

## Diagrama da

# máquina térmica

para o ensino com aparelho cativante e orientação semiótica



Carlos Eduardo Laburú<sup>1</sup>, Osmar Henrique Moura da Silva<sup>1,#</sup> , Andréia de Freitas Zômpero<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Departamento de Biologia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, Brasil.

### Palavras-chave

multimodos de representação;  
registros semióticos  
ensino de física  
demonstração Pássaro Sedento

### Resumo

O trabalho propõe ações didáticas para promover o ensino do abstrato diagrama de fluxo de máquinas térmicas em nível médio em contraponto à maneira como é tradicionalmente empregado e que frequentemente é incapaz de superar uma aprendizagem superficial dos alunos. Dentro de uma perspectiva que considera que encaminhamentos instrucionais do educador devam ser orientados junto a uma educação consciente, favorecendo uma instrução por ampliação de atuações estratégicas de controle implícito, a proposta toma como guia dois referenciais do programa de pesquisa desenvolvidos pela área de educação científica que se orienta e toma por base os estudos semióticos. Os referenciais teóricos estão associados às pesquisas em multimodalidade representacional e nos registros semióticos de Raymond Duval. Inserido nessas ações, destaca-se a utilização do aparelho denominado comercialmente de Pássaro Sedento. O aparelho foi selecionado em razão de poder evidenciar os conceitos envolvidos com o diagrama e possuir atributos cativantes, uma vez que une aspectos motivacionais e de atratividade que auxiliam a sustentar a atenção dos discentes para encaminhamento da proposta.

Autor de correspondência. E-mail:  
osmarh@uel.br.

Este é um artigo de acesso livre sob  
licença Creative Commons



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

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

### 1. Introdução

O diagrama do fluxo de energia de uma máquina térmica é uma representação cognitivamente importante de física que compõe e aglutina diversos conceitos parciais relacionados ao estudo da termodinâmica, tais como: lei da conservação da energia, calor, trabalho, ciclo, variáveis de um gás, sistema, ambiente e rendimento de motor térmico. Por ser abstrato, a introdução do aprendiz

no diagrama tende a ser de difícil entendimento, devido à necessidade de coordenar e integrar os vários conceitos e, habitualmente, as explicações e os exercícios abstratos dos livros didáticos do Ensino Médio raramente os transpõem para situações reais.

**Por ser abstrato, a introdução do aprendiz ao diagrama de fluxo tende a ser de difícil entendimento**

Como consequência, dificilmente os estudantes conseguem obter uma compreensão do diagrama que ultrapasse a simples abstração, o que propicia uma aprendizagem superficial, posto que se reduz a

regras e operacionalismos mecânicos, tornando-o desinteressante e incapaz de auxiliar na leitura do entorno tecnológico. Todavia, dominar o diagrama é fundamental para entender máquinas térmicas de uso diário, como motores a explosão de automóveis, barcos, geradores a combustível, aviões a hélice, locomotivas a diesel ou a vapor, geladeiras etc. Considerado esses aspectos, este artigo faz uma proposta de ensino, usando o equipamento de nome comercial Pássaro Sedento,<sup>1</sup> amparada por elementos conceituais dos estudos semióticos. A sugestão do uso do equipamento em particular deve-se à característica cativante do mesmo, dado que atrai a atenção dos estudantes, além de possibilitar discutir e aplicar em uma situação prática vários conceitos, com o objetivo de promover a inteligibilidade do abstrato diagrama. A característica imediata e singular do Pássaro Sedento é aparentar um moto contínuo ou perpétuo, violador da conservação da energia, pois não evidencia, à primeira vista, a origem da energia que o mantém em funcionamento. Ademais, o aparelho também não se mostra como uma máquina térmica tradicional, dado que para um olhar teoricamente despreparado não é possível perceber sua fonte de energia ou seus reservatórios térmicos quente e frio responsáveis por mantê-la em funcionamento. Ainda, podemos destacar o caráter lúdico do instrumento em forma de um passarinho bebendo água. A reunião desses aspectos permite que o professor levante várias discussões em sala de aula, de modo a tornar o diagrama de fluxo da máquina térmica significativo, possibilitando que o estudante consiga utilizá-lo como ferramenta para decifrar o equipamento, assim como estender esse conhecimento para outras máquinas térmicas presentes ao seu redor.

A sustentar a utilização do aparelho acima, e como maior diferenciação do trabalho, pretende-se inserir à sua dimensão cativante uma proposta de ensino orientada por referenciais semióticos transpostos para a educação científica que se sustentam na multimodalidade e múltiplas representações [1] e nos Registros de Representação Semiótica de Duval [2] tendo em vista o ensino do diagrama. Aliás, no contexto de uma transposição didática entre o trabalho de Duval [2] e o ensino de física, cabem citar os recentes estudos de Lima [3] e de Faria e Laburú [4]. Essencialmente, por detrás da presente proposta, encontra-se a transposição da forma representacional diagramática para a representação 3-D [5] do equipamento em foco, como intervenção didática central. Em termos multimodais e com objetivos de apropriação com significado do diagrama, o estudante é conduzido a dominar a troca representacional diagramática, trocando-a para a 3-D e vice-versa, tornando-se, assim, capaz de tratar ambas as representações

**Por detrás da presente proposta, encontra-se a transposição da forma representacional diagramática para a representação 3-D do equipamento em foco, como intervenção didática central**

de forma integrada e coordenada junto aos conceitos termodinâmicos. Esses referenciais semióticos são discutidos na próxima seção, seguidos de uma contextualização de trabalhos a respeito do Pássaro Sedento para, enfim, abordar a presente proposta pedagógica.

## 2. Referenciais semióticos

A formação do pensamento científico é inseparável do desenvolvimento de simbolismos específicos para representar objetos e suas relações [6], em que para existir aprendizagem científica com significação é fundamental que haja ações didáticas na direção de troca e coordenação representacional. Sabido que cada representação veicula aspectos conceituais diferentes do mesmo objeto conceitual [7, p. 111], Ainsworth [apud 8, p. 1846] considera que engajar estudantes em uma pluralidade de modos e formas representacionais sustenta e robustece a aprendizagem por vários motivos. Entre estes, torna possível que o aprendiz ratifique conhecimentos estudados mediante complementariedade e tonificação do que imagina ter entendido. Permite que uma dada interpretação de uma representação possibilite restrição e refinamento do conhecimento uma vez que limita o foco do aprendiz do estudado. Por detrás dessas considerações, encontra-se o estabelecimento de habilidades diferenciadas dos estudantes em empregar, hierarquizar e reconhecer conexões entre múltiplas representações de um conceito, permanecendo flexível frente às diferentes redes internas do conhecimento formadas por eles quando se considera um tipo apropriado de condução da instrução recebida.

No que concerne o referencial de Duval [2], os signos do tipo registro de representação semiótica obedecem a regras que permitem a manipulação de um sistema semiótico em um processo físico ou em um conjunto de fenômenos. No entanto, existe uma diferença importante entre o que se entende por representações no referencial multimodal representacional e o que Duval [2] denomina de representação do tipo registro. Os registros são um tipo particular de representação semiótica, já que estão submetidos a três atividades cognitivas, com funções ou propriedades distintas, que não necessitam ser satisfeitas para as representações genéricas tratadas no referencial dos multimodos e das múltiplas representações. Para Duval [2], as atividades cognitivas fundamentais de representação ligadas à semiose são as seguintes. Uma primeira atividade de representação semiótica de um registro denomina-se formação. Esta atividade é inerente a toda representação e sua função é externar o que está interiorizado pelas representações mentais, consubstanciando-as sensivelmente para que possam ser co-

municadas. Logo, constitui uma marca ou um conjunto de marcas perceptíveis, identificáveis, ligado a um sistema semiótico [2, p. 30]. Uma representação mental, ao se consubstanciar mediante aplicação da atividade de formação, torna-se revelada em algum modo ou forma representacional, sendo que, para isso, necessita de um conjunto selecionado de caracteres convencionados que a instituem como algo [2]. No âmbito das ciências, que é o campo de discussão aqui, essas convenções remetem às específicas linguagens, próprias da cultura de determinada disciplina. Pode-se falar que a atividade de formação corresponde a uma função cognitiva elementar, isto porque envolve simples designação nominal e reprodução de traços convencionados que permitem identificar dispositivos, conceitos, leis, equações, diagramas e teorias.

As outras duas atividades cognitivas relativas aos registros obedecem à chamada propriedade de transformação. Uma transformação denominada de tratamento permite, de acordo com regras únicas e próprias ao sistema de representação, obter outras representações que podem vir a constituir ganho de conhecimento, em comparação com as representações iniciais. A propriedade de tratamento é realizada no interior de um mesmo registro e admite expansão informacional quando se parte de uma representação de saída para outra de chegada, mas que conserva o mesmo registro semiótico. Assim, o tratamento não mobiliza mais do que um único registro de representação semiótico. Exemplos a serem mencionados podem ser: as operações com registros numéricos ou algébricos na matemática; paráfrases na linguagem natural; ou na física, por meio da associação de resistores equivalentes, tanto na modalidade representacional 3-D quanto no emprego de seus símbolos.

Opondo-se à de tratamento, a conversão tem a função de passar de um registro de representação semiótico para outro distinto e diferente. Sua importância na mudança de registro é de ganho epistêmico [2, p. 42]. As habituais operações de tradução de uma língua para outra, mudança de código analógico para digital, operações entre escritas fracionárias, decimais e de expoentes, troca da forma algébrica e gráfica entre si ou para a linguagem natural são exemplos de tal atividade. Em razão de cada registro na conversão apresentar regras internas distintas, isso resulta que tal atividade cognitiva requer um mecanismo de coordenação de inter-registros para sua efetivação. Na comparação das duas propriedades de transformação, a última é mais complexa do que a segunda, por vários motivos. Primeiro, ela solicita domínio simultâneo das propriedades de formação de cada registro. Segundo, há a necessidade de que haja o reconhecimento das regras internas de tratamento de cada registro. Tercei-

ro, cada conversão é singular, pois uma regra de um registro usada em um sentido para outro não é a mesma quando o sentido é revertido [2, p. 48]. Quarto, o mesmo objeto representado requer ser reconhecido separadamente nos registros, haja vista que os conteúdos frequentemente nada têm em comum, mas que acabam conservando a mesma denotação [9, p. 110-112]. Por final, e atrelada a esta última, deve haver dissociação cognitiva do objeto representado do conteúdo da representação semiótica particular em que está expressa [2, p. 124].

Resta mencionar outro aspecto fundamental da atividade de conversão, que é a condição para que diferentes registros de partida e de chegada se coloquem em correspondência para estabelecer coordenação e integração, a fim de existir compreensão dos mesmos. Para isso, é necessário que a atividade cognitiva de conversão segmente cada registro em unidades significantes com a finalidade de confrontação. Ora, essa confrontação é sempre realizada sob uma terceira representação de tipo verbal e/ou não verbal de modo a codificar e localizar as representações

que se querem comparar. A associação entre os registros se dá seguindo critérios de correspondência semântica, univocidade ordem significante elemental [2, p. 53]. O primeiro critério de correspondência semântica existe no momento em que é possível associar ou traduzir cada unidade significante semiótica simples de uma representação para uma unidade significante elemental de outra representação. Em sendo essa associação única, há univocidade semântica. O terceiro critério permanece relativo à organização das unidades significantes quando da comparação entre as representações de partida e chegada. Quando as unidades que compõem cada um dos registros comparados puderem ser conduzidas segundo uma mesma sequência, haverá o critério de ordem de arranjo. Havendo três critérios na atividade de conversão, diz-se que as representações são congruentes, caso contrário fala-se em não congruência. E como implicação pedagógica disso, as representações do tipo congruentes dão lugar para uma taxa elevada de sucesso para os estudantes do que as não congruentes [2], visto que estas últimas resultam em dificuldades maiores de compreensão.

### **3. Pássaro Sedento: descrição e contextualização de estudos**

Elaborado na primeira metade do século passado por Sullivan [10], o aparelho é descrito como uma versão em vidro constituída de dois bulbos interligados por um tubo, em que fica aprisionado um líquido volátil. Na superfície externa do bulbo superior é colado um feltro mantido umedecido e que é responsável pelo funcionamento oscilante do aparelho por um extenso

**Em razão de cada registro na conversão apresentar regras internas distintas, isso resulta que tal atividade cognitiva requer um mecanismo de coordenação de inter-registros para sua efetivação**

tempo entre quase a vertical e horizontal. Desde sua invenção, há uma alegoria para simular um passarinho que de modo contínuo inclina-se a “tomar água” em um recipiente, responsável por manter o feltro umedecido. Para Abraham e Palffy-Muhoray [11, p. 782], essa demonstração de conversão de calor em energia mecânica, de baixo rendimento, “é indiscutivelmente um dos mais bem-sucedidos brinquedos de física de todos os tempos”. A Fig. 1 apresenta uma foto de um equipamento típico comercializado.

Ao longo do tempo e em virtude de a demonstração interessante relacionar alguns princípios termodinâmicos importantes, diversos trabalhos propuseram discutir peculiaridades de seu funcionamento em termos dos conceitos de máquina térmica. Güemez e cols. [12], por exemplo, apresentam um estudo detalhado com análises dos diferentes períodos de oscilação substituindo substâncias mais voláteis no feltro da cabeça do que a usual água. Por sua vez, Abraham e Palffy-Muhoray [11] divulgaram uma montagem diferente com materiais simples e distintos que não possui bulbos de vidro que aprisionam a substância volátil, e com um período de oscilação de horas, em vez de segundos da versão tradicional comercializada. Rathjen [apud 13, p. 677] estudou uma adaptação com engrenagem e catraca ao aparelho para levantar um clipe de papel, o que permitiu uma avaliação da potência do aparelho em cerca de  $1 \mu\text{W}$ . Por sua vez, Lorenz [13, p. 679] adapta um pequeno ímã no bulbo inferior do pássaro de modo a induzir forças eletromotrizes em uma bobina estática na base para obter a potência, conseguindo determinar a potência de pico da ordem de  $3 \mu\text{W}$  e um valor médio de  $0,27 \mu\text{W}$ , que incluiu o tempo imóvel do pássaro por ciclo. Portanto, na medi-

**A temperatura mais baixa deste bulbo reduz a pressão de vapor do fluido volátil na cabeça em relação à pressão de vapor do bulbo inferior, fazendo com que o líquido se eleve pelo tubo**

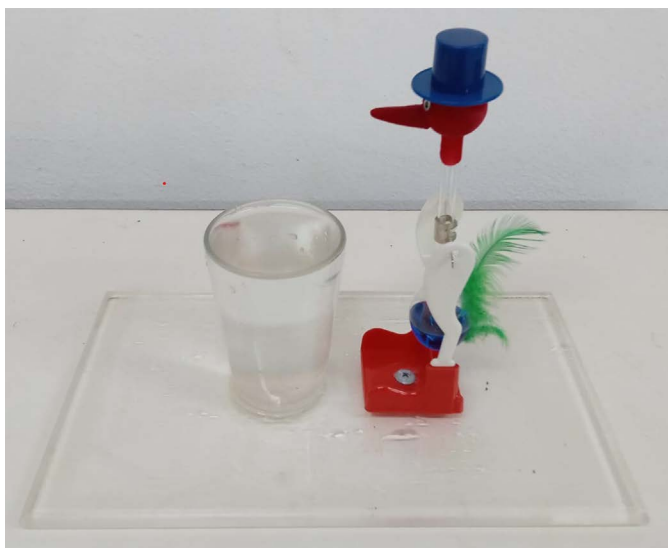


Figura 1 - Experimento Pássaro Sedento.

da em que o aparelho é concebido para ser um motor térmico (Fig. 1), as análises de sua eficiência máxima indicam valores que não são superiores a 2%, conforme informado em Lorenz [13, p. 681].

Uma descrição qualitativa do funcionamento do aparelho pode ser estabelecida da seguinte forma: após o feltro da cabeça estar umedecido e o pássaro se posicionar na vertical, a água evapora lentamente e resfria o bulbo superior, ou seja, a cabeça. A temperatura mais baixa deste bulbo reduz a pressão de vapor do fluido volátil na cabeça em relação à pressão de vapor do bulbo inferior, fazendo com que o líquido se eleve pelo tubo. Enquanto ocorre essa elevação em direção à cabeça, o centro de massa do pássaro se modifica a ponto de o aparelho se inclinar para frente, mergulhando o bico do pássaro em um copo d'água que, assim, mantém úmido o feltro da cabeça. No entanto, quando inclinado esse conjunto quase na horizontal, o canal (tubo) se abre e o vapor do bulbo superior se une ao vapor do bulbo inferior, o que faz com que o líquido na cabeça retorne ao bulbo inferior por haver ainda uma ligeira inclinação. O deslocamento desse centro de massa gera um torque no pássaro para deixá-lo outra vez na vertical, mas recorrente disto, como um pêndulo, um comportamento do pássaro de oscilar para frente e para trás enquanto o ciclo recomeça. Em termos dinâmicos, o sistema é um pêndulo composto amortecido cuja massa é variável com o tempo, devido

à lenta migração do líquido interno para cima (bulbo superior) e vice-versa. Em termos termodinâmicos, é uma máquina térmica que usa a evaporação da água para criar uma diferença de temperatura e fluxo de calor.

Como mencionado, o Pássaro Sedento tem sido apresentado em vários artigos, entretanto sem manter um enfoque mais direcionado ao nível médio de ensino. Nesse contexto, as próximas seções se encarregam de apresentar os referenciais semióticos pelos quais uma proposta educacional seguirá atrelada ao uso dessa interessante demonstração em benefício do estudo do diagrama de fluxo de energia de uma máquina térmica.

#### **4. Procedimentos metodológicos à viabilidade da proposta**

Amparados pelos instrumentos conceituais semióticos já abordados, passemos aos encaminhamentos que propõem a apropriação significativa da abstrata figuração do diagrama de fluxo de energia de uma máquina térmica, existente nos livros didáticos. Para começar, antes de a conversão não congruente da representação imagética do diagrama passar à representação 3D (objeto Pássaro Sedento), precisa-se, primeiramente, proceder ao reconhecimento da figura

junto à atividade de formação com o objetivo de discriminar seus símbolos. Para isso, é necessário o uso de conversão congruente que remeta da linguagem natural para as partes figurativas do diagrama e vice-versa, com objetivo de discriminação de suas unidades semióticas mediante estabelecimento de explícita correspondência semântica termo a termo. A finalidade disso é apresentar cada símbolo do diagrama (fonte quente e fria, suas temperaturas, sistema, ciclo do gás, calor absorvido e rejeitado, trabalho realizado, sentido de ciclo, conservação da energia ( $Q_1 - Q_2 = W$  exibidos destacadamente como larguras dos tubos que entram e saem do ciclo do gás) e, por fim, a equação da eficiência térmica ou rendimento ( $e = 1 - Q_2/Q_1 = 1 - T_2/T_1$ ), assim como a sua independência com a natureza do gás, tendo em conta o nível escolar especificado, conforme a Fig. 2. Todavia, é importante mencionar para os alunos que essa eficiência teórica é a máxima possível e que se aplica apenas às máquinas de Carnot, cujo ciclo é referenciado em livros do Ensino Médio, enquanto para máquinas ideias de outros ciclos termodinâmicos que trabalhem “entre” as mesmas temperaturas de uma máquina de Carnot terão sempre eficiências teóricas menores que a de Carnot, e que as máquinas reais terão eficiências ainda menores.

Após a atividade de formação, passa-se às atividades de transformação, pelas quais se indica exercitar a conversão da representação do diagrama com variações das grandezas calor, trabalho, temperatura e rendimento, concomitantemente com representações figurativas [15] que apresentem as primeiras máquinas térmicas históricas [16, p. 45 e 49], motores térmicos atuais e vídeos de internet que mostram motores didáticos, como de ciclo Stirling [15]. Nisso cabe, igual-

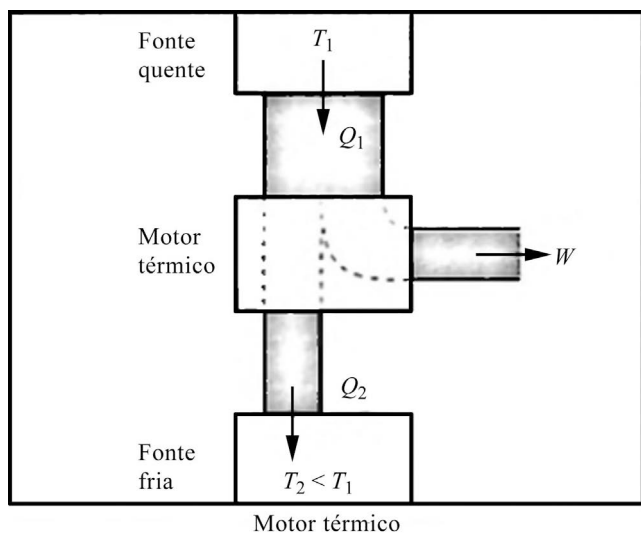


Figura 2 - Diagrama de fluxo de uma máquina térmica. Fonte: Ref. [14, p. 253].

mente, que os alunos discutam o motor de carro elétrico em contraste com os de explosão, pois o primeiro é incapaz de ser convertido no diagrama, ou seja, passar por um processo de conversão. A importância da provocação desse contraste se sustenta em Prieto [17]. O autor coloca que dentro do universo do discurso, a classe das possibilidades que se realizam referentes ao significado de uma mensagem se contrapõe logicamente à classe das possibilidades que não se realizam [17, p. 24 e 28]. Isso quer dizer que auxiliar o aprendiz a identificar a classe das possibilidades que se realizam no universo do discurso e que restringe o significado de uma ideia, significa, simultaneamente, identificar também por oposição aquilo que não pertence a essa classe. Assim, a classe positiva que abarca todos as indicações que os fatos possam enquadrá-la conduz a saber distinguir o que ela não contempla, ou seja, a classe negativa constituída pelos fatos que podem aparecer no lugar da mesma indicação, mas que não pertencem à classe positiva. Por conseguinte, estimular essa delimitação por contraposição é impulsionar a compreensão da representação.

Após ações para os estudantes dominarem essas atividades, passa-se à conversão final de destaque, o que implica, em outras palavras, trocar a representação imagética (diagrama) para a representação 3D (Pássaro Sedento). A partir deste momento é de se observar que a referência à troca ou mudança representacional, que são termos do referencial multi-representacional-multimodal, se adequa melhor como terminologia do que a palavra “conversão”. Isso porque objetos concretos não são registros de representação, mas modos de representação propriamente ditos. Consequentemente, o emprego dos conceitos “correspondência semântica”, “univocidade semântica” e “ordem de arranjo” alude, a partir de agora, a uma terminologia com leitura aproximada da linguagem dos registros que se encontra transladada para o referencial de multimodos, tendo em vista o objetivo do trabalho.

Considerado isso, passemos ao procedimento de troca representacional auxiliado por questionamentos [15]. O primeiro passo é o professor procurar ensinar seus alunos que o objeto na forma de passarinho é simular uma máquina térmica típica, ainda que não aparente. Daí, começa-se questionando os estudantes a respeito de onde se localizam os reservatórios quente e frio de fornecimento e rejeição de calor. Outro ponto igualmente importante quanto esse para caracterização de uma máquina térmica é problematizar sua finalidade, ou seja, se o aparelho é uma máquina então deve realizar trabalho, por consequência, como imaginar e identificar nele esse objetivo? Um possível exemplo explícito de trabalho produzido poderia ser a

**Os alunos devem discutir o motor de carro elétrico em contraste com os de explosão, pois o primeiro é incapaz de ser convertido no diagrama, ou seja, passar por um processo de conversão**

retirada de água do copo através do bico do passari-  
nho. Nesse caso, poder-se-ia circunstanciar o assunto e  
estabelecer associação com a histórica primeira má-  
quina térmica comercial de sucesso de Thomas Sarvery  
(1650-1715), inventada para retirar água de minas de  
carvão [16, p. 45], combustível este que é fonte essen-  
cial de energia da época. Da mesma maneira, é impor-  
tante ressaltar para os alunos que a mesma água é  
fundamental para o funcionamento do aparelho, já  
que é responsável pela retirada de calor do sistema.  
Nesse sentido, deve-se esclarecer que o feltro do bico  
que se estende até a cabeça é umedecido pela água e  
constitui, assim, o reservatório frio.  
Sua temperatura mais baixa em rela-  
ção ao reservatório quente (ar ex-  
terno) é mantida devido ao processo  
de evaporação da água que resfria o  
sistema para que o ciclo do gás se  
repita. Aqui, ainda, uma discussão  
paralela complementar a respeito da  
conservação da energia pode ser posta  
para contrapor à aparente percepção imprópria de  
modo perpétuo que o aparelho costuma induzir aos  
que o veem funcionando.

Como passo final, dentro de uma avaliação formati-  
va do processo de ensino, propõe-se que o professor  
levante a questão da determinação do rendimento da  
máquina e, após isso, solicite como melhorá-lo. Para o  
encaminhamento da solução da primeira questão, con-  
sidera-se, junto à atividade de conversão, que se inter-  
cambie as representações semióticas verbal e algébrica  
da equação de rendimento e que devem levar às cor-  
respondências semânticas e unívocas sobre o objeto 3D  
para a determinação das temperaturas dos reservató-  
rios. Reconhecidas pelos estudantes as temperaturas dos  
reservatórios quente e frio, dadas pelo meio ambiente  
e cabeça com feltro do Pássaro, respectivamente, tem-  
se que a medida primeira é trivial e a última pode ser  
obtida mediante um termômetro infravermelho. Am-  
bas costumam dar uma diferença de 3 graus centrígra-  
dos, aproximadamente. O encaminhamento da segun-  
da questão pode vir de várias sugestões solicitadas aos

estudantes, sempre exigindo que os argumentos este-  
jam amparados e balizados pela equação do rendi-  
mento. Assim, a solução se volta para o aumento da  
temperatura do ambiente ou diminuição da tempera-  
tura do reservatório frio, e que podem, por exemplo,  
ser realizados por aproximação de uma vela por baixo  
do pássaro no primeiro caso, ou trocando a água por  
uma substância mais volátil, como o álcool, no segundo  
caso.

Com essa última discussão, fecha-se a troca da re-  
presentação figurativa do diagrama para a da repre-  
sentação 3D. Mas como ação didática final e como  
oportunidade de reforçar, certificar e  
firmar o processo de aprendizagem, é  
possível estabelecer uma conversão  
por troca representacional de maneira  
inversa. Para isso, e mantendo asso-  
ciações do tipo correspondência e uni-  
vocidade semântica, cabe solicitar que  
os estudantes partam de objetos reais  
do dia a dia, como o automóvel ou  
outros, e os traduzam em seus respectivos diagramas  
de máquinas térmicas.

## 5. Considerações finais

Forneceu-se aqui uma orientação instrucional al-  
ternativa para subsidiar o professor no contexto do  
diagrama de fluxo de energia de uma máquina tér-  
mica, envolvendo o Pássaro Sedento como atividade  
experimental, e com amparo nos referenciais da semi-  
ótica de Duval e dos multimodos e múltiplas repre-  
sentações. Considerado que o ensino, quando trata do  
mundo natural e tecnológico, pode vir a dispor, como  
suporte, de ações instrucionais justificadas e baseadas  
à luz desses referenciais selecionados, o trabalho man-  
tém a expectativa de contribuir, portanto, com o pro-  
fessor para a melhoria da compreensão dos aprendizes  
desse simbólico diagrama.

Recebido em: 10 de Março de 2023

Aceito em: 18 de Outubro de 2023

### Nota

<sup>1</sup><http://eaulas.usp.br/portal/video.action?idItem=22537>.

### Referências

- [1] J. Yeo, W. Nielsen, Learning: Reseach and Practice **6**, 1 (2020). doi
- [2] R. Duval, *Semiosis y Pensamiento Humano: Registros de Representação Semiótica y Aprendizajes Intelectuales* (Universidad del Vale, Instituto de Educación y Pedagogía, Santiago de Cali, Colombia, 2004).
- [3] L.G. Lima, Investigações em Ensino de Ciências **24**, 196 (2019). doi
- [4] R.A. Faria, C.E. Laburú, Rematec - Revista de Matemática, Ensino e Cultura **16**, 262 (2021). Disponível em <http://www.rematec.net.br/index.php/rematec/article/view/77>, acesso em 5/10/2023.
- [5] B. Waldrip, V. Prain, J. Carolan, Research in Science Education **40**, 65 (2010). Disponível em <https://link.springer.com/article/10.1007/s11165-009-9157-6>
- [6] G.G. Granger, *Langages et Épistémologie* (Editions Lincksieck, Paris, 1979).

- [7] N. D'Amore, M.I.F. Pinilla, M. Lori, *Primeiros Elementos de Semiótica: Sua Presença e Sua Importância no Processo de Ensino-Aprendizagem da Matemática* (Editora Livraria da Física, São Paulo, 2015).
- [8] V. Prain, B. Waldrup, *International Journal of Science Education* **28**, 1843 (2006). doi
- [9] R. Duval, *Educational Studies in Mathematics* **61**, 103 (2006). doi
- [10] M.V. Sullivan, Novelty Device - United States Patent Office 2,402,463. June (1945). Disponível em <https://patentimages.storage.googleapis.com/44/87/01/333de332167c66/US2402463.pdf>, acesso em 7/3/2023.
- [11] N. Abraham, P. Palffy-Muhoray, *American Journal of Physics* **72**, 782 (2004). Disponível em [https://www.researchgate.net/publication/237493406\\_A\\_Dunking\\_Bird\\_of\\_the\\_Second\\_Kind](https://www.researchgate.net/publication/237493406_A_Dunking_Bird_of_the_Second_Kind), acesso em 7/3/2023.
- [12] J. Güemez, R. Valiente, C. Fiolhais, M. Fiolhais, *American Journal of Physics* **71**, 1257 (2003). doi
- [13] R. Lorenz, *American Journal of Physics* **74**, 677 (2006). Disponível em [http://users.df.uba.ar/giribet/f4/drinking\\_bird.pdf](http://users.df.uba.ar/giribet/f4/drinking_bird.pdf), acesso em 7/3/2023.
- [14] H.M. Nussenzveig, *Curso de Física Básica 2* (Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 2014), 5ª ed.
- [15] O.H.M. Silva, *Revista Ciências & Ideias*. **14**, e23142236 (2023). doi
- [16] Projeto Física, *Unidade 3 - Triunfo da Mecânica - Texto e Manual de Experiências e Atividades* (Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1980).
- [17] L.J. Prieto, *Mensagens e Sinais* (Editora Cultrix, São Paulo, 1973).