de outro.

Em princípio, qualquer fonte de energia pode ser produzida e repostada na natureza. É a escala de tempo e gasto energético envolvido nessa reposição que determina a classificação em fontes renováveis e não renováveis. As fontes classificadas como não renováveis, como o petróleo, o carvão mineral e o gás natural, são aquelas cuja escala de tempo envolvida no processo de reposição natural é da ordem de milhares ou milhões de anos, além de requerer condições favoráveis, como pressão e temperatura. Quanto à reposição artificial dessas fontes, quando não é impossível, é absolutamente inviável, já que na maioria das vezes envolve um gasto energético igual ou superior à quantidade de energia a ser obtida.

Sabemos que, de acordo com a segunda lei da termodinâmica, nenhuma fonte de energia pode ser considerada inesgotável. Contudo, muitas delas, como a energia solar, não representam qualquer variação significativa em seu potencial ao ser largamente utilizada pela humanidade, tendo assim sua duração avaliada em milhões e até bilhões de anos. Juntamente com essas fontes, são classificadas como renováveis aquelas cuja reposição pode ser feita facilmente, envolvendo escalas de tempo da ordem de alguns anos, como a biomassa.

Discutir a origem das fontes de energia permite, por exemplo, retomar a ideia de que gás de cozinha, *diesel*, gasolina, carvão e lenha são substâncias orgânicas que armazenam energia química que é transformada em calor quando são queimadas. O petróleo, o carvão mineral e o gás natural são os combustíveis fósseis, pois foram necessários centenas de milhões de anos e condições ideais de temperatura e pressão para transformar micro-organismos decompostos em uma fonte de energia, que representa cerca de 80% da energia consumida no mundo atualmente. Vale ressaltar que foram micro-organismos oceânicos que resultaram em petróleo, não fósseis como os



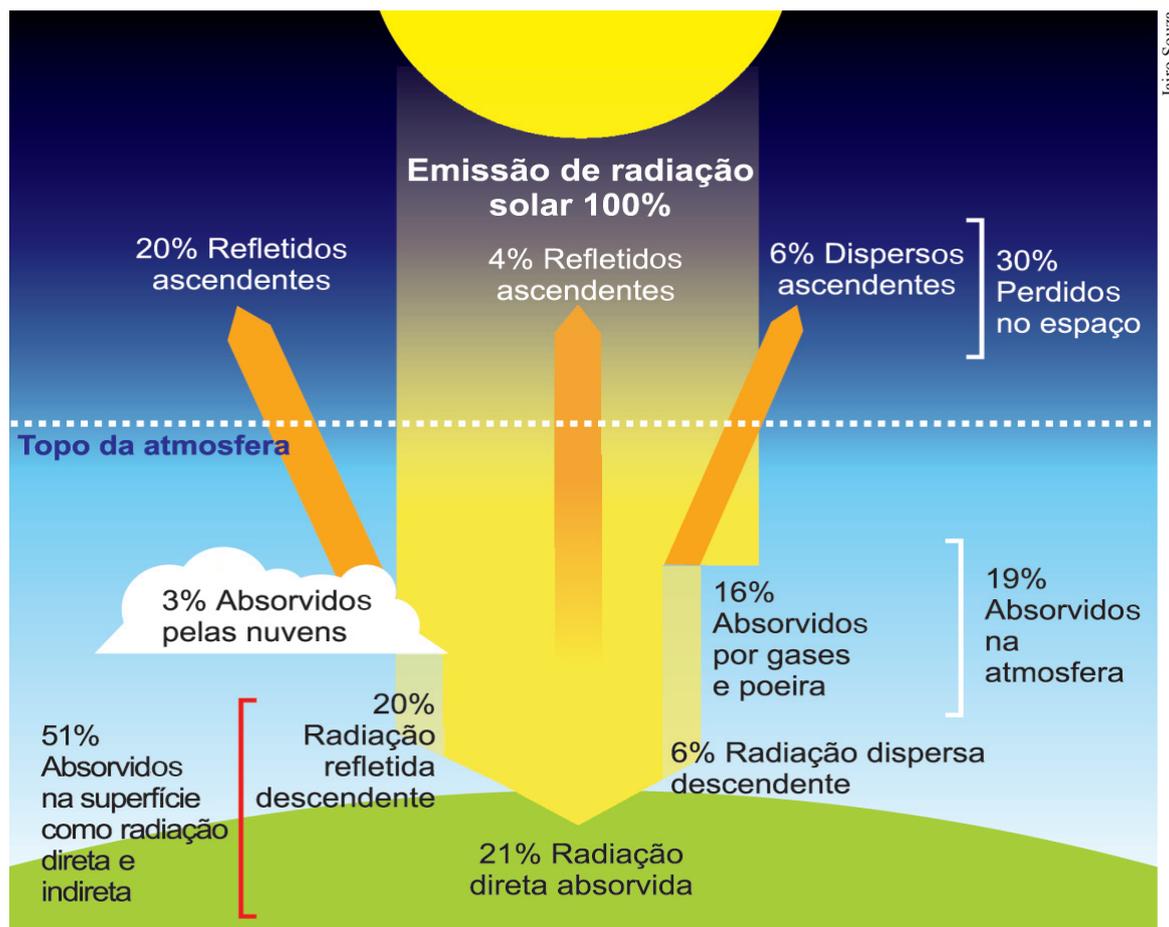


Figura 8.

de dinossauros, e que onde há petróleo, já foi oceano: “O mar já virou sertão...”

Já a biomassa é produzida pela lenha, álcool e outras substâncias orgânicas, como o bagaço de cana ou a casca de arroz, esterco, carvão vegetal e lixos.

Para complementar, pode-se apresentar um esquema que represente o ciclo de energia no planeta, possível de se encontrar em diversos livros, como o da Figura 8.

Problematize o que esse ciclo representa, retomando a relação entre ele e as fontes de energia que utilizamos e mostrando de que forma Sol e Terra constituem um sistema de troca de energia.

Por meio dessas discussões, é possível retomar os ciclos que regulam a vida na Terra, como o ciclo da água, utilizado anteriormente no estudo da formação das chuvas, apresentar o ciclo do carbono e retomar o próprio ciclo da energia, que foi estudado quando se abordou o efeito estufa.

Dessa forma, fecha-se o ciclo do estudo da Física térmica, formalizando o estudo da energia e do calor, mostrando como são essenciais para a existência e manutenção da vida.

Sugerimos que escolha um momento, em que se poderá trabalhar o tema de maneira mais adequada à sua turma. Você pode trazer recortes de jornal para discutir notícias relacionadas

ao consumo de energia, ao desenvolvimento do biodiesel no país, às implicações do controle de energia no mundo. Também pode propor e resolver questões do Enem que tratam do tema. Como esse assunto é muitas vezes tratado em

aulas de Biologia e Geografia, entre em contato com os professores destas disciplinas em sua escola para planejar as discussões em sala de aula e sistematizar o conteúdo conjuntamente, caso seja possível.

## GRADE DE AVALIAÇÃO

	Indicadores de Aprendizagem
Situação de Aprendizagem 7	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Estabelecer critérios para argumentar sobre a necessidade de racionalização do uso de energia no mundo.</li> <li>– Compreender as necessidades energéticas como problema da degradação da energia.</li> </ul>
Situação de Aprendizagem 8	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Identificar as diferentes fontes de energia na Terra, suas transformações e sua degradação.</li> <li>– Utilizar e interpretar diferentes escalas de tempo para identificar fontes renováveis e não-renováveis de energia.</li> <li>– Pesquisar, sistematizar e interpretar informações sobre a matriz energética brasileira.</li> <li>– Compreender o significado e a importância dos ciclos naturais para a manutenção da vida, em sua relação com condições socioambientais.</li> <li>– Reconhecer o ciclo de energia no Universo e sua influência nas fontes de energia terrestre.</li> <li>– Compreender os balanços energéticos de alguns processos de transformação da energia na Terra.</li> <li>– Identificar e caracterizar a conservação e as transformações de energia em diferentes processos de sua geração e uso social, e comparar diferentes recursos e opções energéticas.</li> </ul>

## PROPOSTAS DE QUESTÕES PARA APLICAÇÃO EM AVALIAÇÃO

1. Em seu quarto, há 1 027 moléculas de ar. Se todas elas se acumulassem em um único lugar, por exemplo, dentro de uma caixa aberta

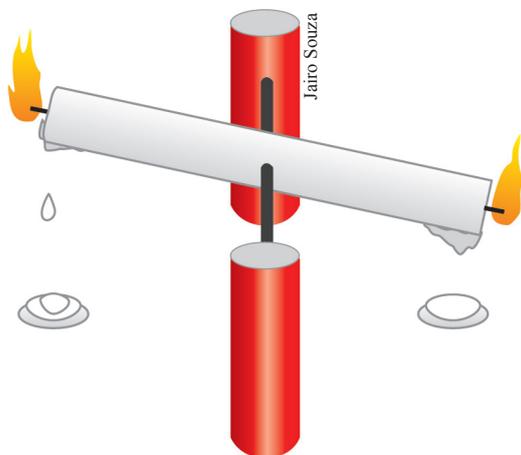
ao lado de sua cama, você morreria asfixiado. Explique fisicamente por que é muito improvável que isso ocorra.

Como foi visto no estudo da segunda lei da termodinâmica, toda vez que um sistema pode distribuir sua energia livremente, ele sempre o faz de modo que a entropia sempre aumente. Ou seja, em qualquer sistema físico, a tendência natural é o aumento da desordem, de modo que é muito improvável que, espontaneamente, as moléculas de ar se agrupem todas em uma caixa.

2. Quando a água colocada no congelador de sua geladeira se transforma em gelo, passa de um estado de maior desordem molecular para um estado de menor desordem. Esse fato viola o princípio da entropia? Justifique sua resposta.

Não há violação do princípio da entropia, visto que a transformação da água no estado líquido para gelo não ocorre de forma espontânea, ou seja, é preciso que um trabalho seja realizado sobre o sistema para que haja a mudança de estado.

3. Enem 2006 – A figura a seguir ilustra uma gangorra de brinquedo feita com uma vela. A vela é acesa nas duas extremidades e, ini-



cialmente, deixa-se uma das extremidades mais baixa que a outra. A combustão da parafina da extremidade mais baixa provoca a fusão. A parafina da extremidade mais baixa da vela pinga mais rapidamente que na outra extremidade. O pingar da parafina fundida resulta na diminuição da massa da vela na extremidade mais baixa, o que ocasiona a inversão das posições. Assim, enquanto a vela queima, oscilam as duas extremidades. Nesse brinquedo, observa-se a seguinte sequência de transformações de energia:

- a) energia resultante de processo químico → energia potencial gravitacional → energia cinética.
- b) energia potencial gravitacional → energia elástica → energia cinética.
- c) energia cinética → energia resultante de processo químico → energia potencial gravitacional.
- d) energia mecânica → energia luminosa → energia potencial gravitacional.
- e) energia resultante do processo químico → energia luminosa → energia cinética.
4. Enem 2007 – As pressões ambientais pela redução na emissão de gás estufa, somadas ao anseio pela diminuição da dependência do petróleo, fizeram os olhos do mundo se voltarem para os combustíveis renováveis, principalmente para o etanol. Líderes na produção e no consumo de etanol, Brasil e Estados Unidos da América produziram, juntos, cerca de 35 bilhões de litros do produto em 2006. Os EUA utilizam o milho como matéria-prima para a produção desse álcool, ao passo que o Brasil utiliza a cana-de-açúcar. O quadro a seguir apresenta alguns índices relativos ao processo de obtenção de álcool nesses dois países.

Se comparado com o uso do milho como matéria-prima na obtenção do etanol, o uso da cana-de-açúcar é

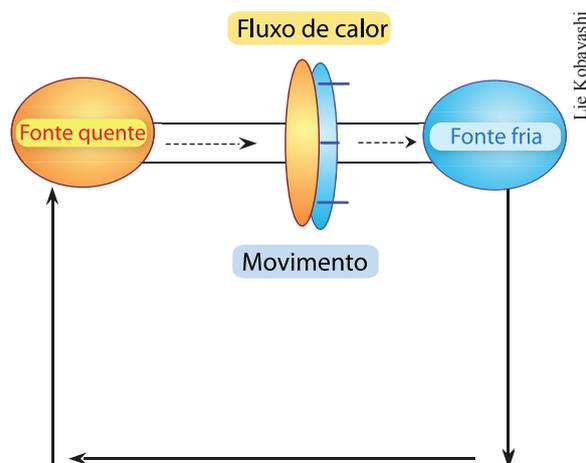
	Cana	Milho
produção de etanol	8 mil litros/ha	3 mil litros/ha
gasto de energia fóssil para produzir 1 litro de álcool	1 600 kcal	6 600 kcal
balanço energético	positivo: gasta-se 1 caloria de combustível fóssil para a produção de 3,24 calorias de etanol	negativo: gasta-se 1 caloria de combustível fóssil para a produção de 0,77 caloria de etanol
custo de produção/litro	US\$ 0,28	US\$ 0,45
preço de venda/litro	US\$ 0,42	US\$ 0,92

Produção de álcool Brasil e EUA. *Revista Globo Rural*, jun.2007 (com adaptações).

- a) mais eficiente, pois a produtividade do canavial é maior que a do milharal, superando-a em mais do dobro de litros de álcool produzido por hectare.
- b) mais eficiente, pois se gasta menos energia fóssil para se produzir 1 litro de álcool a partir do milho do que para produzi-lo a partir da cana.
- c) igualmente eficiente, pois, nas duas situações, as diferenças entre o preço de venda do litro do álcool e o custo de sua produção se equiparam.
- d) menos eficiente, pois o balanço energético para se produzir o etanol a partir da cana é menor que o balanço energético para produzi-lo a partir do milho.

e) menos eficiente, pois o custo de produção do litro de álcool a partir da cana é menor que o custo de produção a partir do milho.

5. Em aulas anteriores, reproduzimos uma eolípila, a máquina de Heron. Ela não pode ser considerada uma “máquina” a vapor, como aquelas desenvolvidas no século XVIII, pois não funciona em ciclos. Uma forma de torná-la uma máquina seria inventar uma forma de fazer o calor voltar para a fonte quente. O esquema abaixo representa uma máquina desse tipo. Se fosse possível fazer o calor voltar espontaneamente para a fonte quente, essa máquina funcionaria infinitamente: seria um moto-perpétuo! Explique por que isso não é possível.



*Embora esta máquina não viole o princípio da conservação de energia, não é possível fazer com que o calor volte espontaneamente para a fonte quente. Sempre é preciso que haja um gasto externo de energia para que o calor retorne para a fonte quente.*

## PROPOSTA DE SITUAÇÃO DE RECUPERAÇÃO

O principal objetivo deste Caderno é levar os estudantes a compreender o equivalente mecânico do calor em uma perspectiva conceitual e histórica, o funcionamento das máquinas térmicas e a degradação da energia. Embora haja várias habilidades e competências listadas ao longo das atividades propostas, pelo menos cinco devem ser garantidas para a continuidade de estudos nesta fase:

1. Identificar as presenças do calor, trabalho e energia em diferentes fenômenos cotidianos.
2. Analisar e prever fenômenos ou resultados de experimentos científicos, organizando e sistematizando informações dadas.
3. Avaliar os impactos sociais e econômicos das máquinas térmicas no processo histórico de desenvolvimento da sociedade (Revolução Industrial).
4. Caracterizar o funcionamento das máquinas térmicas em termos de ciclos fechados.
5. Identificar e caracterizar a conservação e as transformações de energia em diferentes processos de sua geração e uso social, e comparar diferentes recursos e opções energéticas.

Caso essas habilidades não tenham sido obtidas pelos estudantes, sugerimos três estratégias para recuperação:

1. Reaplicação da Situação de Aprendizagem 1, em pequenos grupos (dois ou três

estudantes). Busque discutir com os alunos de que maneira as bolinhas de chumbo aquecem devido ao movimento de queda. Peça que os estudantes avaliem se um tubo mais longo surtiria efeitos mais pronunciados no aumento da temperatura das bolinhas. *Se as bolinhas não estavam quentes no início, de onde surgiu o calor no interior do tubo de PVC que as tornou quentes?* Discuta com os estudantes o que significa dizer que um corpo “aqueceu” em termos da estrutura atômico-molecular. Faça a mesma análise para o corpo responsável pelo aquecimento, ou seja, os braços dos alunos que executaram o trabalho. Pergunte de onde veio esse trabalho. Apresente os experimentos originais de Joule para as medidas de transformação das diversas formas de energia em calor. Busque nas provas do Enem ou em outras provas de avaliação (Fuvest, Unicamp etc.) novas questões sobre o tema.

2. Refaça a Situação de Aprendizagem 3. Porém, peça aos alunos que elaborem esquemas de funcionamento das várias máquinas a vapor dos séculos XVII e XVIII, indicando suas deficiências em relação às máquinas térmicas atuais. Em particular, peça que eles expliquem quais as vantagens de uma máquina que trabalha em ciclos. Esta será uma boa atividade de revisão sobre o tema.
3. Retome com os alunos as cinco questões de avaliação do Tema 3. Se julgar necessário, busque outras questões semelhantes em provas de vestibular ou nas avaliações do Enem.



## RECURSOS PARA AMPLIAR A PERSPECTIVA DO PROFESSOR E DO ALUNO PARA A COMPREENSÃO DO TEMA

Além dos livros didáticos encontrados no mercado, nos *sites* a seguir existe material de apoio para complementar o planejamento das aulas. Há cinco espaços específicos para consulta de materiais de ensino que ampliam as discussões propostas em todo o Caderno:

### Sites

*Ministério de Minas e Energia.* A origem do petróleo. In: Conpet, set. 2009. Disponível em: <[http://www.conpet.gov.br/noticias/noticia.php?segmento=&id\\_noticia=41](http://www.conpet.gov.br/noticias/noticia.php?segmento=&id_noticia=41)>. Acesso em: 14 abr.2009.

O Conpet é um programa do Ministério de Minas e Energia coordenado por representantes de órgãos do Governo Federal e da iniciativa privada e gerido com recursos técnicos, administrativos e financeiros da Petrobras S.A.

O artigo aborda a origem petróleo e também o significado do termo.

*Núcleo de Pesquisa em Inovações Curriculares – NuPIC.* Disponível em: <<http://nupic.incubadora.fapesp.br/portal>>. Acesso em: 19 fev. 2009.

Site virtual do Núcleo de Pesquisa em Inovação Curricular da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo (USP).

Contém sequências de ensino, propostas de atividades, objetos virtuais de aprendizagem, vídeos

sobre atividades e montagens experimentais. Na página principal, o item PCSP contém material específico para algumas Situações de Aprendizagem dos Cadernos desta coleção.

*PEC/PEBII – Construindo sempre.* Disponível em: <[paje.fe.usp.br/estrutura/pec/](http://paje.fe.usp.br/estrutura/pec/)> Acesso em: 19 fev. 2009.

Espaço originário do Programa de Formação Continuada de Professores do Ensino Médio de Física. Contém os Cadernos utilizados nos cursos, com leituras e propostas de atividades de ensino.

*Profis.* Disponível em: <[http://www.if.usp.br/profis/gref\\_leituras.html](http://www.if.usp.br/profis/gref_leituras.html)>. Acesso em: 19 fev. 2009.

Espaço de apoio, pesquisa e cooperação de professores de Física para promover projetos e atividades complementares. Engloba diversos materiais de ensino de Física, como banco de teses e trabalhos na área de ensino de Física, eventos e todo material desenvolvido pelo Gref.

*Pró-universitário Física.* Disponível em: <<http://naeg.prg.usp.br/puni/disciplinas/fisica/homede-fisica/index.htm>>. Acesso em: 19 fev. 2009.

Programa de apoio aos estudantes do Ensino Médio, ministrado por alunos de licenciatura da USP. Contém o material produzido para uso no Ensino Médio, em sua maioria textos e questões.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a proposta da última Situação de Aprendizagem, que caracteriza o ciclo de energia natural na Terra e explora sua influência sobre diferentes fontes de energia utilizadas no mundo, identificando suas transformações e a degradação, terminamos o estudo da Física térmica.

A fim de que as aulas se tornem mais significativas e estimulantes, as atividades propostas sempre buscaram considerar o cotidiano do aluno. O intuito foi fazer com que o ensino da Física seja capaz de fornecer elementos que permitam a construção de uma nova leitura do mundo, apresentando aos alunos uma forma de olhar para os fenômenos presentes no dia a dia de maneira bastante diversa da que estão acostumados.

Caso perceba que os experimentos sejam de difícil acesso para os alunos, sendo impossível

que cada grupo disponha dos materiais experimentais necessários para a realização das atividades, faça-os de maneira demonstrativa, em último caso. Todavia, lembre-se sempre de que todos os alunos precisam observar e entender todo o processo experimental, desde o porquê do arranjo e o levantamento de hipóteses, até a análise dos resultados e a síntese das observações. Até nessa situação de demonstração as competências leitora e escritora devem ser almejadas.

Por fim, é preciso ficar claro que as atividades propostas neste Caderno devem, necessariamente, ser utilizadas de maneira adaptada às condições nas quais se encontram sua escola e sala de aula. Além disso, como qualquer material didático, este Caderno não é autossuficiente e necessita ser complementado por outros materiais de apoio, como os livros didáticos de sua preferência.



 *Anotações*

