



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA

LUIS GUILHERME DA SILVA SANTOS

ENSINO DE TERMODINÂMICA PARA ALUNOS DO FUNDAMENTAL: ANOS FINAIS

RECIFE

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
FÍSICA - LICENCIATURA

LUIS GUILHERME DA SILVA SANTOS

**ENSINO DE TERMODINÂMICA PARA ALUNOS DO FUNDAMENTAL – ANOS
FINAIS**

TCC apresentado ao Curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico de Recife, como requisito para a obtenção do título de licenciado em Física.

Orientador: José Wellington Rocha Tabosa

RECIFE

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Santos, Luis Guilherme da Silva.

Ensino de termodinâmica para alunos do fundamental: anos finais / Luis
Guilherme da Silva Santos. - Recife, 23.
46p. : il., tab.

Orientador(a): José Wellington Rocha Tabosa

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Física - Licenciatura,
23.

Inclui referências, apêndices.

1. Termodinâmica. 2. Máquinas térmicas. 3. Motor de Stirling. 4. Ensino
de física. I. Tabosa, José Wellington Rocha. (Orientação). II. Título.

370 CDD (22.ed.)

LUIS GUILHERME DA SILVA SANTOS

**ENSINO DE TERMODINÂMICA PARA ALUNOS DO FUNDAMENTAL: ANOS
FINAIS**

TCC apresentado ao Curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico de Recife, como requisito para a obtenção do título de licenciado em Física.

Aprovado em: 15/05/2023.

BANCA EXAMINADORA

Professor Dr. José Wellington Rocha Tabosa
Universidade Federal de Pernambuco

Professor Dr. Antônio Azevedo da Costa
Universidade Federal de Pernambuco

Professor Dr. Flávio Menezes Aguiar
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

A minha família por todo apoio prestado durante minha formação educacional.

A Valdomiro e João da Oficina Mecânica por todo suporte durante a construção do motor.

Ao orientador, Prof. Dr. José Wellington Rocha Tabosa, pelas sugestões e todo ensinamento apresentado na disciplina de Termodinâmica Estatística.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Antônio Azevedo da Costa e Prof. Dr. Flávio Menezes Aguiar, por aceitarem o convite para ler este trabalho e por todo conhecimento proporcionado durante as disciplinas na graduação.

RESUMO

O projeto de pesquisa teve como objetivo principal analisar como o ensino de conceitos básicos de termodinâmica se mostra efetivo para alunos da rede fundamental levando em consideração a dificuldade que há nos anos finais, pois é o momento em que eles encontram questões mais complexas, que exigem organização lógica das diferentes áreas do conhecimento. Para a metodologia, ocorreram ao total 5 encontros (3 com a turma do 9º ano e 2 com a turma do 2ºano) e foram ministrados os mesmos conteúdos. Ao início de cada encontro, era distribuída uma ficha para comparar o a evolução dos saberes e a forma que os estudantes explicavam fenômenos e entendiam situações-problemas propostas. Além disso, em cada encontro, ocorria a realização de uma prática experimental sobre o tema com o intuito de trazer para o cotidiano uma forma de entender e visualizar aquilo que estava sendo estudado. Sobre os resultados, apesar de o espaço amostral ter sido pequeno, pode-se concluir que os alunos tiveram um resultado satisfatório durante os encontros e nas respostas dos questionários passados.

Palavras-chave: termodinâmica; máquinas térmicas; motor de Stirling; ensino de física.

ABSTRACT

The main objective of the research project was to analyze how the teaching of basic concepts of thermodynamics is effective for students of the fundamental network taking into account the difficulty that exists in the final years, because it is the moment when they encounter more complex issues, which require logical organization of the different areas of knowledge. For the methodology, there were a total of 5 meetings (3 with the 9th grade class and 2 with the 2nd grade class) and the same contents were taught. At the beginning of each meeting, a form was distributed to compare the evolution of knowledge and the way students explained phenomena and understood proposed problem-situations. In addition, in each meeting, there was an experimental practice on the subject in order to bring to daily life a way to understand and visualize what was being studied. Regarding the results, although the sample space was small, it can be concluded that the students had an satisfactory result during the meetings and in the answers of the past questionnaires.

Keywords: thermodynamics; heat engine; Stirling's engine; physics teaching.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Representação gráfica de um ciclo termodinâmico. O ciclo representado é um Ciclo de Carnot.	16
Figura 2 - Seringa de plástico com bexiga vermelha em seu interior	20
Figura 3 - Visão geral do motor.	31
Figura 4 - Vista lateral do motor.	31
Figura 5 - Vista superior do motor	31
Figura 6 - Diagrama P-V para um motor de Stirling	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 REVISÃO DE LITERATURA	12
3 OBJETIVOS	18
3.1 Objetivo Geral.....	18
3.2 Objetivos Específicos	18
4 METODOLOGIA	19
5 RESULTADOS	21
5.1 Lições Iniciais.....	21
5.2 Operando a Máquina.....	30
5.3 Lições Finais	32
5.4 Indo Além.....	39
6 CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS	43
APÊNDICE A – Questionário 1	45
APÊNDICE B - Questionário final.....	46

1 INTRODUÇÃO

O ensino de física na Educação Básica é marcado por sequelas que, por vezes, oferece poucas condições para o desenvolvimento e aprendizado dos alunos no decorrer do ensino médio. Nesse sentido, destacam-se a falta de formação de profissionais na área, a dependência do livro didático, o método de ensino majoritariamente expositivo, as poucas horas semanais de aula além da dificuldade e falta de interesse dos alunos na componente curricular (COSTA, BARRO, 2015).

Diante disso, pontua-se que a disciplina de Física, conforme a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), é voltada para exploração de situações-problema associadas a contextos do cotidiano e que possibilitem a construção de um conhecimento científico ao longo de sua formação. No entanto, os alunos são desestimulados com uma enorme quantidade de assuntos a serem abordados durante o ano letivo. Além disso, os professores sofrem com o fato de os alunos não terem nem uma boa base matemática que deveria ter sido desenvolvida no ensino fundamental nem uma boa capacidade de interpretação de texto, como afirmam Costa e Barro (2015). Outra problemática que existe é a supressão da autonomia e a quebra na continuidade da transição entre o ensino fundamental e o ensino médio.

Com o exposto acima, volta-se a atenção ao ensino fundamental para analisar como se dá o aprendizado de Física. Em primeira instância, sabe-se que, nesse momento, os alunos estão passando por transformações biológicas, emocionais intrínsecas do desenvolvimento humano. Como se pode observar em Montero e Chiaro (2012, p. 65-66):

[...] a criança desenvolve a capacidade de pensar em termos de hipóteses e probabilidades, isto é, em termos do possível e não somente do concreto imediatamente acessível a ela. Diante de determinado problema, todas as possibilidades podem ser levantadas e pensadas de forma sistemática, o que mostra a emergência de um raciocínio científico. [...] A adolescência se caracteriza por uma fase de grandes mudanças, instabilidade, descobertas e elaboração final da personalidade. O adolescente é idealista e reformador.

Novamente olhando para a BNCC, vê-se a importância de a escola se posicionar com “práticas diferenciadas, capazes de contemplar as necessidades e diferentes modos de inserção social” desses alunos que estão se constituindo socialmente desde os anos iniciais numa formação continuada.

Atrelada a essas mudanças, as capacidades cognitivas também evoluem, de modo que, agora, com a diminuição do egocentrismo social, a criança começa a perceber os pensamentos e necessidades dos outros indivíduos que estão no mesmo ambiente. Com isso em mente, nota-se a importância de desenvolver atividades que envolvam grupos para auxiliar a formação de caráter dos alunos e, além disso, a construção do conhecimento implica em uma ação compartilhada, exigindo uma cooperação e troca de informações entre todos os membros, com consequente ampliação das capacidades individuais. Sob essa perspectiva, analisa-se como o ensino de conceitos básicos de termodinâmica se mostra efetivo para alunos do ensino fundamental levando em consideração a dificuldade que há nos anos finais, pois é o momento em que eles encontram questões mais complexas, que exigem organização lógica das diferentes áreas do conhecimento; considerando apenas a termodinâmica, por exemplo, lidar com várias variáveis é um problema para os alunos, porque, comparativamente, na mecânica newtoniana, uma variável muitas vezes é suficiente para descrever um evento, no entanto, um sistema termodinâmico necessita ser cautelosamente analisado e distinguir quais grandezas são relevantes para a descrição do sistema estudado (VIENNOT, ROZIER, 1991).

Nos anos finais do Ensino Fundamental, as relações sociais, saberes, interesses e curiosidades dos alunos sobre o mundo natural e material continuam sendo indispensáveis. Todavia, ao longo desse percurso, vê-se a necessidade de explorar a crescente capacidade de abstração e da autonomia de ação e de pensamento (BRASIL, 2018). Nesse sentido, os experimentos têm capacidade de reproduzir visualmente e com um toque mais sutil que é mais interessante ao discente do que uma aula expositiva, na qual demandaria mais tempo para traduzir o que se deseja passar e para o aluno conseguir fazer uma associação com sua visão abstrata do conteúdo e, provavelmente, dificultaria a integração do conhecimento. Tomando isso em consideração, é importante notar que, mesmo trazendo experimentos para sala de aula, não é uma garantia de que o conteúdo será completamente transmitido, é necessário haver uma integração entre a obtenção de dados empíricos junto a explicações dos fenômenos, para isso a presença do professor se faz necessária para sanar as imprecisões e erros conceituais apresentados pelos alunos durante a prática (LINN, SONGER, 1991).

Dessa forma, introduzir o ensino de física com aulas que sejam condizentes com a realidade dos alunos e capazes de estimulá-los à construção de um saber científico tem como finalidade sanar em parte os problemas basilares do ensino médio.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Entende-se Termodinâmica “o estudo das transformações de energia envolvendo calor, trabalho mecânico e outros tipos de energia, e como essas transformações podem ser relacionadas com as propriedades da matéria” (YOUNG, FREEDMAN, 2003). Nesse sentido, essa área de estudo está ligada a conceitos do cotidiano como “quente” e “frio”, de modo que se torna indispensável distinguir estes termos popularmente tratados como sinônimos: temperatura e calor.

Observando inicialmente o conceito de calor, pode-se entendê-lo como o fluxo de energia não mecânica que é igual à diferença entre a variação da energia interna e o trabalho diatérmico realizado quando um sistema fechado não está em equilíbrio térmico com a vizinhança e pode sofrer trabalho diatérmico (ZEMANSKY, DITTMAN, 1996). De posse dessa noção, é capaz de entender a ideia de temperatura; geralmente, associa-se tal conceito à sensação de “quente” e “frio”, no entanto, isto é uma análise puramente qualitativa e depende das condições externas. Como se pode conceber em Max Planck (1910):

Se dois corpos, um dos quais se sente mais quente do que o outro, são posto em contato (por exemplo, um pedaço de metal aquecido e água fria), invariavelmente, verifica-se que o corpo mais quente é resfriado, e o mais frio é aquecido até um certo ponto, até que toda a mudança cessa. Diz-se então que os dois corpos estão em equilíbrio térmico. [...] Um corpo A está em equilíbrio térmico com dois outros corpos, B e C, então B e C estão em equilíbrio térmico um com o outro.

Baseado nessa explicação, a temperatura é deixada como uma ideia de uma função arbitrária que se manifesta por satisfazer a condição de equilíbrio térmico, isto é, dois corpos diferentes, A e B, são ditos estarem na mesma temperatura se for possível associar diferentes condições de equilíbrio sob parâmetros arbitrários para tais sistemas de modo que eles estejam em equilíbrio térmico entre si; mais geral, diz-se essas condições estão associadas a uma função cuja curva é denominada isoterma. Por consequente, a temperatura de um sistema é “uma propriedade que determina se o sistema está ou não em equilíbrio térmico com outro sistema” (ZEMANSKY, DITTMAN, 1996).

Sob essa ótica, a condição descrita acima é enunciada na forma de uma lei: a Lei Zero da Termodinâmica, que possui o termômetro – escala empírica de temperatura –, como exemplo mais pedagógico. É possível criar uma escala de temperatura por associar um valor numérico a algum fenômeno observável, e.g., a escala de temperatura Celsius é definida a partir do ponto de fusão e ebulição da

água, respectivamente, 0°C e 100°C (YOUNG, FREEDMAN, 2003). Outras escalas foram criadas para satisfazer conveniência de seu uso; independentemente, todas fazem uso de alguma substância de referência, para contornar isso e encontrar uma escala absoluta de temperatura, foi desenvolvida a escala Kelvin, que tem como base o ponto triplo da água (condição de coexistência entre os estados sólido, líquido e gasoso), nessa escala o valor de 273,16 K corresponde a 0,01°C – e, assim como a escala Celsius, a escala Kelvin é centrígrada.

Antes de seguir para a Primeira Lei da Termodinâmica, serão feitas algumas considerações sobre o modelo de gás ideal. Primeiramente, apesar de esse funcionar apenas para baixas concentrações, ele apresenta uma simplicidade bela que permite entender algumas propriedades de um gás real (HALLIDAY, RESNICK, WALTER, 2016). Essencialmente, um gás ideal obedece a seguinte relação:

$$PV = nRT \quad (1)$$

A equação (1) é conhecida como Equação de Estado para gases ideais, nela P representa pressão que os gases exercem na parede do recipiente, V é o volume do recipiente que contém os gases, n é o número de moles, R é a constante universal dos gases ideais, e T é a temperatura do sistema.

Essa equação é uma consequência de diversos experimentos desenvolvidos ao longo da história da humanidade, dentre eles destaca-se aqui a Lei de Boyle-Mariotte, a Lei de Charles e a Lei de Gay-Lussac. Cada um desses cientistas (como se pode chamá-los atualmente), desenvolveu métodos engenhosos em entender como os gases sob determinadas condições se comportavam quando passavam por uma transformação de estado. Abaixo, discute-se em linhas gerais seu entendimento conforme Max Planck (1910).

Em primeiro ponto, observa-se um sistema que sai de um estado de equilíbrio para outro mantendo sua temperatura constante (processo isotérmico); para essa transformação, foi observada por Boyle que o produto da pressão pelo volume é uma constante, que depende apenas da temperatura (Temperatura de Mariotte). Outro ponto é uma transformação sob pressão constante (processo isobárico), manifestando-se aqui, para um gás ideal, a Lei de Charles: para um processo isobárico, a razão entre temperatura e volume do sistema é uma constante; um fenômeno interessante notado por Gay-Lussac foi que todos os gases (para T=0°C) dilatam a depender de uma mesma constante ($\beta = \frac{1}{273,16} ^\circ\text{C}^{-1}$). Por fim,

considerando o processo sob volume constante (isocórico ou isovolumétrico) apresenta a característica de manter a razão pressão por temperatura como uma constante (Lei de Gay-Lussac). Com isso, juntando os resultados obtidos por esses cientistas, isto é, as relações de proporcionalidades entre as grandezas termodinâmicas consideradas, retoma-se a equação (1) para gases ideais.

Agora, de posse do modelo para gases, pode-se entrar na Primeira Lei da Termodinâmica. Conforme Zemansky e Dittman (1996), a formulação matemática da Primeira Lei contém três ideias: i) a existência de uma função da energia interna; ii) o princípio da conservação da energia; iii) a definição de calor como transferência de energia devido a uma diferença de temperatura. Nesse sentido, ela pode ser expressa como:

$$dU = \delta Q - \delta W \quad (2)$$

A expressão (2) traz consigo uma beleza de relacionar duas quantidades que dependem do caminho escolhido (diferenciais inexatos) e sua diferença resultar em uma quantidade física independente do caminho (diferencial exato), i.e., depende apenas dos pontos inicial e final da transformação termodinâmica. Essa relação, no entanto, não considera a troca de matéria com o meio externo, i.e., o sistema é fechado. E, além do termo δW podem haver outras forças sendo exercidas sobre o sistema. A equação (2) pode ser escrita também da seguinte forma:

$$dU = \delta Q - PdV \quad (3)$$

Comparando (3) e (2) percebe-se que é possível relacionar um diferencial inexato (trabalho) com um diferencial exato; nessa condição, a energia interna de um sistema pode ser caracterizada por três grandezas possíveis de calcular: a pressão (uma quantidade mecânica), o volume (uma quantidade geométrica) e o calor que o sistema troca (se for possível pensar na vizinhança como um calorímetro) (CRAIG, GISLASON, 2002).

A equação (2) apresenta uma relação interessante, pois nota-se que duas grandezas que são diferenciais inexatos (calor e trabalho) resultam em um diferencial exato (energia interna). Apesar disso, pode-se transformar esses termos em diferenciais exatos (ZEMANSKY, DITTMAN, 1996):

$$dU = TdS - PdV \quad (4)$$

Agora, a equação (4) se apresenta de uma forma mais bela e com um novo parâmetro S , chamado de entropia. Uma forma interessante de introduzir tal conceito é como segue abaixo conforme Feynman (2010):

[...] Podemos nos mover por todas as partes de um diagrama pV , e passar de uma condição a outra. Em outras palavras, poderíamos dizer que o gás está em uma certa condição a , e então ele passa para alguma outra condição, b , e iremos exigir que esta transição, feita de a para b , seja reversível. Agora suponha que em todo caminho de a para b temos pequenos reservatórios em temperaturas diferentes, de maneira que o calor dQ removido da substância em cada pequeno passo seja fornecido para cada reservatório com temperatura correspondente àquele ponto no caminho. Então vamos conectar todos esses reservatórios, por máquinas de calor reversíveis, a um único reservatório na temperatura unitária. Quando terminamos de transportar a substância de a para b , envolveremos todos os reservatórios à sua condição original. Qualquer calor dQ que foi absorvido da substância na temperatura T foi convertido agora por uma máquina reversível, e uma certa quantidade de entropia dS foi fornecida na temperatura unitária como se segue: $dS=dQ/T$.

Vale entender um pouco mais a fundo o que significa a entropia. Para tanto, considera-se um corpo em equilíbrio térmico com um reservatório a temperatura T_1 . Em seguida, coloca esse corpo em contato com outro reservatório a temperatura T_2 , tal que $T_1 > T_2$; após o corpo termalizar com T_2 , ele é colocado em contato novamente com o reservatório sob temperatura T_1 . Como discutido anteriormente, ao serem postos em contato, o corpo, que está inicialmente na temperatura T_1 , cede calor ΔQ ao reservatório sob T_2 até que o equilíbrio térmico seja atingido e, em seguida o reservatório sob T_1 cede calor ΔQ ao corpo para atingir o equilíbrio térmico novamente. Nessas transformações, a entropia do sistema sofre a seguinte variação:

$$S_f - S_i = -\frac{\Delta Q}{T_1} + \frac{\Delta Q}{T_2} > 0 \quad (5)$$

Pode-se generalizar o resultado acima para uma situação mais ampla: a variação de entropia em um sistema fechado sempre aumenta. Diferentemente da energia “a entropia [...] não obedece a uma lei de conservação. A energia de um sistema fechado é conservada; ela permanece constante. Nos processos irreversíveis, a entropia de um sistema fechado aumenta” (HALLIDAY, RENISCK, WALTER, 2016).

Olhando rapidamente para a equação (4) novamente, dá-se a denominação de “funções de estado” às grandezas termodinâmicas que não dependem do caminho

tomado durante uma transformação quasi-estática. Dessa forma, a energia interna e a entropia são funções de estado de um sistema termodinâmico.

Considerando o contexto histórico em que a Termodinâmica foi desenvolvida, pode-se afirmar que um dos principais objetivos que convergiam os interesses tecnológicos e científicos era a criação de uma máquina térmica com a maior eficiência possível. O resultado para tal problemática é encontrado no livro de Sadi Carnot, “Reflexões Sobre a Potência Motriz do Fogo e Sobre as Máquinas Adequadas para Desenvolver esta Potência” e, atualmente é uma referência para comparar o rendimento de máquinas térmicas desenvolvidas.

Observando o estudo das máquinas térmicas, credita-se à Clapeyron o primeiro diagrama P-V representado graficamente (com P no eixo das ordenadas e V no eixo das abscissas), um ciclo termodinâmico genérico, como o existente na Figura 1.

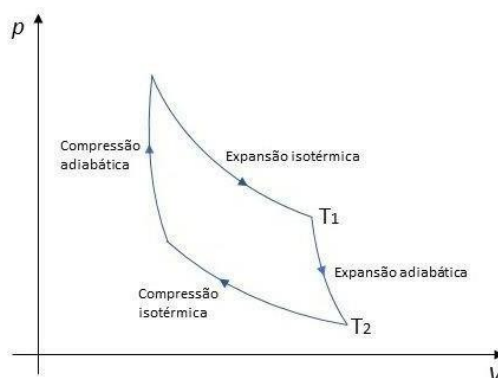


Figura 1. Representação gráfica de um ciclo termodinâmico. O ciclo representado é um Ciclo de Carnot.

Fonte: Toda Matéria.

As transformações termodinâmicas sofridas por uma máquina térmica idealizada por Carnot consideram um processo reversível, ou seja, a máquina poderia atuar como um refrigerador, e pode ser expresso como um ciclo em 4 etapas, das quais dois processos são adiabáticos e dois processos são isotérmicos (LARANJEIRAS, 2014). Além disso, o rendimento de Carnot de uma máquina térmica pode ser determinado apenas pela razão entre as temperaturas das fontes sob as quais ela atua:

$$\eta = 1 - \frac{T_{\text{fonte fria}}}{T_{\text{fonte quente}}} \quad (6)$$

Expandindo essa ideia, nota-se no desenvolvimento de um dos postulados da Segunda Lei da Termodinâmica, um impedimento físico no rendimento de máquinas que se enuncia como segue: “Uma máquina térmica operando em ciclos não pode converter seu calor integralmente em trabalho” (HALLIDAY, RENISCK, WALTER, 2016).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma proposta de ensino capaz de instigar o tornar a aula de física um laboratório para o aprendizado nos primeiros momentos de contato com a ciência formal, de modo que os discentes sejam capazes de filtrar os elementos de maior importância quando estiverem lidando com qualquer situação-problema para além da sala de aula.

3.2 Objetivos Específicos

- Entender princípios e conceitos básicos que regem a termodinâmica;
- Ser capaz de associar os conteúdos do experimento com os eventos do cotidiano;
- Associar os conceitos dos diferentes experimentos trabalhados com intenção de notar a sua interdependência;
- Modelar situações-problemas, filtrando os parâmetros que interessam e tentando entender as limitações quando se cria um modelo para explicar um fenômeno;

4 METODOLOGIA

Após o contato inicial com a instituição onde foi realizado o projeto de pesquisa, desenvolveu-se um plano de aula em conjunto com os professores da componente curricular de Física nas turmas do 9º ano (ensino fundamental) e do 2º ano (ensino médio). Em seguida, na fase de recrutamento, os alunos foram convidados a participar do projeto – destaca-se que, com a turma do 9º ano, as atividades foram desenvolvidas como parte do conteúdo programático após uma discussão com a professora responsável e, somente os alunos que assinaram os Termos de Consentimento e Assentimento tiveram seus dados utilizados nessa pesquisa. Os encontros ocorreram nos horários mostrados na Tabela 1 abaixo.

Data de encontro com 2º ano	Data de encontro com 9º ano
Encontro 1 - 14/04/2023	Encontro 1 - 18/04/2023
Encontro 2 - 28/04/2023	Encontro 2 - 20/04/2023
	Encontro 3 - 24/04/2023

Tabela 1. Datas de encontro com cada turma na qual foi desenvolvida a pesquisa.

Com a turma do 2º ano, o primeiro encontro consistiu em passar um questionário sobre conceitos iniciais de Termodinâmica além de lidar com os conceitos iniciais em Termodinâmica, como temperatura, calor, equilíbrio térmico, conservação da energia, entre outros. Já, no segundo momento (28/04), foi continuado o trabalho com o grupo introduzindo a parte do modelo de gás ideal através de vídeos que mostravam situações de processos: isotérmicos, isobáricos e isovolumétricos e alguns experimentos simples que podem ser reproduzidos em casa; e encerrando com a Segunda Lei da Termodinâmica e mostrando o funcionamento de uma máquina térmica. Nesta etapa, os discentes estavam mais familiarizados com o tema de “gás ideal”, de modo que o conteúdo fluiu mais rapidamente. Aos discentes, foi pedido para identificar os processos existentes na máquina térmica apresentada em sala de aula e, em seguida, respondido mais um questionário.

Enquanto isso, na turma do 9º, as atividades desenvolvidas no dia 18/04 contaram com a resposta de um questionário inicial sobre conteúdos básicos de Termodinâmica, a ministração de aula sobre Temperatura, Calor e Equilíbrio Térmico, e foi encerrado com um experimento para construir um termômetro. Para o dia 20/04, os conceitos abordados no dia 18/04 foram retomados tanto para

rememorar os conteúdos quanto para localizar os alunos que faltaram no primeiro encontro; nesse dia, após a retomada dos assuntos, introduziu-se o modelo de gás ideal através de experimentos simples que podem ser facilmente reproduzidos em casa. Foram realizados dois experimentos: i) o primeiro foi de uma bexiga posta dentro de uma seringa, após tampar a ponta, puxava-se o êmbolo e observava-se que o volume do balão aumentava devido à redução da pressão no sistema como mostra a Figura 2 abaixo; ii) o segundo experimento, colocou-se uma garrafa, preenchida até a metade com álcool e tampada com uma bexiga, dentro de um recipiente com gelo, após um transiente, a garrafa termalizou com o gelo.



Figura 2. Seringa de plástico com bexiga vermelha em seu interior.

Fonte: Autor

Por fim, no dia 24/04, foram mostrados os processos adiabáticos e isovolumétricos por meio de vídeos. Em seguida, discutiram-se os resultados coletivamente. Para a segunda parte do encontro nesse dia, iniciou-se o conteúdo sobre máquinas térmicas e a Segunda Lei da Termodinâmica; nele, foram expostos diferentes tipos de máquinas térmicas e um contexto histórico para a formulação da Segunda Lei. Além disso, considerando um dos objetivos da pesquisa, aos alunos, foi apresentado um motor de Stirling em funcionamento com intenção de eles mostrarem o seu ciclo de operação; para encerrar, foi passado um último questionário sobre os conteúdos ministrados durante as aulas.

5 Resultados

5.1 Lições Iniciais

Antes de iniciar o conteúdo efetivamente, foi passado um questionário (Apêndice A) aos alunos, com objetivo de saber o quanto eles sabem sobre os conceitos iniciais em Termodinâmica. Apresenta-se na Tabela 2 abaixo as respostas dos alunos do 2º ano da instituição. A distinção entre os discentes será feita por um número seguido por uma letra, e.g., 2A representa um aluno do 2º ano, enquanto 9D representa um aluno do 9º ano.

Temperatura e Calor são sinônimos? Se sua resposta foi “Não”, diferencie os dois termos.	2A. Não, temperatura é uma medição de calor. 2B. Não, temperatura é a medição de calor e calor é a variação de energia. 2C. Não, temperatura é relativo à medição de calor. Calor é a variação de energia. 2D. Temperatura é a medida da quantidade de energia de um corpo. Calor é a energia térmica em transferência de um corpo para outro. 2E. Não, a temperatura mede o grau de agitação de moléculas, que, por sua vez, mede a quantidade de calor.
O que significa dizer que algo está “quente” ou “frio”?	2A. São termos relativos, dependem do referencial. Algo estará quente ou frio se compararmos com outra coisa, por exemplo, em relação à Inglaterra, Santa Catarina é quente, já em relação em Recife, é frio. 2B. Algo está quente quando ele possui temperatura maior que o ambiente ou outra coisa e algo está frio quando possui temperatura menor. 2C. “Quente” é quando algum corpo está submetido a altas temperaturas. Já “frio” a baixas temperaturas. 2D. Em comparativo à temperatura do ambiente, podemos medir como quente um corpo com mais temperatura e frio como de menor temperatura, tudo depende do que você compara. 2E. Esses termos são relativos, mas quando algo está quente, sua temperatura é maior que a de outro corpo ou

	meio em comparação. O frio seria o oposto.
Qual a função de um termômetro? Qual seu princípio de funcionamento?	2A. O termômetro irá medir a variação de temperatura de um corpo. No caso do termômetro de mercúrio, temos a relação entre temperatura e pressão. Quando a temperatura aumenta, a pressão também aumenta, fazendo com que o mercúrio suba. 2B. Medir a temperatura. O princípio de funcionamento do termômetro de mercúrio é que a pressão de um gás altera com a temperatura, fazendo com que o mercúrio suba e desça numa escala. 2C. Medir a temperatura. Através da variação da temperatura e pressão, nisso o mercúrio contido no termômetro sobe conforme a temperatura indicada. 2D. Medir a temperatura através de uma substância que altera seu volume dependente da temperatura. 2E. Medir a temperatura. Existem vários tipos de termômetros. O que tem por base o Hg, mede o quanto ele “expande” ao aumentar a temperatura.
O que faz a temperatura dos corpos mudarem? Dê exemplos de como é possível mudar a temperatura de um corpo.	2A. Adicionando calor ou colocando-o em um sistema onde aconteça uma troca de energia. 2B. Quando eles entram em contato com um outro corpo ou com um ambiente de temperatura diferente, como por exemplo mergulhar um corpo de temperatura baixa em água quente. 2C. A atuação de agentes externos que fazem as partículas se agitarem, fazendo sua temperatura aumentar ou diminuir. É possível mudar a temperatura da água quando a fervermos. 2D. Fazer exercícios, estar propício de fontes de calor quente ou de calor frio em comparação com a temperatura média do corpo. 2E. A liberação de calor (energia térmica) para o meio ou para outro corpo. Pode mudar a temperatura de um cubo de gelo ao tirá-lo do freezer.
O que você entende por energia? Dê exemplos de seu uso	2A. São forças que atuam em um determinado corpo, onde aconteça uma troca de energia.

no dia-a-dia.	2B. É a transformação de forças que atuam sobre um corpo. 2C. A transmissão de movimento. Quando estamos pedalando, estamos transformando energia química em energia cinética. 2D. É a transformação de ações de forças que atuam sobre corpos. Quando corremos, produzimos energia cinemática. 2E. Usamos energia em praticamente tudo que fazemos. Como fazer exercícios, levantar, esquentar um objeto no forno. Energia é como um combustível.
É possível criar ou destruir energia? Exemplifique.	2A. Não, energia apenas se transforma, por exemplo, o movimento (energia cinética) pode se transformar em energia térmica. 2B. Não, só transformá-la em outra energia. 2C. Não, a energia é transformada. Por exemplo, o relógio usa energia da bateria em energia para girar o relógio. 2D. Não, energia não se destrói nem se cria, ela apenas se transforma, como quando nos exercitamos, transformando energia cinética em térmica. 2E. Não, segundo a Lei de Conservação de Energia, ela se transforma.
O que é um estado sólido, líquido e gasoso? Como a temperatura afeta o estado da matéria?	2A. Sólido: moléculas quase estáticas e juntinhas; líquido: moléculas não tão estáticas e algo mais fluido; gasoso: moléculas bem separadas e muito agitadas. Se a temperatura aumenta, a agitação aumenta. 2B. O estado de um corpo é como as moléculas dele se estruturam e a temperatura desse corpo pode alterar essas estruturas. 2C. sólido: é algo que é possível tocar, ver e tem uma forma física consistente; líquido: é algo que é possível ver, tocar e tem uma forma fluida; gasoso: é algo que não é possível tocar e é formado por algo disperso no ambiente. As variações da temperatura influenciam qual estado a matéria se apresenta. 2D. São estados físicos da matéria. Quanto maior a temperatura, mais próximo do gasoso e quanto menor,

mais próximo do sólido, se tratando da água, o meio termo seria o líquido.

2E. No estado sólido, as moléculas estão agrupadas, mais organizadas. No líquido, elas já estão mais dispersas. No gasoso, as moléculas ficam ainda mais desorganizadas. Para transformar o estado da matéria, podemos mudar o valor da pressão e/ou da temperatura.

Tabela 2. Transcrição das respostas do primeiro questionário passado para os alunos do 2º ano do ensino médio.

De modo geral, pode-se observar que os participantes possuem um entendimento de que calor e temperatura são conceitos diferentes, apesar de a maioria distinguir com algumas incoerências ou até de forma incorreta; apesar disso, todos eles entendem que as noções qualitativas de “quente” e “frio” dependem do corpo que se toma como referência e conseguem concluir que a mudança de temperatura de um corpo é capaz de fazê-lo sofrer dilatação, por outro lado nenhum deles chegou a comentar sobre o equilíbrio térmico. Além do mais, percebe-se a existência de memórias associadas a alguns conteúdos que foram trabalhados durante o primeiro ano do ensino médio quando os alunos, majoritariamente, relacionam o conceito de energia com o de trabalho mecânico e sabem que a energia é uma grandeza conservada em um sistema, mesmo com a explicação genérica. No tocante aos estados da matéria, os discentes sabem diferenciá-los e tem ideia de como a interação molecular e a temperatura afeta a visualização física desses estados.

Após a coleta dos questionários, foi realizada uma socialização das perguntas para os discentes discutirem entre si e com o pesquisador. Enquanto discutiam, eles foram capazes de articular bem sua explicação e alguns alunos que se equivocaram na primeira pergunta do questionário, responderam verbalmente de forma correta, entendendo temperatura como grau de agitação médio das moléculas e calor como forma de energia em trânsito entre corpos com diferentes temperaturas.

Vale salientar aqui que os alunos já estavam estudando Termologia com o professor responsável pela componente curricular de Física, portanto eles já possuíam algum repertório prévio sobre alguns termos e conceitos, de modo que, ainda no primeiro encontro, foi possível tratar até parte de energia. Aqui, dedicou-se um pouco mais de tempo para falar sobre conservação da energia e sobre a

impossibilidade de criar ou destruir energia, considerando a introdução que foi dada à Primeira Lei da Termodinâmica.

Para a turma do 9º ano, fez-se um procedimento semelhante, apresentando na Tabela 4 abaixo, os resultados do primeiro questionário (Apêndice A).

Temperatura e Calor são sinônimos? Se sua resposta foi “Não”, diferencie os dois termos.	9A. Não, temperatura é uma medida da cinética que mede a agitação das moléculas de modo geral e o calor é uma energia. 9B. Sim . 9C. Mais ou menos, pois calor tem um aspecto quente e temperatura pode ser quente ou fria, baixa ou alta. 9D. Mais ou menos, porque a temperatura é frio e calor. 9E. Não, temperatura é a medida de calor, exemplo, metro e comprimento, temperatura é como se fosse o metro. 9F. Não, pois temperatura quer dizer que seja quente ou frio independente, e o calor que dizer apenas quando as moléculas estão agitadas, ou seja, quente.
O que significa dizer que algo está “quente” ou “frio”?	9A. Significa que está aquecido em uma temperatura alta (quente) ou fria. 9B. Quente quando a temperatura do ambiente está muito elevada e frio quando ela está baixa (a temperatura). 9C. Quando está quente, a temperatura fica alta e quando está frio, a temperatura fica baixa. 9D. Quando tá quente, a temperatura está alta, causando a sensação de frio. Quando tá frio, a temperatura está baixa, causando a sensação de frio. 9E. Quente é quando a temperatura está elevada e frio quando está baixo. 9F. Se suas moléculas estão agitadas ou não, ou, também da sensação térmica que se passa.
Qual a função de um termômetro? Qual seu princípio de funcionamento?	9A. Medir a temperatura. A medida dada como certa. 9B. Medir a temperatura, quando nosso corpo está com uma determinada temperatura, ele acaba ficando com ela ao contato com nosso corpo.

	9C. O termômetro mede a temperatura do corpo. Quando apertamos o botão e colocamos ao corpo, ele vai dizer se tá quente ou frio. 9D. Medir a temperatura. Colocando no corpo, assim ele poderá medir a temperatura. 9E. O termômetro serve para medir a temperatura. O termômetro funciona com mercúrio, que quando tá quente, ele se eleva e frio, abaixa. 9F. Medir a temperatura. O mercúrio contido no termômetro que se dilata com o calor do corpo.
O que faz a temperatura dos corpos mudarem? Dê exemplos de como é possível mudar a temperatura de um corpo.	9A. A movimentação das moléculas. Em um lugar frio ou quente. 9B. A temperatura de objetos e temperatura de outros corpos, exemplos: 1º) num topo de montanha, a temperatura é baixa, logo a temperatura do corpo também abaixa, se fosse numa praia à tarde, a temperatura aumentaria. 2º) objetos com temperatura muito alta também podem aumentar nossa temperatura coo uma xícara de café e o mesmo aconteceria com algo de temperatura muito baixa como um pedaço de gelo. 9C. Quando o clima muda, a temperatura vai mudar, quando aquece a comida ou toma um banho. 9D. Muitas coisas influenciam na mudança de temperatura dos corpos como por exemplo: a febre, o clima etc. 9E. Com a temperatura do local em que o corpo habita, por exemplo, uma pessoa que entrou em uma sala com ar-condicionado e seu corpo se adequa ao ambiente. 9F. A agitação de suas moléculas. Colocando esse corpo em um ambiente de temperatura diferente ou em contato com algo de outra temperatura.
O que você entende por energia? Dê exemplos de seu uso no dia-a-dia.	9A. Eu entendo como fornecimento para praticamente tudo que usamos ter “vida”, mas sei que a energia não tem um conceito definido. Ar-condicionado. 9B. São coisas que possuem alta temperatura e por possuir essa grande temperatura, brilham. 9C. A energia pode ser uma força natural.Ex.: energia

luminosa e fogo.

9D. Energia é uma força. Ex.: fogo, luz etc.

9E. É uma força gerada por meio de algum esforço, por exemplo a energia elétrica que é formada pelas usinas elétricas.

9F. A movimentação do corpo ou das moléculas. Aparelhos eletrônicos.

É possível criar ou destruir energia? Exemplifique.

9A. Não sei. Mas, posso fazer uma fonte de energia a partir de outras.

9B. Não, a energia se manifesta e se desmanifesta em matérias.

9C. É possível criar ou destruir a energia, criando o fogo, vai criar energia e se apagar vai destruir energia.

9D. Sim. Se cortarmos um fio de alta tensão que leva a energia até a casa das pessoas, ela será destruída.

9E. Sim, por exemplo a energia que é criada pelos raios solares.

9F. É possível criar ou melhor, gerar, como as usinas eólicas ou as hidroelétricas, destruir eu não sei.

O que é um estado sólido, líquido e gasoso? Como a temperatura afeta o estado da matéria?

9A. São formas físicas da matéria. A temperatura interfere diretamente no ponto de ebulição e fusão.

9B. Todo objeto pode se manifestar nesses três estados com cada objeto tendo suas próprias transformações em diversas temperaturas.

9C. O estado sólido é aquilo que tem forma, por exemplo gelo e rocha. O estado líquido tem uma forma, mas não uma forma formada e sim uma forma líquida. Gasoso não tem forma.

9D. Gasoso é gás. Sólido é tudo que tem forma, tipo: gelo, rocha etc. Líquido é tudo que tem forma, mas não tem uma forma formada.

9E. O estado da matéria são como a matéria se encontra em determinadas temperaturas, por exemplo a água que é líquida em temperatura ambiente, sólido na fria e vapor na

quente.

9F. É a “consistência” da matéria que significa com as suas moléculas estão organizadas, de acordo com a temperatura a matéria pode mudar de estado.

Tabela 3. Transcrição das respostas do primeiro questionário passado para os alunos do 9º ano do ensino fundamental.

Olhando os resultados, existe ainda uma confusão clara e natural entre temperatura e calor, dado que usualmente são conceitos tratados como sinônimos; mesmo que alguns alunos consigam entender que são termos diferentes, eles não conseguem formalizar essa diferença e acabam explicando de maneira superficial, como se pode observar quando o aluno 9E compara temperatura a uma unidade ou quando 9C e 9D associam temperatura ao estado “quente” ou “frio” e calor ao estado “quente”. Sobre a sensação térmica, os alunos entendem “quente” e “frio” como temperatura alta e baixa, porém não associam essa noção a um referencial para análise. Em relação ao termômetro, todos entendem sua função, porém apenas 9B conseguiu descrever consideravelmente o seu funcionamento; os demais oferecem uma resposta ainda com termos “quente” e “frio”, mesmo que nos exemplos dados não é possível de diferenciar essas sensações. Para a pergunta 4, durante o preenchimento da ficha, alguns alunos tiveram dúvidas sobre o que foi pedido ou não conseguiam exemplificar com clareza, depois de uma elucidação sobre a pergunta, as respostas fluíram.

Para a parte relacionada à energia, na pergunta 5, a maioria dos alunos associam energia à força; mesmo não sendo introduzidos a nenhum dos conceitos formalmente, a associação tem relação com a ideia de “força ser necessária para realização de algum movimento”. No tocante à pergunta 6, majoritariamente, os alunos entendem que é possível criar ou destruir energia e exemplificam com o fogo; essa questão foi fortemente retomada durante os encontros para que todos conseguissem internalizar que o fogo que o resultado de uma liberação de energia durante uma reação exotérmica. Para a questão 7, os discentes conseguem diferenciar os diferentes estados da matéria e entendem que a temperatura afeta esse estado, mesmo que essa dependência não foi deixada bem clara.

Baseado apenas nos questionários, pode-se observar uma imaturidade da maioria dos alunos do 9º ano em comparação com os dos 2º ano, esse foi um resultado esperado, dado que muitos dos termos tratados aqui eram novos ou os

alunos do 9º ano tinham pouca intimidade. Apesar disso, pode-se observar que ainda no 9º ano, os discentes possuem algum vocabulário que não está formalizado, mas existe algum contato anterior com esse conteúdo.

Agora, depois de respondido os questionários, a aula tomou sequência, analogamente como foi feito com o 2º ano, porém aqui, no primeiro encontro, como era necessário passar mais calmamente e tinha um feedback maior dos alunos, foi dedicado mais tempo aos conceitos fundamentais. Primeiramente, tratou-se do conceito de equilíbrio térmico a partir do funcionamento de um termômetro, nessa etapa, muitos alunos conseguiram entender calor como “algo que passava de um corpo mais quente para um corpo mais frio”. Além disso, houve comentários no sentido de ser necessário um corpo de referência para definir se algo está “quente” ou “frio”. Nessa evolução de palavras, os alunos conseguiram entender que calor era algo que fluía entre corpos a diferentes temperaturas, porém ainda não sabiam que era energia em trânsito; passando para a temperatura, esse conceito só ficou mais claro quando foi introduzida a relação entre temperatura e o estado físico dos corpos. Após essa parte, os próprios alunos conseguiram afirmar que a temperatura depende da agitação das moléculas que compõem um sistema. À medida que a aula ia progredindo, sutilmente, era formulada a Lei Zero da Termodinâmica, de modo que os próprios estudantes conseguiram retirar as relações Euclidianas dessa lei. Por fim, tratou-se da noção de energia e sua relação com o calor, porém, devido ao tempo, o encontro foi encerrado e a definição de energia como capacidade de movimento foi retomada no segundo encontro.

No segundo encontro, que ocorreu em 20/04, foi retomado o conceito de temperatura, calor e equilíbrio térmico. A discussão sobre energia continuou e, muitos alunos, comentaram e tentaram trazer exemplos de como a energia era criada. Todos os exemplos trazidos foram tratados, porém depois de perceber um padrão, os próprios alunos conseguiam explicar qual parte da premissa deles estava incoerente. A via de exemplo, um dos comentários realizados foi de: “o fogo surgir quando acendemos uma fogueira em um monte de gravetos”; o primeiro passo tomado foi perguntar se eles sabiam o que era uma combustão e quais os constituintes necessário para haver combustão (oxigênio, combustível e energia). Numa discussão entre eles próprios com algumas intervenções do pesquisador, os alunos perceberam a necessidade de ser consumidos reagentes para liberar energia na forma de calor. Logo após, foi formalizada a primeira Lei da Termodinâmica e

alguns termos novos, como trabalho e energia interna, causaram confusão inicial, mas logo essas dúvidas foram sanadas. Dando continuidade, foi introduzido o modelo para gases ideais considerando processos isotérmicos, isobáricos e isocóricos; para os dois primeiros, foram realizados experimentos em sala. Inicialmente, passou-se uma seringa com uma bexiga em seu interior e foram dadas as instruções aos alunos sobre o que fazer; depois que todos mexeram na seringa e observaram o fenômeno, começou-se a discussão sobre o que estava acontecendo com a bexiga quando o êmbolo era puxado ou empurrado. Nessa etapa, foi facilmente notado pelos discentes que o processo ocorria sobre temperatura constante e que a pressão e o volume eram inversamente proporcionais. Em seguida, colocou-se uma garrafa com álcool, cuja tampa estava vedada com uma bexiga, dentro de um recipiente com gelo; após um transiente, pode-se observar que a bexiga começava a entrar na garrafa. Nesse momento, eles perceberam a relação entre volume e temperatura, mas não foram capazes de perceber sozinhos que a pressão no interior da garrafa e em seu exterior era a mesma, sendo, dessa forma, necessária uma intervenção do pesquisador para exemplificar a situação. O encontro encerrou nessa discussão e foi retomado no último encontro do dia 24/04.

5.2 Operando a máquina

Nesta seção, será analisado o motor que foi desenvolvido para ser apresentado aos alunos. Optou-se por montar um motor de Stirling, cujo seu ciclo de operação consiste em quatro processos: i) uma compressão isotérmica (na temperatura “fria”), ii) aquecimento isocórico, iii) expansão isotérmica (na temperatura “quente”) e iv) resfriamento isocórico. As Figuras 2, 3 e 4 abaixo mostram o motor construído. Para seu desenvolvimento, os materiais usados foram:

- Dois CD's;
- Duas seringas 10mL de ponta metálica;
- Hastes de alumínio;
- Dois rolamentos com diâmetro interno 5mm e diâmetro externo 9mm;
- Eixo de latão para conectar os CD's entre si;
- Discos de alumínio para conectar os CD's às hastes metálicas;
- Suportes de teflon para conectar as seringas às hastes metálicas;
- Suporte de teflon para fixar as seringas;
- Suporte metálico para sustentar a estrutura;
- Base retangular de madeira;

- Parafusos;
- Candeeiro a álcool.



Figura 3. Visão geral do motor.



Figura 4. Vista lateral do motor.



Figura 5. Vista superior do motor.

Sobre sua estruturação, destaca-se primeiramente o ângulo entre as hastes: colocando uma delas na horizontal, a outra haste forma um ângulo de 45° com o eixo das abscissas, caso contrário a máquina não opera adequadamente. Além disso, deixa-se um volume morto (mínimo) de 1mL por seringa e um volume máximo de 4mL, podendo ambos serem alterados através de ajustes nos parafusos do motor.

Uma ressalva que se faz sobre o desenvolvimento do motor é a necessidade de minimizar o atrito entre a seringa e os êmbolos; isso foi feito por lixar os êmbolos e colocar um pouco de grafite em pó. Nesse sentido, é necessário fazer limpezas

periódicas nos êmbolos para remover qualquer gordura residual que tenha se depositado.

Para o funcionamento do motor, usou-se álcool 70° que atingiu temperaturas de até 200°C. Considerando, dessa forma, um ciclo reversível, pode-se calcular o máximo rendimento do motor sabendo que a temperatura ambiente representa o reservatório frio:

$$\eta = 1 - \frac{26 + 273}{200 + 273} = 0,37 = 37\%$$

Das especificações dos componentes: os CD's possuem uma massa de 15g e 6cm de raio; os discos têm uma massa de 30g cada e um raio de 1cm; nota-se que o eixo está posicionado a 1cm do centro do CD; os êmbolos possuem uma massa de 38g cada (a massa foi medida em conjunto do adaptador de teflon e). E, o eixo, feito de latão, possui 1 cm de raio e 4,5 cm de largura.

5.3 Lições finais

Esta seção tratará dos últimos encontros com cada turma. Serão discutidos primeiramente os resultados com o grupo do 2º ano.

O encontro foi realizado em 28/04 e foram retomados os conceitos vistos no primeiro encontro (14/04), nesse momento, os alunos conseguiram enunciar tanto a Lei Zero quanto a Primeira Lei de forma clara. Após esse primeiro momento de rememoração, prosseguiu-se com o modelo de gases ideais; segundo os alunos, eles já viram esse conteúdo anteriormente na disciplina de Química, de modo que os mesmos experimentos realizados com 9º ano foram mais facilmente entendidos e os próprios discentes explicavam o fenômeno com termos mais sofisticados. Em seguida, foi mostrada a imagem de um motor de carro e pediu para os alunos identificarem o que era; nesse momento, a maioria associou a outros objetos, como máquina de costura ou máquina de sorvete. Quando um dos alunos conseguiu, com sucesso, identificar o que a imagem representava, ele mesmo começou a explicar o funcionamento do motor de veículos. Nesse sentido, a aula tomou um rumo de os alunos aprenderem com seus colegas, e o pesquisador entrevistou apenas quando era necessário fazer uma conexão com a Física. Nesse ritmo, foi introduzida a noção de ciclo e os alunos perceberam que para voltar ao estado inicial, o sistema precisaria perder energia para operar de forma cíclica; tal resultado, extremamente satisfatório,

foi apresentado como a Segunda Lei da Termodinâmica. Logo em seguida, aos alunos foi mostrada a máquina térmica construída em funcionamento; a ideia inicial era os alunos serem capazes de perceber o ciclo existente num motor de Stirling e explicar quais etapas possuíam admissão e quais possuíam liberação de calor. Dessa forma, eles foram capazes de identificar os processos isotérmicos e os processos isocóricos, mas apenas os processos de admissão de calor, uma vez que, segundo eles, “Não havia escape de gás, logo não há liberação de calor”. Nessa afirmação, foi retomada a Primeira Lei da Termodinâmica e explicado com mais detalhes um ciclo termodinâmico, levando em consideração os quatro processos do motor de Stirling. Após a retirada das dúvidas, foi passado um último questionário (Apêndice B) sobre todo o conteúdo ministrado ao longo da pesquisa. A Tabela 4 mostra as transcrição das respostas dos alunos.

Fale sobre a Lei Zero da Termodinâmica.	2A. A lei zero é a base do equilíbrio, onde se dois corpos estão em equilíbrio térmico e um desses corpos está em equilíbrio térmico com outro, então os três estão em equilíbrio. 2B. Se dois corpos, A e B, estão em equilíbrio térmico e os corpos B e C também estão em equilíbrio térmico, logo os corpos A e C também estarão em equilíbrio térmico entre si. 2C. A Lei Zero da Termodinâmica tem como base o princípio do equilíbrio térmico. Um exemplo disso é que se um corpo A e B estão em equilíbrio entre si e o corpo B e C também estão, podemos concluir que os corpos A e C também estão em equilíbrio térmico. Logo, os três corpo estão em equilíbrio. 2D. Dois objetos no mesmo ambiente quando estiverem em equilíbrio térmico com o ambiente, também estarão em equilíbrio entre si. 2E. Ela tem base no equilíbrio térmico, onde o corpo A, adjacente com o corpo B ficam em equilíbrio térmico e o corpo B, adjacente a C também ficam em equilíbrio térmico. A Lei Zero conclui que o corpo A fica em equilíbrio térmico com o corpo C.
<u>Vimos que o volume no interior da garrafa vedada com balão diminui quando a</u>	2A. Como a pressão continua constante, temos que se a temperatura aumentar, o volume também aumentaria. Sim,

colocamos em contato com o gelo. O que aconteceria se, ao invés de resfriar, tivéssemos aquecido a garrafa? Nessa situação, alguma das grandezas vistas se manteria constante?	a pressão e a quantidade de matéria. 2B. Se, ao invés de resfriar, tivéssemos aquecido a garrafa, o volume dela iria aumentar. A grandeza que se manteria constante nesse caso é pressão, ou seja, uma transformação isobárica. 2C. Se a temperatura aumentasse, o volume da bexiga também aumentaria. Sim, a pressão. 2D. Com o aquecimento da garrafa, teríamos um aumento da temperatura, pressão e consequentemente o volume também aumentaria. Sendo assim, nenhuma grandeza esteve constante. 2E. Aquecendo a garrafa, temos um aumento da temperatura e da pressão. O número de mols permanece o mesmo.
O que acontece quando dois objetos de temperaturas diferentes são colocados em contato um com o outro?	2A. Eles tendem a trocar calor entre si até entrarem em equilíbrio térmico. 2B. O que possui temperatura maior irá ceder calor para o que possui menor temperatura até eles ficarem em equilíbrio térmico entre si. 2C. Os objetos entram em equilíbrio térmico, passando a terem a mesma temperatura. 2D. Com o passar do tempo, o corpo com maior temperatura cederá calor para o corpo com menor temperatura que receberá esse calor cedido. Assim, eles ficarão em equilíbrio térmico. 2E. Eles entram em equilíbrio térmico.
Como a Lei Zero da Termodinâmica se relaciona com a Segunda Lei da Termodinâmica?	2A. A segunda lei diz que um sistema cíclico nunca terá 100% de aproveitamento e a lei zero fala sobre equilíbrio térmico, logo, para ser um ciclo a temperatura inicial precisa estar em equilíbrio com a final. 2B. Para o estágio final voltar ao estágio inicial do processo cíclico, as temperaturas inicial e final precisam estar em equilíbrio térmico. 2C. Como a Segunda Lei da Termodinâmica se trata da transferências de energia térmica, isto é, trocas de calor que têm tendência de igualar temperaturas diferentes, logo

	entrar em equilíbrio térmico (mesma temperatura), no caso a Lei Zero da Termodinâmica. 2D. Na Lei Zero falamos sobre o equilíbrio térmico e a Segunda Lei sobre o sistema de ciclos não ter 100% de rendimento, a relação é que a energia final precisa estar em equilíbrio com a inicial para repetir o ciclo. 2E. Na Lei Zero, temos o equilíbrio térmico, já na Segunda Lei, ela fala sobre a impossibilidade de criar uma máquina com ciclo 100% eficiente. Elas se relacionam que a temperatura final tem que estar em equilíbrio térmico com a inicial para realizar o ciclo.
Por que é impossível criar uma máquina térmica que, operando em ciclos, funcione com 100% de eficiência?	2A. Pois, por ser um ciclo, é impossível ele não perder calor já que a quantidade de calor inicial precisa ser igual a final, porém se a energia tivesse um aproveitamento de 100%, ele só iria ganhar e nunca acabaria. 2B. Porque a energia térmica cedida nunca será totalmente aproveitada em energia para trabalho realizado e será dissipada como energia térmica, pois uma máquina térmica usa de um processo cíclico e todo processo cíclico dissipa energia antes de reiniciar o ciclo. 2C. Porque a energia térmica é dissipada de alguma maneira, logo é impossível ser 100% aproveitada por se tratar de um ciclo. 2D. Pois uma máquina térmica funciona em ciclos, ou seja, para voltarmos ao ponto inicial é necessário perda de energia. 2E. Pois ele precisa liberar essa energia no fim do ciclo.

Tabela 4. Transcrição do último questionário passado aos alunos do 2º ano.

Do questionário, nota-se que os alunos conseguem enunciar bem as Leis da Termodinâmica que foram apresentadas, porém possuem dificuldade em relacioná-las mesmo que em termos simples, como o sentido de fluxo de calor. No mais, eles entendem as variáveis de um processo termodinâmico e como elas se relacionam entre si. Por fim, nota-se que as ideias centrais sobre Termodinâmica foram bem estabelecidas, mesmo que com algumas incongruências no momento de relacionar esses princípios, apesar disso, o grupo apresentou resultados positivos e importantes para a comparação com 9º ano.

Agora, tratando-se do 9º ano, tem-se o último encontro com a turma no dia 24/04, nele iniciou-se discutindo sobre processo isocóricos e adiabáticos (que ainda não havia sido concluído no dia 20/04). Nessa etapa, a única barreira apresentada pelos alunos foi a semelhança do processo adiabático com o processo isotérmico; para ajudar na explicação, foi trazido o exemplo da garrafa de café, que funciona por minimizar as trocas de calor com o ambiente e foi explicado que outra forma de realizar um processo adiabático é fazê-lo de forma tão rápida de modo que o sistema não tenha tempo para trocar calor com a vizinhança. Após esse momento, mostrou-se a imagem de um motor de carro da mesma forma que foi feito com o 2º ano, um dos alunos conseguiu perceber o que a imagem representava corretamente. Em seguida, explicou o funcionamento do motor de um veículo e pediu para que os alunos identificassem os processos existentes no ciclo dessa máquina. Foi corretamente percebido por eles apenas as etapas adiabáticas, porém eles não entenderam como ocorria o processo isométrico. Para tanto, fez-se uma comparação com o movimento retardado quando a velocidade muda de sentido; após isso, ficou mais claro para eles entender uma etapa isocórica. Para encerrar, foi mostrada em funcionamento a máquina térmica construída e foi pedido aos alunos identificarem as etapas do ciclo. Pela explicação anterior, os alunos conseguiram identificar os processos isovolumétricos e isotérmicos e entenderam qual etapa havia admissão de calor, mas da mesma forma que ocorreu com o 2º ano, não conseguiram pontuar em qual etapa havia liberação de calor.

O encontro encerrou com um questionário (Apêndice B) sobre todo o conteúdo ministrado nos três encontros. A transcrição das respostas dos alunos encontra-se na Tabela 5 abaixo.

Fale sobre a Lei Zero da Termodinâmica.	9A. A lei zero da termodinâmica é o equilíbrio, é quando a temperatura de dois corpos é a mesma.
	9B. Temperatura entre dois ou mais corpos precisa ser constante.
	9C. A temperatura entre 2 ou mais corpos tem que ser constante.
	9D. A lei zero é quando a temperatura entre 2 ou mais corpos precisa ser constante.
	9E. Equilíbrio térmico: quando dois corpos trocam calor e

	igualam as temperaturas. 9F. É a lei que estabelece o equilíbrio térmico entre 2 corpos.
Vimos que o volume no interior da garrafa vedada com balão diminui quando a colocamos em contato com o gelo. O que aconteceria se, ao invés de resfriar, tivéssemos aquecido a garrafa? Nessa situação, alguma das grandezas vistas se manteria constante?	9A. A pressão continua, e o volume e a temperatura aumentam. 9B. Se aquecermos a garrafa, o volume ao invés de diminuir, vai aumentar, como estamos aquecendo a temperatura aumenta, muda assim não sendo constante, assim permanecendo apenas a pressão constante. 9C. O volume irá aumentar e a pressão diminuirá. Então, outras grandezas não se mantem constante. 9D. Pressão constante. O volume aumenta por conta da temperatura elevada. 9E. O volume aumentaria e a pressão permaneceria a mesma, sendo assim um processo isobárico. 9F. O volume no interior da garrafa iria aumentar, a pressão seria constante.
O que acontece quando dois objetos de temperaturas diferentes são colocados em contato um com o outro?	9A. O objeto de maior temperatura vai transferir sua temperatura para o objeto de menor. 9B. As temperaturas se absorvem, assim se as duas são elevadas elevam do mesmo jeito e se for elevada e menor a menor absorve parte da temperatura. Ex.: temperatura menor com temperatura menor: temperatura muito menor. Temperatura menor com menor temperatura maior: temperatura pouco menor/menor. 9C. Eles irão trocar calor para manter um equilíbrio. 9D. Eles vão trocar calor para manter uma temperatura de equilíbrio. 9E. O calor do objeto mais quente se transfere até o mais frio e a temperatura é igualada. 9F. Eles passam seu calor um para o outro até entrarem em equilíbrio.
Como a Lei Zero da Termodinâmica se	9A. Eles automaticamente irão estabilizar.

relaciona com a Segunda Lei da Termodinâmica?	9B. A diferença de temperatura se relaciona com a troca de calor. 9C. A diferença de temperatura se relaciona com a troca de calor. 9D. A diferença de temperatura se relaciona com a troca de calor. 9E. Para haver equilíbrio térmico, o calor se transfere do corpo mais quente para o mais frio, se fosse do mais frio para o mais quente, ao invés do calor criar combustível, o fogo iria se apagar, e então a máquina não funcionaria. 9F. Para atingir o equilíbrio térmico, não é possível passar o frio para o quente, sempre será do quente para o frio.
Por que é impossível criar uma máquina térmica que opere com 100% de eficiência?	9A. Porque, dentro das máquinas existe a chamada “energia dissipada”, que é a energia que nunca pode ser utilizada. 9B. Porque não é possível gastar toda a energia na ida, tem que guardar para a volta. 9C. Quando tem que gastar alguma energia, para poder se movimentar, não a energia toda, porque tem que voltar. 9D. Porque precisa gastar 50% da energia para ir e os outros 50% para vir. Porque se gastar toda a energia só para ir, não vai haver energia para vir. 9E. Porque para que se tenha um ciclo e o processo volte ao estágio inicial, se perde energia, com isso a máquina não consegue usar 100% de toda a sua potência. 9F. Porque num ciclo de funcionamento da máquina muita energia se perde, fazendo com que não haja 100% de aproveitamento da energia térmica.

Tabela 5. Transcrição do último questionário passado aos alunos do 9º ano.

Em uma análise geral, destacam-se dois pontos importantes: i) o imediatismo nas respostas, i.e., os estudantes tendem a responder com poucos termos como se fosse suficiente ou enchem com elementos gramaticais redundantes para dar volume ao uso de poucos conceitos; ii) imaturidade nas respostas, que é observada quando os alunos ainda confundem termos que foram fortemente trabalhados e retomados durante as aulas ou usam os termos de forma incoerente. Olhando por

outro lado, mesmo respondendo a questão 1 de forma extremamente simplificada – reduzindo a Lei Zero a apenas o equilíbrio térmico – pode-se observar o esforço existente em tentar defini-la. Somado a isso, os alunos conseguem entender como as variáveis de um sistema se comportam durante um processo termodinâmico. Por fim, alguns alunos ainda conseguiram fazer a associação da Lei Zero com a Segunda Lei através do sentido do fluxo de calor (que ocorre do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura). Dessa forma, percebe-se que, apesar da existência de uma falta de maturação na forma de pensar, é algo que pode ser desenvolvido progressivamente à medida que os alunos vão envelhecendo. Portanto, do ponto de vista qualitativo, mesmo que o espaço amostral para a pesquisa tenha sido pequeno, os dados obtidos permitem entender que, o conteúdo de termodinâmica é possível de ser ministrado no ensino fundamental, porém é necessário considerar um número maior de horas-aula a ser dedicado para o tema, uma vez que 6 horas de aula não é tempo suficiente nem para os alunos experimentarem e aprenderem nem para o docente conseguir condensar o conteúdo em tão pouco tempo.

5.4 Indo além

Nesta seção, serão tratadas outras questões que poderiam ter sido abordadas no projeto de pesquisa, mas foram evitadas devido aos cálculos matemáticos envolvidos, uma vez que a pesquisa tem cunho qualitativo.

Em primeiro aspecto, retoma-se o cálculo do rendimento; como observado, o rendimento máximo de funcionamento do motor é de 37% dada as temperaturas dos reservatórios. Porém, o cálculo real do rendimento é dado por:

$$\eta = \frac{W}{Q_{recebido}}$$

Nesse sentido, o calor recebido pode ser calculado em função da variação de temperatura sofrida pelo ar dentro da seringa. Como o ar irá termalizar com a fonte quente (que está a 200°C), o calor recebido num ciclo é dado por:

$$Q_{recebido} = n \cdot c_V \cdot \Delta T$$

O número de mols de existente no interior da seringa é calculado em função do volume e da densidade:

$$n = \frac{m}{M} = \frac{\rho \cdot V}{M} = \frac{1,29 \frac{kg}{m^3} \cdot 5 \cdot 10^{-6} m^3}{28,96 \cdot 10^{-3} \frac{kg}{mol}} = 2,2 \cdot 10^{-4} mol$$

Assim o calor recebido pelo ar dentro da seringa vale:

$$Q_{recebido} = 2,2 \cdot 10^{-4} mol \cdot 20,76 \frac{J}{mol \cdot K} \cdot (200 - 26) K = 0,8 J/ciclo$$

Agora, o trabalho durante todo o processo pode ser calculado pela energia cinética de rotação e de translação das partes móveis do motor: os dois êmbolos, os CD's, os discos e o eixo central:

$$K_{rotação_{eixo}} = \frac{1}{2} MR^2 \omega^2 = 1,0 \cdot 10^{-2} J$$

$$K_{rotação_{CD}} = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{2} MR^2 \right) \cdot \omega^2 = 4,3 \cdot 10^{-2} J$$

$$K_{rotação_{disco}} = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{2} MR^2 + Mh^2 \right) \cdot \omega^2 = 0,7 \cdot 10^{-2} J$$

Aqui, h é determinado pelo Teorema dos Eixos Paralelos, uma vez que o eixo que conecta o CD à seringa não está girando em torno do centro de massa, mas sim em torno do centro do CD que está a 1 cm do centro de massa do eixo considerado.

$$K_{translação_{seringa}} = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot (Mv^2) = 0,3 \cdot 10^{-2} J$$

O valor da velocidade angular ω foi calculado a partir da frequência de oscilação, que por sua vez foi medida através da gravação do motor em funcionamento e medindo o número de oscilações que ele realiza em um dado intervalo de tempo. Assim, obtém-se a frequência $f = 6,4 s^{-1}$. Portanto, a velocidade angular vale:

$$\omega = 2\pi f = 40 rad/s$$

Outro ponto a se destacar é o cálculo da velocidade de translação do êmbolo; como o êmbolo se desloca 4 cm durante todo o ciclo, sua velocidade média nesse trajeto é dada por:

$$v = 4\text{cm} \cdot 6,4\text{s}^{-1} = 0,26\text{m/s}$$

Agora, pode-se medir o rendimento da máquina térmica:

$$\eta = \frac{0,3 \cdot 10^{-2} + 4,3 \cdot 10^{-2} + 0,7 \cdot 10^{-2} + 1,0 \cdot 10^{-2}}{0,8} = 7,9\%$$

Outro elemento que pode ser abordado é a montagem do diagrama P-V de um motor de Stirling, porém os alunos do 9º ano ainda não foram apresentados ao conteúdo de funções e estavam pouco familiarizados com construção de gráficos. De toda forma, a Figura 5 abaixo mostra o ciclo do motor em um diagrama P-V.

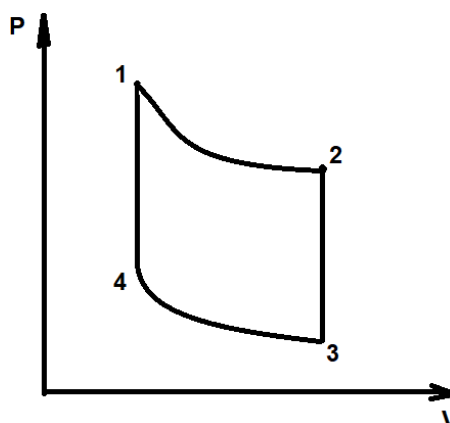


Figura 6. Diagrama P-V para um motor de Stirling.
Fonte: Autor.

Note que os processos 1 para 2 e 3 para 4 ocorrem sob temperatura constante (isotérmicos) e representam os reservatórios térmicos, enquanto que os processos de 2 para 3 e de 4 para 1 são processos isocóricos que ocorrem no volume mínimo e máximo de cada reservatório.

6 CONCLUSÃO

O maior destaque a se fazer durante o processo de ensino-aprendizagem com essa pesquisa é a necessidade de engajamento dos estudantes durante as aulas. Ensinar termodinâmica para alunos do ensino fundamental – anos finais pode ser uma tarefa desafiadora, mas também pode ser uma experiência gratificante e enriquecedora tanto para as crianças quanto para os professores. A termodinâmica é um assunto fascinante que explica o comportamento da energia e da matéria em nível macroscópico, e tem importantes aplicações em muitas áreas da ciência e da engenharia. Com a tentativa de introduzir a termodinâmica a esses estudantes, esperou-se ajudá-los a desenvolver uma melhor compreensão do mundo ao seu redor e como ele funciona usando conceitos já conhecidos, porém ainda não formalizados do ponto de vista acadêmico, como energia, temperatura e calor. Durante a pesquisa, pode-se observar que o grupo do ensino fundamental trabalhado apresenta um imediatismo nas respostas e falta uma sofisticação nos termos utilizados; em parte, entendem-se essas questões como inerentes à evolução mental que os alunos estão passando, porém eles vão ingressar numa etapa que exige um pensamento crítico mais lapidado, portanto é uma mudança de paradigma necessária e inevitável ao desenvolvimento humano. Os resultados obtidos com o ensino fundamental foram relativamente bons, considerando que o grupo 2º ano já apresentava experiências mais desenvolvidas e conseguia articular seus argumentos de forma mais coerente. Em comparação, o 9º ano, por mais que compreendessem o assunto, não conseguiam formular uma resposta de forma coerente, apesar disso o esforço para entender o assunto e o desejo em aprender, explicar e brincar com os experimentos levados para sala era evidente.

Após a pesquisa, pode-se concluir que ministrar o conteúdo de termodinâmica é uma possibilidade viável para o ensino fundamental – anos finais com algumas ressalvas: i) um maior número de aulas, dado que o projeto de pesquisa foi desenvolvido em 6 horas (3 encontros) para um conteúdo extremamente denso e complicado; ii) viabilizar os experimentos para os estudantes serem capazes de replicarem em casa.

É importante observar que termodinâmica é uma área que exige pensamento sobre “o que é necessário considerar para entender o funcionamento do sistema”, uma vez que existem várias grandezas a serem estudadas, como temperatura, pressão e volume. Portanto, é indispensável que o docente tenha ferramentas adequadas para ser capaz de transmitir essa complexidade de forma que não gere desmotivação no discente que tem um primeiro contato com o assunto, e a forma mais simples de se fazer isso é transformar a sala de aula em um laboratório.

REFERÊNCIAS

- LARAJEIRAS, Cássio C. 190 Anos do Ciclo de Carnot. **E-Boletim de Física**. Brasília, v. 3, 2014.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.
- YOUNG, Hugh D., FREEDMAN, Roger A. Física II: Termodinâmica e ondas. São Paulo, ed. 10, 2010.
- HALLIDAY, David et al. Fundamentos de física, volume 2 : gravitação, ondas e termodinâmica. **LTC**. Rio de Janeiro, ed. 10, v. 2, 2016.
- MONTEIRO, Carlos; DE CHIARO, Sylvia. Fundamentos Psicológicos do Ensino e da Aprendizagem. **Editora Universitária da UFPE**. p. 65-66. 2012. Disponível em: <<https://editora.ufpe.br/books/catalog/book/402>>. Acesso em: 02/10/2022.
- ZEMANSKY, Mark W., DITTMAN, Richard H. Heat and Thermodynamics: an intermediate textbook. Estados Unidos, ed. 7, 1996, 510 p.
- FEYNMAN, Richard et al. Lições de Física. **Bookman**. Porto Alegre, ed. Definitiva, v. 1, 2008.
- COSTA, Luciano; BARROS, Marcelo. O ensino de física no Brasil: Problemas e desafios. **Educação no Século XXI - Volume 39 - Matemática, Química, Física**. Paraná. 2015.
- VIENTOT, L.; ROZIER, S. Students' reasonings in thermodynamics. **Internacional Journal of Science Education**. Vol. 13. nº2, p. 159-170. 1991.
- LINN, Marcia; SONGER, Nancy Butler. Teaching Thermodynamics to Middle School Students: What are Appropriate Cognitive Demands?. **Journal of Research in Science Teaching**. Vol. 28. nº10, p. 885-918. 1991.
- PLANCK, Max. Treatise on Thermodynamics. **Dover Publications**. Berlin, ed. 3, 1917.
- GOUVEIA, Rosimar. Diagrama do Ciclo de Carnot. Toda Matéria. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/ciclo-de-carnot/>. Acesso em: 30/04/2023.

APÊNDICE A – Questionário 1



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

COLÉGIO DE APLICAÇÃO

COMPONENTE CURRICULAR: FÍSICA

NOME-

1. Temperatura e Calor são sinônimos? Se sua resposta foi “Não”, diferencie os dois termos.
2. O que significa dizer que algo está “quente” ou “frio”?
3. Qual a função de um termômetro? Qual o seu princípio de funcionamento?
4. O que faz as temperaturas dos corpos mudarem? Dê exemplos de como é possível mudar a temperatura de um corpo.
5. O que você entende por energia? Dê exemplos de uso no seu dia-a-dia.
6. É possível criar ou destruir energia? Exemplifique.
7. O que é um estado sólido, líquido e gasoso? Como a temperatura afeta o estado da matéria?

APÊNDICE B – Questionário 2**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO****COLÉGIO DE APLICAÇÃO****COMPONENTE CURRICULAR: FÍSICA**

NOME-

1. Fale sobre a Lei Zero da Termodinâmica.
2. Na última aula, vimos que o volume no interior da garrafa diminui quando a colocamos em contato com o gelo. O que aconteceria se, ao invés de resfriar, tivéssemos aquecido a garrafa? Nessa situação, alguma das grandezas vistas se manteria constante?
3. O que acontece quando dois objetos de temperaturas diferentes são colocados em contato um com o outro?
4. Como a Lei Zero da Termodinâmica se relaciona com a Segunda Lei da Termodinâmica?
5. Por que é impossível criar uma máquina térmica que opere com 100% de eficiência?