

SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE AS LEIS DA TERMODINÂMICA, COM CONTEXTOS HISTÓRICOS E EPISTEMOLÓGICOS, TRABALHADA NO LABORATÓRIO DIDÁTICO DE FÍSICA

Julio Cesar Muchenski¹ - UTFPR

Hideraldo Corbolin Guedes² - UTFPR

Márcio Pheper³ - Colégio Estadual do Paraná

Grupo de Trabalho - Didática: Teorias, Metodologias e Práticas
Agência Financiadora: não contou com financiamento

Resumo

Produzimos uma sequência didática (SD) sobre saberes da termodinâmica para ser manipulada no laboratório didático (LD) de física do Colégio Estadual do Paraná (CEP), inspirado em Fourez (1994) para contribuir com a alfabetização científica e tecnológica dos estudantes. Enquanto professores de física e filosofia elaboramos a SD com contextos problematizados religando os saberes da termodinâmica com aspectos históricos e epistemológicos, que circundaram à construção dos saberes pela comunidade científica em tempos históricos, realizando transposição didática do saber sábio no tempo histórico para o saber ensinável no tempo didático, conforme Pinho (2001). A SD foi estruturada nos momentos pedagógicos de Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2011), com uma proposta teórico e experimental para a manipulação dos saberes da termodinâmica na perspectiva do LD de multimodalidade representacional de Laburú e Silva (2011) e utilizando dos modelos-réplica de Dutra (2005). Trabalhamos a SD com turmas de estudantes de segundo ano do CEP e depois foi adaptada no formato de oficina para o Encontro Nacional de Licenciaturas (ENALIC) de 2016. A SD pode contribuir para a formação dos estudantes em termos de aperfeiçoamento epistemológico dos saberes da termodinâmica, enriquecendo a postura negociadora dos estudantes permitindo um discurso alicerçado com o domínio dos saberes em contextos históricos e epistemológicos, facilitando a comunicação com especialistas em máquinas térmicas. Atentou-nos o resultado do interesse na oficina dos participantes do ENALIC, licenciandos em física e química em relação ao conceito de entropia em modelo réplica definido por Dutra (2005), dado a sua interpretação estatística no curso de física do ainda no ensino médio. Interesse exemplificado no artigo por mensagem de e-mail de um dos participantes, ressaltando a oficina e estabelecendo comunicação com grupo de pesquisa.

Palavras-chave: Sequência didática. Contextos históricos e epistemológicos. Momentos pedagógicos. Alfabetização científica e tecnológica. Laboratório de multimodalidade representacional.

¹ Doutorando do programa PPGECT pela UTFPR. Mestre em Educação, Ciência e Tecnologia pela UTFPR. Professor do Colégio Estadual do Paraná. E-mail: juliomuchenski@gmail.com.

² Mestre em Ensino de Física: Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Curitiba. Professor QPM do Colégio Estadual do Paraná (CEP). E-mail: hideguedes@gmail.com.

³ Especialista em Educação, Ciência e Tecnologia pela UTFPR. Professor do Colégio Estadual do Paraná. E-mail: pheper@gmail.com.

Introdução

O objetivo do trabalho foi produzir uma sequência didática (SD) para o laboratório didático (LD) com contextos históricos e epistemológicos sobre os saberes da termodinâmica, a SD alinhada com Fourez (1994) para sua utilização na Alfabetização Científica e Tecnológica (ACT) de estudantes do segundo ano do ensino médio do Colégio Estadual do Paraná (CEP). Para contribuir na formação dos estudantes nas questões que exijam a comunicação com técnicos ou especialistas em máquinas térmicas, permitindo aos estudantes um perfil negociador na comunicação com os especialistas nos temas que permeiam o domínio de saberes que se relacionam com máquinas térmicas, leis da termodinâmica e os saberes da física térmica. Alicerçamos estes temas com contextos que mostraram a evolução dos saberes na sua construção histórica, e também o seu aperfeiçoamento em termos da racionalidade em torno dos conceitos, evidenciando o quanto a relação da termodinâmica está associada em termos da sua complexidade com a revolução industrial e com as mudanças que implicou nas relações políticas, sociais e econômicas.

A construção da SD foi iniciada no primeiro semestre de 2016, através de uma parceria dos professores especialistas em LD de física do CEP com professor de filosofia, que iniciaram os trabalhos perguntando aos professores de física do segundo ano: quais seriam os temas da termodinâmica que deveriam ser manipulados no espaço do LD, com seu aprofundamento na história e na filosofia da ciência e para sua aprendizagem com maior significação? A partir dessa primeira consulta foi definido as leis da termodinâmica e as máquinas térmicas com o destaque para: os ciclos motores, o cálculo do trabalho em processos termodinâmicos, a impossibilidade da integralidade da produção de trabalho em ciclos termodinâmicos, a entropia e os contextos históricos e filosóficos associados com a revolução industrial.

No processo de construção da SD investimos na investigação dos saberes sábios da termodinâmica em termos de como são definidos por Chevallard e Joshua (*apud* PINHO, 2001), nos seus contextos históricos e epistemológicos de como a teoria foi construída no seu tempo histórico real, sempre com a intenção de uma proposta de transposição didática segundo Pinho (2001) do saber sábio para o saber ensinável, com uma construção de sequência que se traduzisse no tempo didático das aulas em que a atividade seria desenvolvida. Na pesquisa foi utilizado da metodologia das ilhas interdisciplinares de racionalidade ressaltada por Pinho (2001) e Pinheiro (2002).

A SD foi composta de guia instrucional formador e provocativo, com contextos problematizados exigindo alguma nuance de investigação aos estudantes no espaço do LD. Com experimentos em uma proposta de multimodalidade representacional conforme orientado por Laburú e Silva (2011), em que os estudantes manipularam os saberes da física em diversos aparelhos que se assemelharam nas condições de contorno aos modelos réplica propostos por Dutra (2005), o que possibilitou aos estudantes que enriquecessem as representações sobre os conceitos associados com as máquinas térmicas. Estruturou-se a SD conforme os momentos pedagógicos de Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2011) e foi desenvolvida com os estudantes do segundo ano do CEP, em um período de quatro a cinco aulas.

Seguimos com o chamamento das turmas para o LD em uma concepção de contribuir para a formação da *cultura de laboratório*, conforme compreendido por Muchenski e Miquelin (2016). No LD de física estruturou-se as atividades teóricas e experimentais de forma formativa e provocativa com contextos problematizados e contextualizados historicamente e filosoficamente. Com a teoria e a experimentação sem distinção hierárquica, permitindo a retroalimentação entre os saberes teóricos e entidades experimentais, através da manipulação dos aparelhos experimentais preparados nas condições de contorno para aproximar através dos modelos réplica da primeira lei da termodinâmica, da segunda lei da termodinâmica e do postulado da entropia segundo o seu entendimento estatístico.

A SD realizada com as turmas de estudantes do CEP posteriormente foi adaptada e replicada na forma de oficina no Encontro Nacional das Licenciaturas (ENALIC), em dezembro de 2016. A seguir um resumo dos saberes propostos para a SD conforme realizado na oficina:

Escolheu-se um artigo de Monteiro et al. (2009) disponível no Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF), com o título: Proposta de atividade para abordagem do conceito de entropia no ensino médio. Que trouxe uma proposta de modelo réplica entendido para este trabalho como apresentado por Dutra (2005), de uma representação estatística do conceito de entropia, em que bolinhas de gude no modelo representavam um modelo molecular e com uma sugestão para ser trabalhado no ensino médio, com uma proposta de laboratório de baixo custo. Como professores participantes e especialistas em laboratório didático de multimodalidade representacional no sentido de Laburú E Silva (2011) e do conhecimento de diferentes modalidades de laboratório didático que nos orienta Borges (2002),

realizamos uma transposição didática conforme orientado por Pinho (2001) do artigo do CBEF, porém alargado com assuntos envolvendo: o funcionamento de motores com combustão interna de quatro tempos do ciclo Otto; ciclo idealizado de Carnot; a associação da máquina térmica de James Watt e como a sua inserção contribuiu com a revolução industrial e as consequências em termos sociais e ambientais; e por fim reflexões a respeito do postulado da entropia com a seta do tempo, por exemplo em questões de evolução dos organismos vivos (MUCHENSKI; GUEDES; MIQUELIN, 2016, p. 2).

Os fundamentos históricos e epistemológicos da SD como foi trabalhada no CEP e no ENALIC serão colocados nas próximas seções. E, nos resultados colocaremos algumas das fotografias da oficina realizada no ENALIC e impressão do participante da oficina, para ressaltar o interesse de professores e acadêmicos de física e química na proposta de uma SD que trabalha o conceito de entropia, em termos de atividade experimental para aumentar a compreensão do conceito e do modelo-réplica segundo Dutra (2005) auxiliando à sua representação estatística.

Por Que Ressaltar os Contextos Históricos e Epistemológicos da Termodinâmica?

Para tornar os problemas e questões originais pesquisados por grupos da comunidade científica, mais próximos e acessíveis do mundo e dos contextos da vida dos estudantes, contribuindo assim para que os estudantes apanhem para si as questões e problematizações colocadas nos conteúdos curriculares. O enriquecimento da SD com contextos, problematizações investigadas por IIR, organizados nos momentos pedagógicos e estruturados na forma de LD de multimodalidade representacional, pode contribuir na ACT conforme Pinheiro (2002), dos estudantes do CEP na medida que traz como um dos seus objetivos gerais em termos do que define quando o estudante adquire um perfil de *negociação*, “isto significa que a ACT deve possibilitar a incorporação de saberes que forneçam ao indivíduo a capacidade de negociar suas decisões diante de situações naturais e/ou sociais” (PINHEIRO, 2002, p. 2). Nas próximas subseções apresentaremos as investigações que alicerçaram a construção da SD, proposta como instrumento de promoção da ACT, que foi trabalhada com os estudantes do CEP e, que adaptada foi replicada no formato de oficina no ENALIC (2016).

O saber calor da antiguidade ao contexto da termodinâmica na revolução industrial

O Que é Calor, Afinal? Não é fácil responder esta questão, pois deve-se considerar a construção da teoria da termodinâmica ao longo de diferentes contextos históricos e filosóficos, pois a cada época produziu-se diferentes perspectivas para se definir o conceito de calor, incluindo os aspectos experimentais que envolveram a teoria da termodinâmica. Em primeiro lugar deve-se desconsiderar os aspectos associados a uma forma de se fazer ciência por feitos individuais e por pessoas geniais, esta forma de espécie de contos e anedotas somente atrapalharam a apresentação de uma ciência plural, construída por pessoas da ciência que dedicaram a vida para entender porções da natureza, e que procuraram converter os saberes produzidos em artefatos, que poderiam ser utilizados pela humanidade com diferentes intenções. Pois, como toda produção intelectual e técnica, podem ser utilizados enquanto saber ou artefato na transformação do mundo da vida, com uma pluralidade de intenções.

Nesse entendimento os experimentos manipulados na SD foram delineados por essas diretrizes nas quais há o devido esclarecimento sobre as limitações dos modelos científicos, quebrando com a percepção de senso comum de que a ciência seria um conhecimento definitivo. A interdisciplinaridade se presta a dar os elementos históricos, filosóficos e sociológicos para que o educando compreenda acerca das limitações do conhecimento científico e do papel protagonista do ser humano frente ao saber científico. O conceito falsificacionista, Karl Popper (1972), colabora na compreensão dos jovens de que a refutação aos modelos científicos não representa um rebaixamento da ciência, pelo contrário, significa a abertura democrática as rupturas de paradigmas e a proposição de criação de novos modelos. Isso impõe uma perspectiva libertadora de que o indivíduo pode se apropriar dos modelos vigentes, não para ser escravo ou limitado por estes, mas sim para aperfeiçoar ou criar novos modelos, promovendo o que Bachelard (1997) diria ser o progresso da ciência por meio das rupturas epistemológicas.

Em termos do aperfeiçoamento epistemológico escolhemos a representação da natureza do calor, desde concepções alicerçadas por filósofos da antiguidade, em particular os pensadores da Grécia antiga que foram reinterpretados na idade média, até posteriormente aspectos conhecidos e aperfeiçoados no século XVIII. Passando pelas

divergências quanto a relação substancial do calor ou como forma de movimento, até a atual concepção do calor como uma forma de energia em trânsito. Iniciando pelo pensamento grego e retomando os seus aspectos contemplativos da cosmologia na tradição aristotélica, na concepção de mundo natural e da sua formação pelos quatro elementos terra, água, fogo e ar. E, atendo-se para as características do fogo e o ar que tendem a subir naturalmente para ocupar espaços, pois nessa tradição da cosmologia de Aristóteles não se concebia o vazio ou vácuo absoluto. Por exemplo, Heron de Alexandria (130 a. C.) procurando demonstrar a inexistência do vazio absoluto de forma natural, e que o "vácuo contínuo" somente poderia ser obtido artificialmente ou seja não natural e por interferência, Heron (Sec. II a. C).

Heron (Sec. II a. C.) demonstrou com sua máquina chamada aeolípia a associação dos elementos, preenchendo por completo qualquer espaço que poderia estar vazio, mesmo preenchidos por pequenas quantidades dos elementos. Além de mostrar a relação entre os elementos ar e fogo produzindo movimento, com a similaridade do princípio das máquinas térmicas como as conhecemos hoje. A máquina térmica de Heron evidenciou como converter os elementos para gerar movimento e sempre com a concepção natural de que os fluxos de vapor ocorrem para não deixar nunca espaços vazios. Pensamentos que permaneceram com pequenas modificações até o final do século XVII. Entretanto, não havia nenhum apontamento conceitual sobre a transformação de calor em trabalho mecânico nestes termos, tais saberes de trabalho, energia e conservação de energia desenvolveram-se depois nos séculos XVIII e XIX. Que contribuíram para fundamentar as leis da termodinâmica e o funcionamento das máquinas térmicas e a sua utilização no mundo da vida da humanidade.

Havia, por exemplo no século XVIII, quem discordasse das formas de constituição da matéria explicado segundo elementos Aristotélicos. Por exemplo, o filósofo inglês Robert Boyle (1627 - 1691), que reinterpretou as teorias dos atomistas que remetiam a antiguidade, Boyle assumiu uma posição alinhada com Francis Bacon (1561 - 1626) e René Descartes (1596 - 1650). Tanto Bacon quanto Descartes consideravam movimento quando tratavam do calor, Bacon por exemplo, concebia o calor como se tratando do movimento de pequenas partículas do corpo quando submetidas ao fogo. Portanto, o calor definido como uma substância que fluía de um copo para outro, uma espécie de matéria sutil. Deve-se destacar, que tais interpretações

do calor associado com o movimento, são bem diferentes de como concebemos o calor atualmente. Porém, os elementos colocados por Boyle, Bacon e Descartes, do calor como uma espécie de substância, seja ela primordial ou não, contribuíram para o desenvolvimento dos estudos sobre a calorimetria. Por exemplo, a que manteve uma interpretação mais corpuscular mantida nos séculos XVII e XVIII, a de Boyle, ajudou os estudos e os modelos sobre os gases.

Foi também no século XVIII, o "século da razão", que houve uma mudança em como pensar e fazer ciência, em termos de organização das observações e na divulgação das ideias e principalmente uma mudança na estrutura de pensamento da época, deixando uma postura mais contemplativa de tradição aristotélica, para uma de maior manipulação experimental já ressaltada por exemplo pelo filósofo inglês Francis Bacon, destacado em uma parábola que ele "extrai uma moral da vida dos insetos":

O homem que faz experimentos é como a formiga, que coleciona e manuseia; já o homem que especula é como a aranha, que constrói teias a partir de sua própria substância. Mas a abelha vai pelo caminho mediano: ela coleta material das flores do jardim e do campo, mas o transforma e digere por um poder que lhe é próprio. O verdadeiro trabalho da filosofia assemelha-se a esse procedimento, pois ele não depende inteiramente nem principalmente dos poderes da mente, nem tampouco toma a matéria que a história natural e os experimentos lhe ofereceram, armazenando-a simplesmente na memória como um todo; mas deposita-o no entendimento, uma vez alterada e digerida (HACKING, 2012, p. 351).

Outro aspecto é o contexto da revolução industrial, com sua demanda em termos de máquinas que potencializasse os manufaturados, criando um amplo campo para os estudos das máquinas térmicas e do consumo dos combustíveis que substituíssem a demanda do carvão. Portanto, houve uma valorização da técnica nos contextos de produção da ciência, devido a demanda da revolução industrial, promovendo uma ciência teórica e experimental alinhado ao novo jeito de pensar e fazer científicos. Inclusive formaram-se grupos do novo modo de pensar e fazer ciência, constituindo sociedades financiadas por reis ou grupos locais, entre tantas sociedades podemos citar desse período na Inglaterra a Royal Society, a Academie de Sciences em Paris, criada no reinado de Luís XIV, a Academia de Ciências de Berlim, na Prússia criada pelo rei prussiano e a Sociedade Lunar, em Birmigham, fundada por industriais e homens da ciência como Joseph Priestley e James Watt, na década de 1760.

da definição do conteúdo que subjaz interpretação do calor como um fluido. Porém, a definição de calor como um fluido que se transfere de um corpo quente para um corpo frio que

E, Joseph Black (1728-1799) acaba definindo o calor como um tipo de fluído que é transferido de um corpo quente para um corpo frio e que possui a capacidade de

penetrar a matéria. E, que na época foi denominado de calórico, mas ainda como um tipo de matéria na forma fluída e primordial. Entretanto, tratado desta forma como explicar que quando ocorrido a sua transferência não acontecia um acréscimo de massa do corpo que recebeu o calórico? Houve uma tentativa de correção para tal anomalia, considerando que tal fluído primordial devido a sua sutileza e apesar da sua classificação material, o calórico seria um fluído sem massa. Entretanto, a anomalia que derrubou a aceitação do saber calórico, foi a falta de explicação e argumentação teórica que explicasse o aquecimento por atrito. Por exemplo, quando em dias frios esfregamos nossas mãos, cuja superfície da pele está resfriada pelo ambiente e com ambas as mãos na mesma temperatura, portanto não há como transferir o suposto calórico de uma mão para outra, pois não existe diferença de temperatura entre elas. Então, por que quando esfregamos uma mão na outra ocorre o aquecimento de ambas as mãos? Tal compreensão foi permitida dos trabalhos de Benjamin Thompson, Conde de Rumford (1753 – 1814), um militar, físico e inventor, que era um dos membros da Royal Society.

Rumford assumiu o calor como energia, corroborado pelos experimentos de aquecimento realizado com os canhões, inspirados na sua experiência e interesse por armas e máquinas, que já havia destacado do aquecimento no cano de armas após disparos, que contribuíram e motivaram seus estudos teóricos e experimentais a respeito do aquecimento por fricção em disparos com canhões. Que pode ser percebido no trecho do próprio Conde de Rumford (1798): “ Cilindro foi projetado para a proposta específica de geração de calor por atrito ao ter uma broca cega forçada contra seu fundo sólido ao mesmo tempo em que ele era girado em torno de seu eixo pela força de cavalos”. (THOMPSON, 1798, p. 83). A ideia do calórico não dava conta de explicar o aquecimento por atrito, que foi explicado admitindo o calor como uma forma de energia, que ao esfregarmos para o exemplo das mãos o atrito permite a transformação da energia mecânica, na forma cinética devido ao movimento, em energia térmica que aquece as mãos. Portanto, a ideia do calórico é substituída por um modelo de transferência de energia e que se aceita até os dias atuais, portanto calor é a energia em trânsito estabelecido pela diferença de temperaturas entre um corpo quente e um corpo frio, estabelecendo o sentido natural de fluxo de energia do corpo quente para o corpo frio.

E, o domínio da técnica de converter parte desta energia térmica em trabalho, para movimentar um pistão permitiu a construção das máquinas térmicas, como a

máquina a vapor de James Watt que como é sabido foi um dos alicerces do avanço da revolução industrial.

Ainda pode ser citado o motor de combustão interna, por exemplo de quatro tempos conforme o ciclo Otto e do motor a diesel. Com a condição natural de que na máquina térmica, a energia

é transferida de uma fonte quente para uma fonte fria, obtendo trabalho e um subproduto em forma de calor, portanto com impossibilidade de transformação no ciclo da integralidade de calor em trabalho. Agora do ponto de vista energético, seria possível a fonte fria fornecer calor à fonte quente? E, se for possível acontece? Para responder estas questões na próxima seção serão trabalhados o saber entropia e o princípio da irreversibilidade, além claro da Primeira Lei da Termodinâmica.

Metodologia

Segundo Muenchen e Delizoicov (2014), deve-se estabelecer uma relação lógica e de dependência entre os conteúdos a serem trabalhados na unidade de ensino e as questões problematizadoras, de tal forma a provocar discussões e desconforto por não saber. Neste sentido, Silva (2004) reflete que a problematização deve resgatar conhecimentos prévios e, ainda, impor quais os limites que esses conhecimentos podem estimular a compreensão e a atuação social de forma crítica. Assim, elaborou-se a *problematização inicial* em dois momentos para o estudo de termodinâmica com alunos do segundo ano do Ensino Médio (EM): (a) Primeiro princípio da termodinâmica e (b) entropia. Adaptamos o trabalho de Silva (2004) para a realidade dessa intervenção pedagógica, no sentido de resumir o processo metodológico utilizado, confeccionamos a Tabela 1.

Tabela 1: Programação – Física e Filosofia – Explorando gases e a flecha do tempo (Continua...).

Temas	Orientação metodológica	
1. Modelo que explica o funcionamento de um motor a quatro tempos.	Professor	- Expor o contexto histórico, social e filosófico. - Mostrar experimento do arremesso de tampa de recipiente contendo água fervendo. - Mostrar a animação da máquina de Papin. - Apresentar o vídeo com animação mostrando os pistões de um motor de quatro tempos funcionando.
	ER	- Por que suamos?
	OC	- Descrição do ciclo Otto através de animação interativa de um pistão. - Obtenção experimental da isoterma descrita no ciclo Otto, através de uma aproximação para o ciclo de Carnot. - Obtenção experimental do trabalho realizado por um gás a pressão constante. - Estabelecimento da primeira lei da termodinâmica.
	AC	- Extrapolando para outros fenômenos que se explicam pela primeira lei da termodinâmica: geladeira e usinas termelétricas.
2. Model	Professor	- Mostrar o corante se espalhando em água contida em um recipiente. - Mostrar o vídeo que ilustra taça de vinho caindo e quebrando em vários estilhaços.
		- Promover dinâmica com alunos indicando a possibilidade maior de haver desorganização.
	ER	- Do ponto de vista da conservação de energia, existe algum impedimento da taça estilhaçada se recombinar e voltar a sua forma original? - Porque o corante se espalha? - Falta alguma lei que diga em que sentido a energia prefere fluir? Algo que indique a seta do tempo?
	OC	- Processos reversíveis e irreversíveis - Postulado da entropia. - Visão estatística da Entropia: Atividade “filmando bolinhas de gude”, associado com o seu grau de liberdade – Entendo macroestado e microestado.
	AC	- Extrapolando a discussão da Entropia para a evolução da visão humana, formação de ciclones, fractais e DNA.

Momentos pedagógicos: ER= Estudo da Realidade; OC=Organização do Conhecimento; AC= Aplicação do Conhecimento.

Fonte: os autores

Primeiro momento pedagógico relativo ao modelo que explica o funcionamento de um motor a quatro tempos

Iniciamos a apresentação do tema que explica o modelo de funcionamento de um motor a quatro tempos, indagando “porque suamos”? Damos liberdade para a exposição das opiniões dos alunos e, depois de esgotada as manifestações, passamos a mostrar máquinas térmicas construídas ao longo da história. Simultaneamente, um recipiente com água, tampado com uma rolha de tal forma que a mesma para ser solta não necessite de uma pressão muito alta, foi colocado para ferver. O sistema “explode” arremessando a rolha para cima.

Este experimento está disponível no endereço: <https://www.youtube.com/watch?v=ReN4RLUajrU>. Esta explosão chama a atenção, a ponto de termos de repetir o procedimento. Fazemos os comentários em forma de questionamentos das muitas possibilidades se pudéssemos fazer uso do trabalho realizado pelo gás sobre a tampa, para obter um trabalho mecânico. Também, colocamos em evidência o fato dessa ideia não ser nova, mas já conhecida por Heron na Grécia antiga e por Denis Papin no Século XVII.

Segundo momento pedagógico relativo ao modelo que explica o funcionamento de um motor a quatro tempos

Objetivando organizar o conhecimento começamos indicando que o fenômeno da tampa expelida observado, era uma das etapas do funcionamento de um motor a combustão interna do ciclo Otto (o de um automóvel, por exemplo). Para visualizar melhor, reproduzimos o vídeo disponível no endereço: <https://www.youtube.com/watch?v=Knpk9Hmn4kQ>. Dando início da sistematização dos saberes da Física relativo à termodinâmica, passamos a descrever detalhadamente cada etapa de um motor quatro tempos fazendo uso da animação interativa contida no endereço <http://www.stefanelli.eng.br/ciclo-otto-motor-quatro-tempos/>. Além da descrição das etapas de funcionamento do pistão, quais sejam, admissão isobárica,

compressão adiabática, combustão isocórica e exaustão isobárica. Na simulação foi mostrada o diagrama representativo do ciclo Otto. E, como proposta experimental foi proposto estudar separadamente as transformações gasosas, da idealização do ciclo da máquina térmica de Carnot. Explicamos que em nossos estudos manteremos sempre uma das grandezas que caracterizam o estado de um gás (temperatura, pressão ou volume), grandezas essas denominadas de *variáveis de estado*, constante.

A transformação isotérmica (temperatura constante)

Nesse momento colocamos à disposição dos alunos um aparato experimental contendo uma seringa feita de vidro de 20ml, a qual lubrificamos o êmbolo com detergente líquido na intenção de minimizar os efeitos do atrito, e massas aferidas de 0,5 kg e 1,0kg. O procedimento experimental consistia em: (1) montar o aparato experimental mostrado na figura 3; (2) medir o diâmetro do êmbolo a seringa, conforme mostrado na figura 1; (3) calcular a área do círculo, que é a seção transversal do êmbolo e onde a força peso das massas aferidas será distribuída, gerando a pressão sobre o gás dentro da seringa; (4) variar a massa sobre o êmbolo. Isto altera a pressão sobre o gás; (5) completar o quadro de pressão e volume associadas no experimento da figura 1;(6) construir o gráfico em papel milimétrico.

Figura 1: Aparato experimental e medindo o diâmetro do êmbolo



Fonte: os autores

Durante a execução dos passos descritos indicamos que estávamos mantendo constante a *temperatura* (transformação isotérmica), o que corresponde da segunda e da terceira etapas (expansão e compressão) do ciclo Otto. A curva obtida no gráfico recebe o nome de *isoterma* e é chamada em matemática de *hipérbole*.

Calculando o trabalho realizado por um gás

Fizemos inicialmente uma explanação mostrando que quando um gás sofre uma transformação à pressão constante (isobárica), o diagrama da pressão pelo volume é uma reta paralela ao eixo do volume. Neste caso, pode-se escrever uma expressão matemática que relaciona o trabalho (τ), a pressão (P) e a variação do volume (ΔV) sofrida pela substância

gasosa:

O aparato experimental disponibilizado nesta parte da sequência didática consistia de uma seringa de 5ml, lubrificada com detergente líquido para diminuir a ação do atrito, um

recipiente contendo uma mistura de água e gelo para garantir a temperatura próxima de 0°C , e um outro recipiente contendo água a aproximadamente 70°C . O procedimento experimental foi: (1) Ajustar o volume da seringa em determinado valor (1ml por exemplo); (2) Colocar a seringa por alguns minutos na mistura de água e gelo (até obter o equilíbrio térmico) e medir o volume inicial; (3) levar a seringa o recipiente contendo a água quente e observar o movimento do êmbolo até estabilizar e medir o volume final; (4) Determinar a variação do volume; (5) considerando que a velocidade com que o êmbolo se movimentou foi constante, garantindo uma pressão constante, determinar o trabalho realizado pelo gás sobre o êmbolo durante a expansão.

Terceiro momento pedagógico relativo ao modelo que explica o funcionamento de um motor a quatro tempos

A partir do observado nas simulações, vídeos e experimentos, mostramos que nas máquinas térmicas ocorrem mudanças na energia interna da substância que a faz funcionar e que o trabalho realizado por essas substâncias produz o movimento do pistão. Ou seja, o funcionamento das máquinas internas envolve aumento de energia interna da substância de operação (vapor d'água ou gases resultantes da queima de combustíveis) e trabalho, e ambos dependem da quantidade de energia, na forma de calor (ΔQ), que foi transferida à substância. Assim, finalmente chegamos na apresentação da primeira lei da termodinâmica, mostrando que (considerando a conservação de energia) o trabalho (τ) representa a quantidade de energia útil (aproveitada) e a variação da energia interna (ΔU), a quantidade que se “perde”

(não é aproveitada), escrevemos a expressão: $\tau = \Delta Q - \Delta U$.

Por fim, voltamos à questão inicial “por que suamos”, discutindo com os alunos que o modelo dos saberes da termodinâmica descreve o corpo humano como uma máquina térmica. Aproveitamos o momento para fazer uma alusão aos saberes de biologia sobre transformação de energia dos alimentos nas organelas estudadas no currículo da disciplina de biologia.

Primeiro momento pedagógico relativo modelo de explicação da medida da desordem do Universo: A entropia

Neste estágio da sequência didática, colocamos o problema de que nem tudo respeita a lei da conservação da energia (primeira lei da termodinâmica) pode acontecer. Para tanto, fizemos uso de um vídeo disponível no endereço <https://www.youtube.com/watch?v=oAuuhZun3c4>, onde é discutido “a flecha do tempo” e da observação de uma gota de corante se espalhando em recipiente com água. Questionamos: *porque o corante se espalha? Seria possível, devido a ação do meio sobre as partículas de corante, espontaneamente o corante voltar a se juntar em uma gota?*

Segundo momento pedagógico relativo modelo de explicação da medida da desordem do Universo: A entropia

Fizemos uma dinâmica pedindo aos alunos para se juntarem no fundo LD e limitamos o espaço deles. Pedimos que, dentro da região delimitada, se colocassem a andar. Houve dificuldade de movimento. Nesta situação, existe certa ordem, pois a maioria permanecia restritos das suas posições iniciais. Em seguida, liberamos para se movimentarem pelo LD todo. Houve liberdade. Eles se espalharam. Esta é uma situação de desordem. Comumente, a entropia é entendida como uma medida da desordem do universo. Possivelmente, esta é a maneira mais fácil de compreendê-la, principalmente por pessoas leigas. Isto porque a ordem, seja lá qual for, é sempre um estado particular e estatisticamente pouco provável. Assim, dentro do que já foi discutido, postulamos a propriedade central da entropia: “Se um processo irreversível ocorre num sistema fechado, a entropia S do sistema sempre aumenta; ela nunca diminui”. Neste sentido, fazendo uso da proposta de Monteiro et al. (2009), passamos a uma atividade a qual chamamos de *visão estatística da entropia*. Sobre as bancadas, colocamos um recipiente plástico com tampa, constituído de dois compartimentos que se comunicam por uma

fenda. Além disso, dentro do recipiente existem vinte bolinhas de gude em um dos compartimentos como mostra a figura 2.

Figura 2: Recipiente com bolinhas



Fonte: Os autores

Tornamos claro como os alunos deveriam proceder para desenvolver a atividade através da seguinte sequência: (1) colocar as vinte bolinhas em um dos compartimentos. Há ordem nesta situação, portanto a entropia é pequena; (2) apoiar o recipiente com as bolinhas sobre a superfície plana da bancada; (3) agitar o sistema e produzam um filme com o aparelho celular da posição que esteja alinhada com uma linha imaginária vertical que sai do centro do recipiente; (4) com o recipiente fechado, agitar novamente o sistema. Abrir o recipiente e ver a distribuição das bolinhas. Verificar se a distribuição mudou ou não. (5) Repetir o procedimento (4) várias vezes e completar o quadro indicado no relatório de laboratório; (6) Construir o gráfico “número de eventos x número de esferas”.

Consultando o quadro do item 5, percebe-se que à medida que aumenta o número de eventos, o número de bolinhas em ambos os compartimentos tende a se igualar, tendo em vista que, o número de microestados (o qual definimos durante a análise dos dados da atividade) de maior probabilidade de acontecer é aquele em que as bolinhas se dividem igualmente em ambos os compartimentos. Isto fica explícito ao observarmos o gráfico “número de eventos x número de esferas”, onde se verifica uma curva oscilando em torno do número de esferas igual a 10 em cada compartimento.

Terceiro momento pedagógico relativo modelo de explicação da medida da desordem do Universo: A entropia

Voltamos à discussão inicial sobre a questão da flecha do tempo e do corante se espalhando na água. Colocamos a ideia de que o tempo tem um sentido. Isto porque, a probabilidade dos eventos se reorganizarem em um estado de organização é muito pequena. A desorganização é muito mais provável. Portanto, os processos unidirecionais (a qual estamos acostumados) é explicado pela grandeza entropia. Levamos essa discussão a outros fenômenos, como por exemplo, por que envelhecemos, as possibilidades de vida extraterrestres, a questão da formação de ciclones, etc. Esta sequência didática foi apresentada no ENALIC, para estudantes de graduação dos cursos de Física e Química. Ela chamou a atenção dos graduandos por ser a termodinâmica, mais especificamente a entropia, de difícil transposição didática para o ensino médio. A figura 3 mostra a participação dos estudantes de Física e Química durante a oficina do ENALIC. A seguir a impressão de um dos participantes, colocada por via de e-mail e fotografias da oficina:

- Impressão via e-mail: Desculpe pelo incômodo, mas sou aluno do curso de física da Unesp de Guaratinguetá e assisti sua oficina sobre termodinâmica no ENALIC, espetacular, diga-se de passagem, e depois o senhor comentou a respeito de seus trabalhos sobre o desenvolvimento de projetos científicos com alunos de ensino médio. Estamos tentando iniciar na Unesp uma proposta de curso para que os alunos de ensino médio possam desenvolver projetos científicos nas estruturas da universidade, como um subprojeto de EXPRECI (www.expreci.com.br), porém estamos tendo dificuldades em encontrar boas referências, bases teóricas, e relatos de experiência para isso, o senhor teria algo para nos indicar?

Figura 3: Oficina apresentando a sequência didática no ENALIC



Fonte: Os autores

O desdobramento conseguido diante da aplicação de tal sequência didática no CEP ou no ENALIC amarrado interdisciplinarmente, atrelando conceito e prática, propicia uma perspectiva de contribuir para a emancipação ideológica do educando frente à ciência e ao conhecimento humano. A contextualização histórica, filosófica e sociológica promovida no processo, oferta aos alunos perceberem-se enquanto sujeitos da ciência e não meramente submissos a esta. Este olhar sobre a ciência torna dá

consciência individual sobre a historicidade do Saber, como conceituado por Foucault (2012), para o qual tudo o que é humano, inclusive o saber científico está imerso na história e seus valores de época, motivo pelo qual devemos nos aprofundar na análise crítica e na autocrítica para não nos limitarmos ou sermos sujeitados.

Considerações finais

Para além do maniqueísmo expresso na ciência moderna que separa ação e pensamento, nossos jovens tiveram por evidência a importância do domínio metodológico e da necessidade do rigor metódico na manipulação das ferramentas experimentais, respeitando o proposto por René Descartes em seu livro Discurso do Método (2001) adotado pela ciência moderna, porém o processo cartesiano de imposição da especialização é superado, tendo em vista que tal como executado de forma transversal e interdisciplinar, nosso trabalho extrapolou o experimento (ação) e, dando a dimensão contextual da ciência e das suas ramificações no diversos campos do saber, demos consciência aos alunos quanto a complexidade a priori que envolve o saber científico (pensamento). Conforme exposto na obra de Edgar Morin (2005) que alerta para o fato de que a fragmentação dos campos do saber, a mutilação do pensamento em áreas de especialização leva a decisões erradas e ilusórias, tendo em vista a complexidade na qual estamos imersos.

Na educação do futuro proposta por Edgar Morin (2001), a qual nessa ação experimental tentamos fazê-la no presente por meio de nossa prática pedagógica, alerta o pensador que é preciso compreender e agir dentro da complexidade na qual estamos todos imbrincados, apontando a necessidade da conservação de unidade do múltiplo e da multiplicidade unitária, significa que assim como na dimensão ética já destacada por Morin (2001) no campo da pesquisa científica e na busca pelo conhecimento não podemos abolir as abordagens específicas das disciplinas em particular, contudo, devemos propiciar momentos em que a unidade multidisciplinar seja objetivada para demonstrar que a realidade não se apresenta fragmentada e que sem a dimensão unitária a educação formal pode alienar e iludir.

Essa herança cartesiana observada hoje na escola é fruto ainda de uma fragmentação universitária que repete esse modelo não atentando para a observação da

complexidade. Já advertiam os gregos que se constitui numa falácia a ideia de pensar que propriedades observadas nas partes se repetiriam no todo e que a propriedade observada no todo se observaria nas partes, esses dois sofismas, de composição e divisão, por si só, não garantem o conhecimento lógico e, portanto, são falaciosos. A teoria da complexidade nos propõe um modelo no qual tais movimentos se fundem na difícil busca humana pela verdadeira ciência.

REFERÊNCIAS

BORGES, A. Tarciso. (2002). "Novos rumos para o laboratório escolar de ciências." Caderno Brasileiro de Ensino de Física 19(3): 291-313.

COHEN, Morris. R.; DRABKIN, I. E. A source book in Greek science. Cambridge: Harvard University Press, 1958.

DESCARTES, René. Discurso do método. Maria Ermantina Galvão. Revisão da tradução. MONICA STAHEL. Martins Fontes. São Paulo 2001.

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José A.; PERNAMBUCO, Marta M.. Ensino de Ciências: fundamentos e métodos. 4 ed. São Paulo: Cortez, 2011.

DUTRA, Luiz H. A. (2005). "Os modelos e a pragmática da investigação." Scientiae Studia 3(2): 205-232.

FOUCAULT, Michel. Ciência e Saber IN: A Arqueologia do Saber. 8ª edição, Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2012.

FOUREZ, Gérard. (1994). Alfabétisation scientifique et technique. Essai sur les finalités de l'enseignement des sciences. Belgique: De Boeck Université.

HACKING, Ian. Representar e Intervir. Tradução Pedro Rocha de Oliveira. Rio de Janeiro: EDUERJ, 2012.

LABURÚ, Carlos Eduardo; SILVA, Osmar H. M. (2011). "O laboratório didático a partir da perspectiva da multimodalidade representacional the didactic laboratory perspective from multi-modal representation." Ciência & Educação 17(3): 721-734.

MAGIE, William F. A source book in physics. New York: McGraw-Hill, 1935.

MONTEIRO, Marco. A. A.; MONTEIRO, Isabel. C. C.; GASPAR, Alberto e GERMANO, José S. E. Proposta de atividade para abordagem do conceito de entropia no ensino médio. Caderno Brasileiro de Física, v. 26, nº 2, 2009. P. 367 – 378.

MORIN, Edgar. Os sete saberes necessários à educação do futuro. São Paulo: Cortez; Unesco, 2001b.

_____. Ciência com consciência. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005a.

MIQUELIN, Awdry F.; MUCHENSKI, Julio C. Autonomia em pesquisa para estudantes da escola básica: com uma proposta de ensinar por projetos de pesquisa alicerçados por ilhas

interdisciplinares de racionalidade. In: Anais VI Encontro Nacional das Licenciaturas (ENALIC), ocorrido na Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR, em Curitiba-PR, 2016. ISSN: 2526-3234.

MUCHENSKI, Julio C.; MIQUELIN, Awdry F. Investigação no laboratório didático de física: como proposta de metodologia de ensino. In: XI Jornadas Latino – Americanas de Estudos Sociais da Ciência e da Tecnologia – XI ESOCITE. Curitiba. Anais. Curitiba: ESOCITE, 2016.

MUCHENSKI, Julio C., GUEDES, Hideraldo C., MIQUELIN, Awdry F. Leis da termodinâmica apresentadas com contexto histórico: problematizadas em uma proposta de laboratório didático de multimodalidade representacional. In: Anais VI Encontro Nacional das Licenciaturas (ENALIC), ocorrido na Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR, em Curitiba-PR, 2016. ISSN: 2526-3234.

MUENCHEN, Cristiane; DELIZOICOV, Demétrio. Os três momentos pedagógicos e o contexto de produção do livro “Física”. Ciência & Educação. Bauru, v.20, n.3, p.627-638, 2014

PINHEIRO, Terezinha F. Um exemplo de construção de uma ilha de racionalidade em torno da noção de energia. Grupo de pesquisa em ensino de física – CFM, da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Universitário – Trindade – 88.040-900 – Florianópolis – Sc, 2002.

PINHO, José A. F. (2000). "Regras da transposição didática aplicadas ao laboratório didático." Caderno Brasileiro de Ensino de Física 17(2): 174-188.

_____. (2001). Instrumentação para o ensino de física, Florianópolis: Laboratório de ensino à distância, p. 20 – 35, CED/UFSC, 2001.

POPPER, Karl R. Conjecturas e Refutações. Universidade de Brasília. 1972.

SILVA, Antônio F. G. da. A construção do currículo na perspectiva popular crítica: Das falas significativas às práticas contextualizadas. 2004. 405f. Tese (Doutorado em Educação) – Programa de Pós-graduação em Educação: Currículo – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2004.

THOMPSON, Benjamin. An inquiry concerning the source of the heat which is excited by friction. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Londres, v. 88, p. 80-102, 1798.