



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física

UMA AULA SOBRE ENERGIA MECÂNICA E SUA CONSERVAÇÃO ATRAVÉS DO USO DE ANALOGIAS

Vitor Ribeiro de Souza
Antônio Carlos Fontes dos Santos

Material instrucional associado à dissertação de Mestrado de Vitor Ribeiro de Souza, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2015

1. INTRODUÇÃO

Este material é o produto instrucional de um trabalho de Mestrado Profissional em Ensino de Física. Esta aula está baseada na estratégia de ensino utilizando analogias e que consiste das seguintes etapas: 1) Introduzir o conceito alvo; 2) Lembrar do análogo; 3) Identificar as características relevantes de alvo e análogo; 4) Identificar e mapear semelhanças; 5) Indicar as limitações da analogia; 6) Esboçar conclusões.

Como pré-requisitos, o aluno deverá ter conhecimentos básicos de conceitos como massa, posição, velocidade e força.

2. A EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE ENERGIA E SUA CONSERVAÇÃO

Energia, do grego, *enérgeia*, significa trabalho. A palavra Energia apareceu pela primeira vez em 1807, sugerida por Thomas Young (1773-1829). Ao adotar este termo, Young fazia referência ao produto $m.v^2$ (“vis-viva”), que estava associado ao que ele acreditava ser a Energia: a capacidade para realizar um trabalho.

Podemos encontrar uma ideia de conversão e conservação entre o que hoje denominamos de Energia Cinética e Energia Potencial na obra de Galileu Galilei (1564-1642). Ao afirmar que a velocidade máxima adquirida por um corpo que cai, partindo do repouso, na ausência de atrito, é capaz apenas de elevá-lo à altura inicial, nunca ultrapassando esta, Galileu nos dá pistas para entender tais processos relacionados aos movimentos. Outro exemplo foi a longa controvérsia entre os seguidores de René Descartes (1596-1650) e de Gottfried Leibniz (1646-1716) em relação à tentativa de se medir o movimento de um corpo e à quantidade conservada no processo, que em termos modernos, seria o momento ($m.v$), segundo Descartes e Energia Cinética (na verdade, o produto $m.v^2$, “vis-viva”) de acordo com Leibniz.

Apenas no início do século XIX, o termo energia se sobrepôs a termos como “calórico” e “vis-viva”. Em 1853, o termo foi adotado pelo físico escocês e

engenheiro William Rankine (1820-1872), que utilizou o termo “energia potencial” como o diferente de “energia atual” (que posteriormente seria denominada “energia cinética”). Com o seu sentido moderno, o termo entrou em uso geral apenas a partir de 1870.

Na época, a concepção de energia foi o centro de uma revolução no pensamento científico europeu, pois estavam ligadas a ela as condições para uma nova visão da natureza, uma visão que se ancorava no Princípio da Conservação da Energia (Kuhn, 1977).

Entre 1842 e 1847, ocorre a descoberta simultânea do princípio de conservação:

Entre 1842 e 1847, a hipótese da conservação da energia foi publicamente anunciada por quatro cientistas europeus amplamente dispersos – Mayer, Joule, Colding e Helmholtz -, todos, exceto o último, trabalhando em completa ignorância dos outros (Kuhn, 1977).

Apesar das revelações destes cientistas terem sido feitas em tempo diferentes e de seus enunciados não serem iguais, elas são consideradas como uma descoberta simultânea (Kuhn, 1977). Se levarmos em consideração os resultados dos trabalhos destes pesquisadores percebemos que todos estavam relacionados a um mesmo aspecto da natureza, descoberto de forma independente, porém em um mesmo contexto histórico.

Assim, a grande contribuição destes pesquisadores foi uma visão unificada, da "...emergência rápida e, muitas vezes, desordenada dos elementos experimentais e conceituais a partir dos quais esta teoria em breve iria se constituir" (Kuhn, 1977).

Deste modo, podemos inferir que os conceitos de Energia e Conservação de Energia foram estruturados a partir da evolução da forma de entender o mundo e a natureza que se intensificou principalmente a partir do século XIX, proporcionados por avanços nas pesquisas em diversas áreas da ciência como a Engenharia, a Química, a Biologia e a própria Física. Tais conceitos não são fruto do acaso ou de um lampejo de inspiração de uma mente genial e isto deve ficar evidente durante a atividade.

3. INTRODUÇÃO AO CONCEITO

Energia é um conceito crítico em ciências, mas é frequentemente uma fonte de confusão para os alunos se a apresentação não é cuidadosamente realizada pelo professor ou livro-texto [Jewett, 2008]. Energia é um conceito que, de certa forma, conecta toda a Física. A transferência e a transformação de Energia são os pilares de todos os processos que ocorrem em física, química e biologia. Ao introduzirmos o conceito de energia e sua conservação é importante discutir a sua natureza global.

Ao contrário do que é dito em linguagem cotidiana, não vemos nem sentimos a Energia. Podemos sim medir e às vezes sentir certos parâmetros que são relacionados à quantidade conhecida como Energia: massa, carga, velocidade, etc. A Energia é determinada pela combinação destes parâmetros de acordo com conjunto específico de expressões. Inicialmente vamos definir alguns termos.

Sistema: O primeiro passo na resolução de problemas sobre energia é identificar o sistema em consideração. O sistema pode ser um único objeto, dois ou mais objetos que interagem entre si, uma região do espaço, etc. A palavra sistema, muito utilizada no nosso dia-a-dia, se refere a um todo composto por partes, exemplos: sistema ferroviário, sistema hidráulico, sistema solar, sistema de ensino, etc. O conceito de sistema se aplica sempre que um todo, suas partes e suas relações devem ser consideradas, como o sistema massa-mola, ou o sistema projétil + Terra. Uma vez que identificamos o sistema, algumas mudanças podem ocorrer no sistema. Por exemplo, um pote fechado contendo água é colocado no refrigerador e uma parte ou toda a água pode virar gelo. Utilizamos a conservação da massa para identificar o sistema e acompanhar as mudanças que nele ocorrem. Isso significa que nenhuma matéria é adicionada ou retirada do pote durante o processo de congelamento.

Estado do sistema: Fatores variáveis tais como temperatura, pressão, volume, velocidade, etc... são utilizados para descrever o estado do sistema.

Interação: O sistema pode interagir com a sua vizinhança bem como diferentes partes do sistema podem interagir entre si. Em sala de aula, o

professor interage com os alunos e estes podem interagir entre si. No exemplo acima, o pote com água interage com a sua vizinhança (o refrigerador). Interagir significa atuar um sobre o outro. Interação é a ação sobre ou influência mútua. Dizer que um sistema interage é dizer que sobre ele um efeito é produzido, como resultado de suas ações mútuas. O que observamos geralmente não é a interação ou a influência que são conceitos abstratos, mas os efeitos ou resultados da interação. Por exemplo, o efeito da interação da radiação solar com o nosso corpo é o bronzeamento ou queimadura em casos extremos. A mudança da direção de um projétil nas vizinhanças da superfície da Terra é um efeito observável da interação projétil+Terra.

Para introduzir o conceito de Energia e sua conservação, adotamos o procedimento sugerido por Arons (1989). Energia é o poder inerente de um sistema material, de realizar mudanças no estado de sua vizinhança ou nele mesmo. Algumas fontes de Energia são: baterias, usinas hidrelétricas, combustíveis, etc.. A Energia pode ser transferida. No caso do sistema ser o corpo humano, a alimentação e o ar que respiramos contribuem para a transferência de Energia. A primeira lei da termodinâmica, que pode ser considerada como uma definição, no sentido que ela é a lei da natureza que afirma que existe uma quantidade chamada de energia que é função de estado do sistema, na sua forma mais conhecida é escrita como

$$\Delta E = Q \pm W \quad (1)$$

onde E é chamada a Energia interna do sistema, Q o calor e W o trabalho realizado sobre o sistema ($W > 0$) por uma força externa ou pelo sistema ($W < 0$) sobre o meio externo ao sistema. O instrutor deve identificar tanto o sistema sobre qual a força atua e a força que está realizando trabalho. O trabalho de uma força sobre um sistema deve ser introduzido não somente pelo produto $W = F \cdot d$, onde F é a força aplicada sobre o sistema e d o deslocamento, mas como um *processo* de transferência de Energia através dos limites do sistema pela aplicação de uma força ao longo de um deslocamento. Deve ser enfatizado que o trabalho é a quantidade de Energia transferida ao sistema, não uma mudança do estado.

O nosso objetivo é a compreensão de que a Energia é uma quantidade que pode ser transferida de, ou para, um sistema ou transformada dentro do sistema. É óbvio que esta compreensão não será alcançada de forma completa até o estudo da termodinâmica. Entendemos que o aprendizado acontece de forma “espiral”, onde um assunto é abordado em etapas sucessivas que vão se aprofundando de forma gradual e coerente. No modo convencional em que é apresentado o conteúdo, os estudantes veem conexão entre a primeira lei da termodinâmica e a Lei de Conservação da Energia que eles aprenderam em mecânica [Knight, 2004].

As mudanças na Energia interna do sistema podem aparecer de diversas formas: variação da Energia interna térmica ($\Delta E_{\text{térmica}}$), variação da Energia interna química ($\Delta E_{\text{química}}$), variação da Energia cinética (ΔE_{cin}), variação da Energia interna potencial (ΔE_{pot}), variação da Energia interna em outras formas (ΔE_{outras}). Assim, podemos escrever

$$\Delta E \equiv \Delta E_{\text{térmica}} + \Delta E_{\text{química}} + \Delta E_{\text{cin}} + \Delta E_{\text{pot}} + \Delta E_{\text{outras}} = Q \pm W \quad (2)$$

Onde $Q \pm W$ representa a quantidade de Energia transferida através dos limites do sistema por um dado mecanismo (calor, trabalho). A base conceitual dessa equação é que o único modo de alterar a Energia interna de um sistema é pela transferência de Energia através dos limites do sistema.

A Energia cinética E_{cin} em (2), é a soma da Energia cinética de translação do centro de massa e a energia cinética em relação ao centro de massa (rotação em torno do centro de massa, energia de translação radial). A Energia potencial E_{pot} inclui todos os tipos (gravitacional, elástica, elétrica, etc..). A Energia química está associada a Energia de combustíveis ou explosivos, Energia dos músculos (ATP), etc. A Energia térmica inclui o movimento não organizado dos átomos e moléculas.

O instrutor deve gastar algum tempo (uma aula de 50 minutos, por exemplo) discutindo esta equação e cada um dos termos que a compõem. Alguns exemplos podem ser trabalhados. Se uma força é aplicada sobre um bloco que se move com velocidade constante, em um plano horizontal, então $\Delta E_{\text{cin}} = \Delta E_{\text{pot}} = 0$, e $\Delta E_{\text{térmica}} > 0$. Se levamos um livro desde o solo até o topo de uma mesa, temos $\Delta E_{\text{cin}} = 0$, $\Delta E_{\text{pot}} > 0$, e $\Delta E_{\text{térmica}} = 0$. Em ambos os casos, as

forças que empurram o bloco ou levantam o livro são forças externas não conservativas que atuam sobre o sistema (bloco ou livro) e transferem Energia ao sistema.

O instrutor deve distinguir o sistema de sua vizinhança ou meio ambiente. Devemos lembrar a diferença entre sistema isolado quando o sistema não interage com a vizinhança, do sistema em equilíbrio, quando não ocorre transferência líquida de Energia sobre, ou pelo sistema.

Energia Mecânica (E_{mec}) é a energia relacionada ao movimento, ou à capacidade para realizar um movimento. A Energia Mecânica pode ser do tipo cinética ou potencial. A energia cinética (E_{cin}) é a energia dos objetos em movimento, quando estes possuem uma determinada velocidade. A Energia Cinética é mais facilmente aceita pelos estudantes como Energia de movimento, por ser mais tangível. Esta Energia de movimento, em um instante qualquer é dada pela quantidade:

$$E_{cin} = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Onde:

E_{cin} = energia cinética
 m = massa
 v = velocidade

Quadro 1 – Definição de Energia Cinética

Agora, como os estudantes podem compreender um conceito mais abstrato como Energia Potencial? A Energia Potencial pode ser entendida como Energia de interação. A Energia Potencial Gravitacional tem sua origem na interação gravitacional entre dois corpos. A energia potencial elástica tem sua origem na interação que ocorre devido à força de uma mola. Assim, a energia potencial (E_{pot}) é a energia que está relacionada à posição em que um objeto se encontra em relação a um referencial. A energia potencial, ou mais

precisamente a mudança na energia potencial ΔE_{pot} , é uma medida da mudança configuracional (energia de posição) em um sistema de partes interagentes. Existem vários tipos de energia potencial, cada um associado a um tipo diferente de força. A energia potencial é uma forma conveniente de descrever o trabalho realizado por forças conservativas internas, ou seja, forças entre partes do sistema, em oposição ao trabalho externo realizado por forças que têm sua origem nas vizinhanças do sistema. Em relação à mecânica tratada no nível médio, os tipos mais importantes são a energia potencial gravitacional (E_{potg}) para a “Terra plana”, e a energia potencial elástica (E_{pote}) para uma mola ideal.

$$E_{\text{pot}_g} = m \cdot g \cdot h$$

Onde:

E_{pot_g} = energia potencial gravitacional
 m = massa
 g = aceleração da gravidade
 h = posição em relação a um referencial

Quadro 2 – Energia Potencial para um campo gravitacional uniforme.

$$E_{\text{pot}_e} = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

Onde:

E_{pot_e} = energia potencial elástica
 k = constante elástica
 x = posição da mola ou elástico em relação a
posição natural

Quadro 3 – Energia Potencial Elástica de um sistema massa-mola.

A Energia Potencial é uma forma de Energia (ou variável de estado) do sistema e não a Energia de um objeto em particular. Por exemplo, é incorreto afirmar “que a Energia Potencial da bola é mgh ”. Ao invés, devemos dizer, “a Energia Potencial do sistema bola+Terra é mgh ”. Em um determinado sistema, de acordo com as suas particularidades, pode ocorrer transformação de Energia Cinética em Energia Potencial (gravitacional ou elástica, entre outras). A Energia Potencial não possui um valor absoluto, mas relativo. O “nível zero” da Energia Potencial é sempre uma fonte de confusão para os estudantes. Quando este sistema está isolado, atuando apenas forças conservativas, a Energia Mecânica total do sistema se conserva:

“Em um sistema conservativo, a Energia Mecânica total se conserva, havendo apenas transformação de Energia Potencial em Energia Cinética e vice-versa. Ou:

$$E_{\text{mec}} = \Delta E_{\text{cin}} + \Delta E_{\text{pot}} = \text{constante} \quad (3)$$

Podemos agora fornecer uma definição operacional para Energia Potencial Gravitacional:

Energia Potencial Gravitacional de um sistema é medida pela altura a qual o sistema pode levar uma massa padrão numa interação gravitacional com a Terra [Karplus, 2003].

Os estudantes podem ver que a Energia Mecânica $\Delta E_{\text{cin}} + \Delta E_{\text{pot}}$ é conservada somente para sistemas que estão isolados ou em equilíbrio com o meio ambiente (onde o trabalho líquido realizado pelas forças externas é nulo, ou seja, $W_{\text{ext}} = 0$) e quando o trabalho das forças não conservativas é nulo ($W_{\text{nc}} = 0$). Portanto, a Lei de Conservação de Energia pode ser facilmente conectada com a primeira lei da termodinâmica.

Devemos sempre deixar claro para o estudante que as fórmulas são invenções humanas. Mas, por quê as pessoas inventaram estas fórmulas? Cada uma destas fórmulas resultou do esforço de físicos no intuito de sintetizar, de formar uma ampla generalização que poderia unificar uma variedade de fenômenos sob a mesma rubrica. Muitos conceitos inicialmente

distintos foram unificados para formar um cordão. O conceito de Energia propiciou amarrar estas cordas em uma única rede. A formulação matemática do Princípio da Conservação da Energia resultou das necessidades práticas durante a Revolução Industrial. Precisava-se de um modo de comparar a eficiência das máquinas a vapor, dos motores elétricos, dos animais de tração, etc. Tornou-se uma prática aceitável em engenharia comparar o resultado energético de uma máquina com o produto $W=F.d$, onde F é a força e d a distância ao longo da qual a força atua sobre o sistema. A quantidade W foi batizada como Trabalho.

É importante salientar que o Princípio da Conservação da Energia não é derivável das leis da dinâmica. É uma afirmação independente sobre ordem na natureza. A Lei geral da Conservação da Energia, incluindo transferência de calor, ou outras formas de Energia, é uma afirmação nova, que, na maioria dos casos, não tem nada a ver com o teorema do trabalho energia cinética.

4. LEMBRAR O CONCEITO ANÁLOGO

Trabalhos na área da cognição têm demonstrado que a categorização ontológica (ontologia = estudo do ser) é a chave para o entendimento do conceito físico [Chi, 1993, 2005, 2006]. As representações são partes centrais do empreendimento científico. Uma parte fundamental de uma representação da energia é a articulação de que tipo de coisa a energia é, ou seja, sua ontologia.

Modelos frequentemente fazem uso de imagens mentais simplificadas para os sistemas físicos. Essas imagens são chamadas de *modelos de trabalho* para o sistema [Karplus, 2003]. Um exemplo é o modelo de partícula para o Sol e para os planetas no sistema solar; neste modelo, o tamanho e a estrutura de cada um desses corpos ignorada e cada corpo é representado como um ponto massivo. Outro exemplo é o campo gravitacional nas vizinhanças da superfície terrestre que é considerado uniforme. Um *modelo de trabalho* é uma abstração da realidade. Jamais poderemos compreender completamente a complexidade de todos os detalhes do sistema real. Modelos

de trabalho são sempre representações simplificadas ou idealizadas. Assim, os modelos de trabalho, juntamente com as teorias das quais fazem parte, possuem limitações.

Para o ensino de Energia Mecânica e sua Conservação utilizando analogias propomos três diferentes analogias.

4.1 A substância (líquido) que flui

Argumentamos que um tratamento ontológico de Energia como substância é particularmente produtivo no desenvolvimento da compreensão das trocas de Energia e transformações. Tratar a Energia como uma substância utilizando analogias compara a Energia a um objeto físico real, como defendido por Duit (1987). Atribuir qualidades de um objeto à Energia fornece uma maneira de pensar sobre a sua conservação, armazenamento e transferência. Estabelecer uma concepção de Energia como substância proporciona aos alunos um conjunto rico e bem estabelecido de ferramentas para raciocinar sobre conservação de energia, armazenamento e transferência. Fornecer aos alunos uma concepção de energia mais concreta pode ajudá-los a superar uma suposta aversão a este conceito.

Uma determinada substância (líquido) está armazenada em um recipiente fechado, sem contato com o ambiente externo. Este recipiente contém duas câmaras de formatos diferentes, porém de mesma espessura e altura: câmara 1 e câmara 2 (Figura 1). Inicialmente o conteúdo total da substância (C_T) está armazenado na câmara 1, que se encontra isolada da câmara 2, onde é feito vácuo.

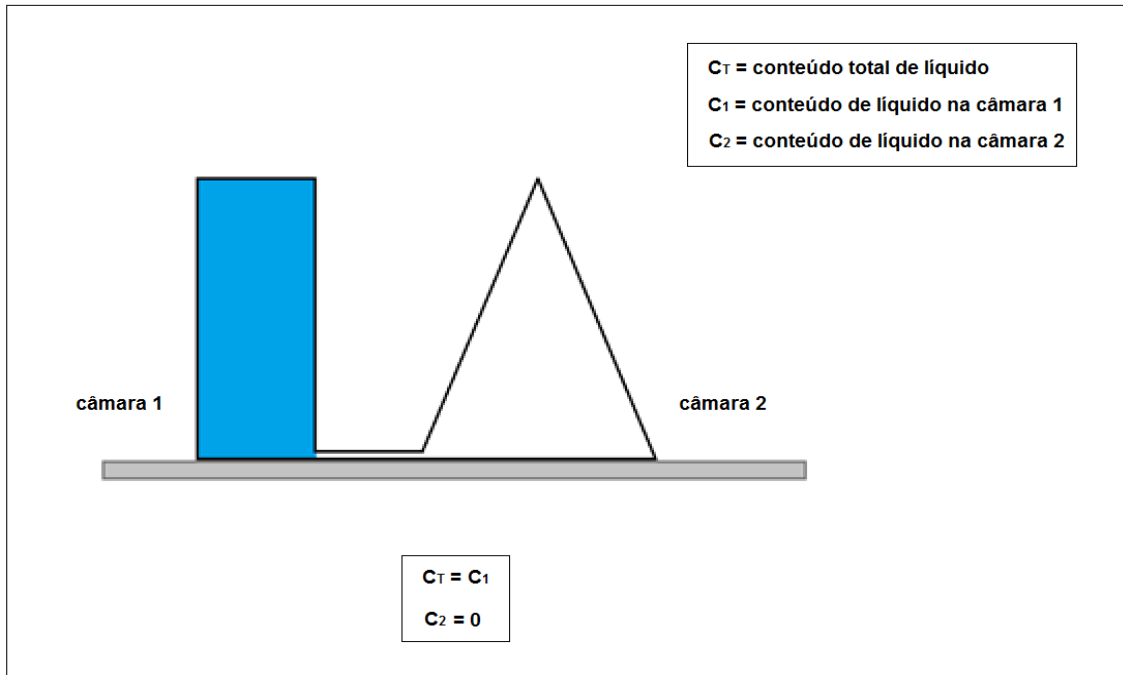


Figura 1: recipiente contendo a substância que flui

Em um determinado momento, a ligação entre as duas câmaras é aberta e a substância pode fluir da câmara 1 para a câmara 2. Observamos que o conteúdo de líquido da câmara 1 (C_1), sofre uma diminuição enquanto o conteúdo da câmara 2 (C_2) aumenta gradativamente. O processo continua até a altura da coluna de líquido ser a mesma nos dois compartimentos. Neste momento há um equilíbrio e cessa a transferência de substância entre as câmaras. Este fenômeno pode ser explicado através da pressão exercida pelo líquido no fundo do recipiente e pela ação da gravidade. Em nossa análise, a principal constatação é que ao final do processo, o conteúdo total da substância no recipiente não sofre alteração. Temos portanto:

$$C_T = C_1 + C_2 \quad (4)$$

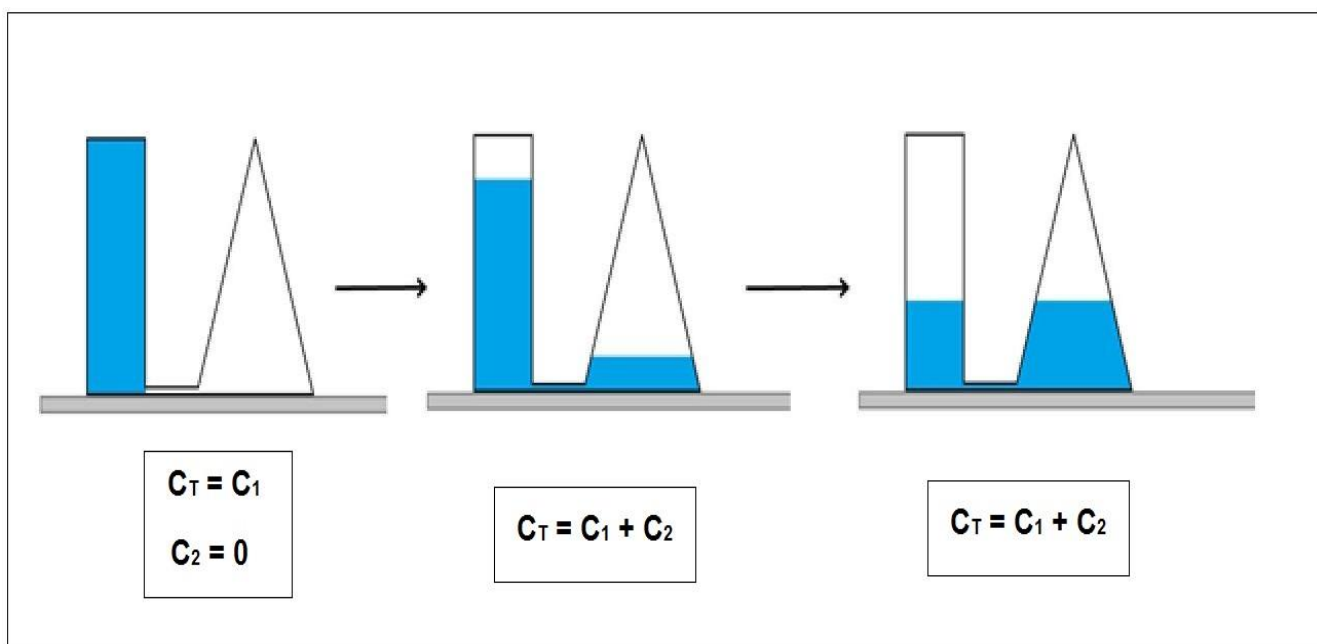


Figura 2: Processo de transferência de líquido de uma câmara para outra. Há uma mudança na forma, uma divisão entre os recipientes, mas o conteúdo total do recipiente não se altera.

4.2 O baralho

Tanto os especialistas como estudantes utilizam múltiplas e sobrepostas representações que se complementam para as quantidades físicas. Uma outra analogia que propomos é o baralho.

A analogia com o baralho possui uma semelhança com a analogia proposta na seção anterior (líquido que flui). Procuramos oferecer ao aluno uma representação física para Energia, algo que ele possa analisar, contar e manipular. O baralho é familiar aos alunos, é fácil de ser obtido e utilizado. O ponto central da analogia com o baralho, da forma como propomos, é a possibilidade de manuseá-lo de diferentes formas, porém, mantendo a sua quantidade, que é fixa. Feynman (1970) compara a Energia com blocos de brinquedo: não importa o que uma criança faz (armazená-los em sua caixa de brinquedos, dá-los a um amigo, perdê-los atrás do sofá) o número de blocos não muda.

Utilizado em jogos de cartas, o baralho modelo francês é composto de 52 cartas, divididas em quatro naipes: paus (♣), ouros (♦), copas (♥) e espadas (♠). Cada naipe possui um ás, um rei, uma rainha, um valete e nove cartas numeradas de 2 a 10.

4.3 Dinheiro em um cofre (conta bancária)

É instrutivo comparar (2) com valores em um cofre ou uma conta bancária. O balanço não se altera se não ocorrer transferências para a conta ou cofre. A definição simples, inadequada e incompleta de Energia como a “habilidade de realizar trabalho” é análoga a definição de dinheiro como a “habilidade de adquirir bens” [Knight, 2004]. Assim como a Energia, o dinheiro, ou a moeda, pode ser transformado e transferido de vários modos distintos. Como os estudantes estão familiarizados com dinheiro, esta analogia fornece uma imagem mental inicial.

Uma pessoa guarda uma determinada quantia em dinheiro dentro de um cofre, em forma de moedas. Um dia, essa pessoa retira uma certa quantidade de dinheiro em moedas, troca por cédulas no mesmo valor e guarda novamente no cofre. A pessoa repete esta operação por mais dois dias, trocando as moedas por um cheque em um dia e por barras de ouro em outro. Ao final dos três dias, há moedas, barras de ouro, cédulas e um cheque no cofre. A energia cinética é análoga ao dinheiro em espécie (“dinheiro vivo”), a energia potencial é análoga a aplicações, e o trabalho é análogo ao contracheque ($W > 0$) ou contas a pagar ($W < 0$).

Através da analogia monetária, fica mais diretamente visualizável que há vários modos de transferir Energia de, ou para, um sistema. Os estudantes podem compreender melhor a convenção de sinais. O trabalho será positivo (negativo) quando transfere energia para o (do) sistema.

5. IDENTIFICAR AS CARACTERÍSTICAS DO CONCEITO ALVO E DOS ANÁLOGOS

5.1 Substância (líquido) que flui:

- pode ser armazenada, guardada em um recipiente;
- pode ser transferida de um lugar para outro espontaneamente;
- pode mudar sua forma;
- possui massa, é material; e,
- pode ocupar totalmente uma das câmaras, pode se dividir entre os dois recipientes, mas seu volume total não se altera.

5.2 Baralho:

- pode ser guardado e manipulado;
- há diferentes tipos de cartas;
- as cartas possuem um valor numérico; podem ser contadas
- possui massa, é material; e,
- possui quantidade e forma definida.

5.3 Dinheiro em um cofre:

- pode ser guardado, armazenado;
- possui massa, é material;
- pode possuir diferentes formatos, diferentes aspectos;
- pode ser trocado de formato; e,
- possui um valor numérico, monetário total que não se altera.

5.4 Energia Mecânica:

- pode ser armazenada;
- pode ser de tipos diferentes (cinética ou potencial), com características diferentes, ou pode ser dos dois tipos ao mesmo tempo;
- pode se transformar de um tipo em outro;
- não possui forma definida;
- não possui massa (e nem peso); e,
- possui uma quantidade total que não se altera em um sistema conservativo.

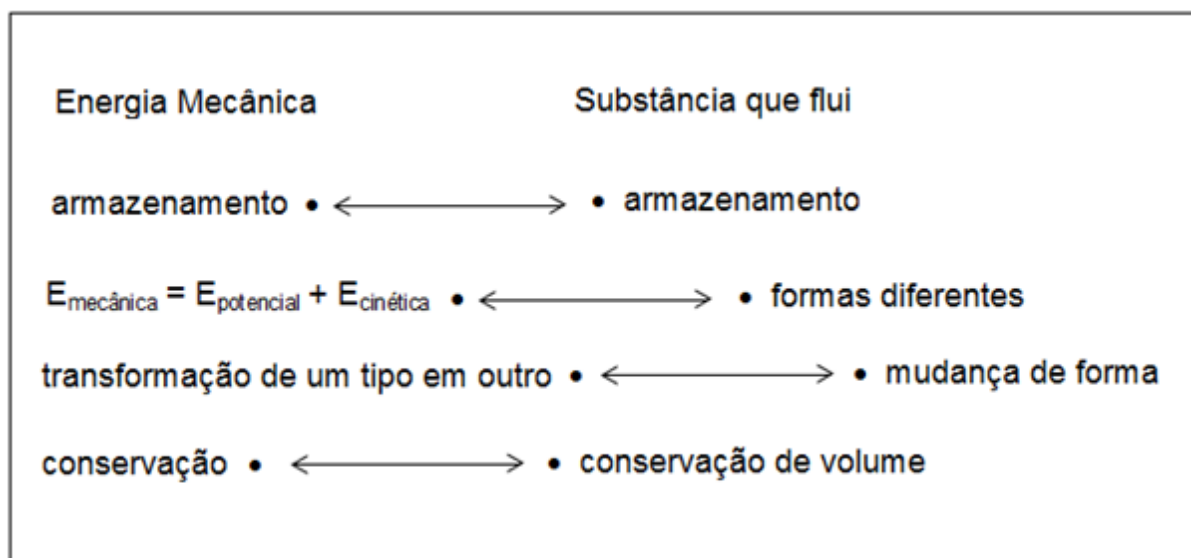
Vamos agora discutir a distinção importante entre *transferência* e *transformação* de Energia. A Energia pode ser transformada de um tipo a outros (de potencial a cinética, por exemplo) e transferida de um sistema para outro. Alguns livros didáticos afirmam incorretamente que “*A Energia é transferida de Energia Cinética para Energia Gravitacional*”.

Devemos deixar claro para os alunos que a transformação de Energia ocorre dentro de um sistema (no caso da analogia com a conta bancária, a riqueza pode ser transformada em ações, embora é comum utilizar a palavra transferência “*vou transferir o dinheiro da poupança para a minha conta corrente*”). Por exemplo, a Energia Potencial de um sistema menino + Terra é transformada em Energia Cinética conforme ele desce num escorregador. Assim, a Energia Cinética não está associada unicamente com o movimento do menino, mas como parte da Energia total do sistema que está sendo transformada.

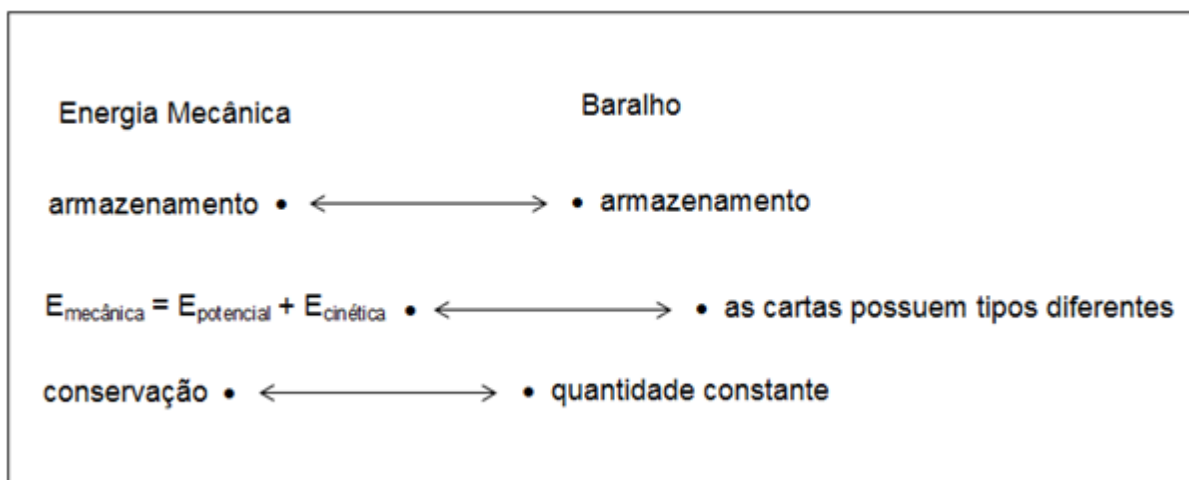
A transferência de Energia ocorre através dos limites do sistema e pode resultar numa mudança na Energia total do sistema. Os mecanismos de transferência incluem trabalho e calor.

6. IDENTIFICAR AS CARACTERÍSTICAS RELEVANTES ENTRE OS DOIS DOMÍNIOS E CONECTAR (MAPEAR) AS SIMILARIDADES ENTRE O ALVO E OS ANÁLOGOS.

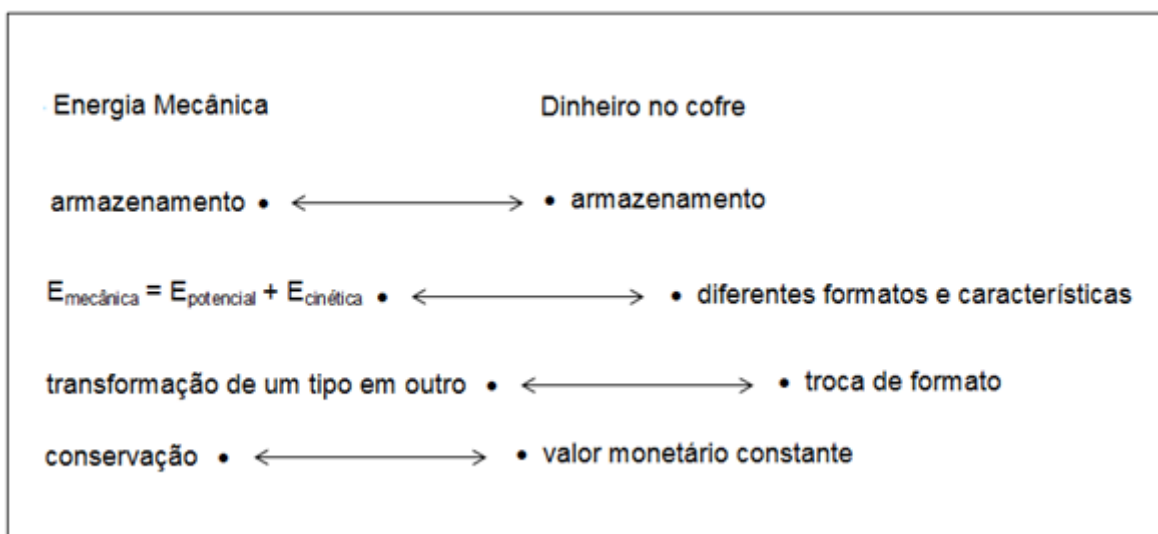
Na utilização de analogia, devemos nos concentrar na promoção da compreensão dos alunos sobre as propriedades do conceito de Energia. Neste ponto é que a analogia conceitual de Energia, como uma substância que pode ser: i) armazenada, ii) transferida, iii) conservada deve ser percebida pelo aluno. Os quadros 4, 5 e 6 apresentam algumas das conexões, entre o análogo e o conceito alvo, que esperamos que possam ser percebidas e compreendidas pelos alunos.



Quadro 4 – Conexões entre Energia Mecânica e a substância que flui



Quadro 5 – Conexões entre a Energia Mecânica e o baralho



Quadro 6 – Conexões entre a Energia Mecânica e o dinheiro em um cofre (conta)

7. INDICAR ONDE A ANALOGIA FALHA

Uma característica dos modelos é que nenhum deles descreve perfeitamente a realidade, e não podemos afirmar, a priori, que um modelo é “correto”. De fato, os conceitos de “certo” e “errado” não se aplicam a modelos. Um modelo pode ser mais ou menos adequado, dependendo de como ele representa a funcionalidade do sistema que supostamente representa. Devemos determinar se um modelo em particular é bom o suficiente para os seus propósitos, ou se há necessidade de buscarmos um modelo melhor.

Uma preocupação comum sobre a introdução de uma analogia de Energia como substância é que isso pode introduzir uma física errada, uma vez que tal substância não existe [Beynon, 1990], [Chi, 2005]. No entanto, Gupta *et al.* (2010) contra argumentam que o raciocínio científico cotidiano é cheio de exemplos de ontologias flexíveis, como as exigidas pelo uso de analogias. Somos capazes de considerar a Energia como algo material, quando se é produtivo para a compreensão de um raciocínio, e reclassificá-la ontologicamente para outros fins. A análise dos conceitos de Energia de Amin (2009), concorda com Gupta *et al.* e afirma que a metáfora é uma ferramenta produtiva para o desenvolvimento da compreensão e é amplamente utilizado, não só em concepções científicas de Energia, mas também em utilizações

leigas da Energia. Amin também realizou uma análise de metáforas conceituais de energia e sugeriu que o desenvolvimento da compreensão de um conceito abstrato pode confiar extensivamente na projeção metafórica do conhecimento experiencial. Projeção metafórica é particularmente útil no desenvolvimento no desenvolvimento de uma compreensão de Energia, uma vez que é difícil categorizar Energia ontologicamente, uma vez que não é nem material, nem processo, nem acontecimento histórico [Brewer, 2011].

Dentre as falhas dos modelos análogos apresentados, podemos destacar:

- A Energia Mecânica não é material; não tem massa e nem peso, diferente do baralho, da substância e do dinheiro. De acordo com Arons (1965): “Energia não é uma substância, fluido, tinta, ou combustível que é borrifada sobre os corpos e raspada de um para outro. Nós utilizamos este termo (Energia) para simbolizar uma construção – números, calculados de um modo prescrito, que são encontrados pela teoria e experimento para preservar uma relação notavelmente simples em vários fenômenos físicos dispersos”.
- A Energia Mecânica não possui forma definida. A substância líquida que flui também não possui forma definida, entretanto, ao ocupar um recipiente, assume a forma deste. As cartas do baralho possuem um formato próprio, característico. O dinheiro em um cofre pode mudar de tipo (cédula, moeda, ações), porém, em qualquer um destes, terá uma forma definida.
- A Energia Mecânica pode, espontaneamente, ser transformada de um tipo em outro (potencial gravitacional em cinética, por exemplo), já o dinheiro, não pode mudar de tipo espontaneamente. As cartas do baralho também não podem ter seus naipes, valores ou forma modificada.
- O dinheiro guardado dentro de um cofre, não sofre alteração em seu conteúdo material, em sua quantidade, entretanto, seu valor econômico pode não se conservar. As cédulas e as moedas podem perder seu valor se a moeda do país for modificada; cheques dependem de data; ações e barras de ouro podem ganhar ou perder valor no mercado.

- Nem o baralho nem o dinheiro em um cofre podem ser considerados sistemas completamente isolados, pois necessitam de um auxílio externo para sofrerem transformações.

8. TRAÇAR AS CONCLUSÕES SOBRE O CONCEITO ALVO

A Energia Mecânica não possui caráter material, pode ser do tipo cinética, potencial ou a soma dos dois; pode ser transformada de um tipo em outro e seu valor total, em um sistema isolado, se conserva.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste material foi ser um subsídio para uma aula sobre Energia Mecânica e Conservação de Energia utilizando uma abordagem conceitual e uma metodologia de ensino ancorado no uso de analogias (TWA). De acordo com determinadas especificidades das turmas, da disponibilidade de tempo ou de recursos, esta aula pode sofrer adaptações. Entendemos que as possibilidades de utilização do material proposto são muitas, e acreditamos que este é um dos aspectos positivos do mesmo. Portanto, fica a cargo da criatividade e das necessidades do professor buscar a melhor forma de utilização do material proposto, a forma que seja mais adequada à sua prática docente.

BIBLIOGRAFIA

[Amin, 2009] AMIN, T. G. **Conceptual metaphor meets conceptual change.** Human Development, 52, 165-197, 2009.

[Arons, 1965] ARONS, Arnold B. **Development of Concepts of Physics: From the Rationalization of Mechanics to the First Theory of Atomic Structure.** Addison-Wesley, Reading, MA, 1965.

[Arons, 1989] ARONS, Arnold B. **Developing the Energy Concepts in Introductory Physics** The Physics Teacher, 27, 506, 1989.

[Beynon, 1990] BEYNON, J. **Some Myths Surrounding Energy.** Phys. Educ., v. 25, n. 6, 314 - 316, 1990.

[Brewer, 2011] BREWER, E. **Energy as a substance-like quantity that flows: Theoretical considerations and pedagogical consequences.** Physical review special topics - Physics education research, 7, 2011.

[Chi, 1993] CHI, M. T. H.; SLOTTA, J. D. **The ontological coherence of intuitive physics,** Cogn. Instr. 10, 249, 1993.

[Chi, 2005] CHI, M. T. H. **Common sense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust.** Journal of the Learning Sciences, 14, 161-199, 2005.

[Chi, 2006] . CHI, M. T. H.; SLOTTA, J. D. **Helping students understand challenging topics in science through ontology training,** Cogn. Instr. 24, 261, 2006.

[Duit, 1987] DUIT, R. **Should energy be illustrated as something quasimaterial?** International Journal of Science Education, 9, 139–145, 1987.

[Feynman, 1970] FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS M. **The Feynman Lectures on Physics** Addison-Wesley, Reading, MA, 1970.

[Gupta, 2010] GUPTA, A. *et al.* **The case for dynamic models of learners' ontologies in physics.** Journal of the Learning Sciences, 19, 285, 2010.

[Jewett, 2008] JEWETT, J. W., Jr. **Energy and the Confused Student IV: A Global Approach to Energy.** The Physics Teacher, 46, 210, 2008.

[Karplus, 2003] KARPLUS, Robert **Introductory Physics: A Model Approach**, Second Edition, Captain's Engineering Services, Buzzards Bay, 2003.

[Knight, 2004] KNIGHT, R. D. **Five Easy Lessons: Strategies for Successful Physics Teaching.** San Francisco, Calif: Addison Wesley, 2004.

[Kuhn, 1977] KUHN, T.S. **A tensão essencial.** Lisboa: Edições 70, 1977.