



EXPLORANDO CONCEITOS DA TERMODINÂMICA ATRAVÉS DE UMA PROPOSTA INVESTIGATIVA

José Alves Mendes Júnior ¹, Everaldo Sebastião da Silva ¹,
Augusto César Lima Moreira ¹

1. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

05

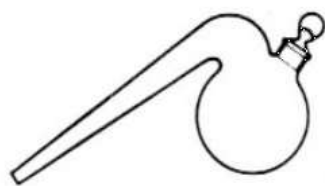
RESUMO

O trabalho a seguir contempla uma pesquisa desenvolvida com um grupo de alunos dos cursos de Licenciatura em Física, Química e Matemática da Universidade Federal de Pernambuco (Campus Caruaru), submetidos a atividades de demonstrações investigativas contendo uma sequência experimental - envolvendo temas de Termodinâmica, em especial os conceitos de calor, pressão e temperatura - realizada com a perspectiva de gerar situações problematizadoras que proporcionassem um levantamento de concepções espontâneas e gerassem conflitos cognitivos referentes a esses conceitos, mediante a exposição de estudantes diante de um mesmo fenômeno abordado de duas formas diferentes. Como resultado da sequência proposta, observamos que mesmo tendo passado por algum processo instrucional sobre a temática ao longo de sua formação algumas concepções espontâneas persistem na estrutura cognitiva de modo que ao se deparar com um mesmo fenômeno apresentado com outro arranjo experimental, ele ajusta os conceitos presentes em sua estrutura cognitiva de forma a adaptar uma explicação para cada situação. Tal passagem evidencia a existência de vários modelos mentais em paralelo para abranger um mesmo fenômeno em suas diferentes formas.

PALAVRAS-CHAVE: Termodinâmica, Propostas Investigativas, Conflito Cognitivo.

José Alves Mendes Júnior é graduando do curso de Física Licenciatura pela Universidade Federal de Pernambuco
Everaldo Sebastião da Silva é Licenciado em Física pela Universidade Federal de Pernambuco (2017) e atualmente é aluno do Programa de Pós-graduação em Educação em Ciências e Matemática oferecido pela Universidade Federal de Pernambuco.
Augusto César Lima Moreira é Doutor em Física pelo DF/UFPE, foi coordenador do MNPEF/polo 46 e do PIBID/subprojeto Física/CAA. É membro permanente do MNPEF/polo 46 e do PPGEEM ambos na UFPE/CAA





REDEQUIM

Revista Debates em Ensino de Química

EXPLORING THERMODYNAMIC'S CONCEPTS THROUGH AN INVESTIGATIVE PROPOSAL

ABSTRACT

The following work contemplates a research developed with a group of undergraduate students in Physics, Chemistry and Mathematics Teachers of the Federal University of Pernambuco (Caruaru Campus), submitted to investigative demonstration activities, where an experimental sequence - involving thermodynamics, in particular the concepts of heat, pressure and temperature - was carried out to generate problematizing situations that would provide a survey of spontaneous conceptions and generate cognitive conflicts related to these concepts by exposing students to the same phenomenon addressed in two ways many different. As a result of the proposed sequence, we observe that even though we have undergone some instructional process on the theme throughout its formation, some misconceptions persist in their cognitive structure, in such a way that when faced with the same phenomenon showed with another experimental arrangement, the students adjust the concepts (present in their cognitive structure) in order to adapt an explanation for each situation. This passage evidences the existence of several mental models in parallel to cover the same phenomenon in its showed in different forms.

KEYWORDS: Thermodynamics, Investigative Proposal, Cognitive Conflict.



1 INTRODUÇÃO

A disciplina de Física é um componente curricular presente tanto nos anos finais do ensino fundamental quanto em todas as séries do ensino médio, se fazendo presente em uma parcela significativa da educação brasileira. No entanto, com o passar dos anos, ao invés de se tornar cada vez mais familiar ao estudante a disciplina ganha estigmas cada vez mais negativos, tais como ser a mais difícil ou de não se fazer sentido algum com o que o aluno já traz consigo de conhecimento ou com seu dia a dia (CARVALHO, PÉREZ, 1993; POZO, 2009).

A Física ensinada nos anos finais do ensino fundamental é preponderantemente conceitual em linguagem não-matemática. Contudo, tal perspectiva, muda gradativamente ao longo das etapas seguintes de sua formação. No ensino médio, por exemplo, o estudante passa a se aprofundar cada vez mais, seja nos conteúdos e nas intervenções relacionadas à temática, seja no aprofundamento quanto ao uso da linguagem matemática para externalizar conceitos. Porém, tal como nos escritos de POZO (2009) ao longo das séries do ensino médio, os estudantes se deparam cada vez mais com uma superexposição dos conteúdos físicos com ênfase nas fórmulas matemáticas, resultando em um cenário de aprendizagem propedêutica voltada para a memorização dessas fórmulas com a finalidade de aplicá-las a exercícios e problemas fechados de forma acrítica. Desta forma, a disciplina de Física, mesmo com todas as facilidades que possui em se valer de situações e elementos que remetem ao dia a dia dos alunos, muitas vezes, ela é vista como uma “segunda disciplina” de matemática.

A fim de “desfazer esse mal entendido” – apercepção da física enquanto mera matemática aplicada desprovida de significados – os parâmetros curriculares nacionais do ensino médio – doravante, PCN e PCN+ (BRASIL, 2000, 2002), recomendam fortemente repensar a forma como a Física está sendo ensinada, desde a Educação Básica, e como esta deve se relacionar com o estudante:

“É preciso discutir qual Física ensinar para possibilitar uma melhor compreensão do mundo e uma formação para a cidadania mais adequada (...) isso significa repensar e promover um conhecimento contextualizado e integrado à vida de cada jovem (...) e para isso, é imprescindível considerar o mundo vivencial dos alunos, sua realidade

próxima ou distante, os objetos e fenômenos com que efetivamente lidam ou os problemas e indagações que movem sua curiosidade. (...) Uma Física cujo significado o aluno possa perceber no momento em que aprende, e não em um momento posterior ao aprendizado”.

O ato de contextualizar - seja por meio de uma realidade “próxima” envolvendo fenômenos do dia a dia, seja por meio de uma realidade “distante” (atividades experimentais projetadas para determinados fins) -por si só, não deve ser visto como panaceia no ensino de física. Muito pelo contrário, quando não inseridas dentro de um contexto educacional previamente planejado, atividades experimentais podem surtir o efeito contrário ao desejado. Dito de outra forma, ao adotar o dogmatismo (HESSEN, 2000) enquanto postura epistemológica frente à possibilidade do conhecimento, ou seja, ao assumir como auto-evidente a apreensão do objeto (atividade experimental) pelo sujeito (estudante) a partir do mero “contato” entre ambos, sem qualquer tipo de mediação (por parte do professor) entre as partes, pode-se gerar uma aprendizagem repleta de ‘equivocos conceituais’ quando não, reforçando concepções espontâneas (GASPAR E MONTEIRO, 2005).

Em termos práticos, o dogmatismo enquanto possibilidade do conhecimento manifesta-se na prática docente quando o professor traz situações experimentais com explicações já prontas, com o intuito de validar a teoria já vista. Os estudantes neste tipo de prática docente, não são levados a desenvolver um senso investigativo no seu processo de ensino e aprendizagem, restando a ele observar passivamente e aceitar acriticamente aquilo que o mestre explica. Como consequência, as concepções de mundo, usualmente não-científicas (concepções alternativas), que o estudante possui e que poderiam vir a contribuir para uma aprendizagem mais significativa para os alunos é completamente desprezado pelo professor (MOREIRA, 2011).

Nesse contexto, o trabalho a seguir contempla uma atividade de demonstração investigativa sequencial a fim de tratar alguns conceitos de termodinâmica. Como veremos, a sequência das atividades experimentais foram realizadas com uma perspectiva de criar situações problematizadoras que viessem a fazer um levantamento de concepções espontâneas e gerar conflitos cognitivos referentes a temas como calor, pressão e temperatura. O trabalho está estruturado da seguinte forma: enquanto na seção 2.1 faremos

uma breve revisão sobre atividades experimentais dentro de uma proposta investigativa, na seção 2.2 mostraremos como ela se insere no âmbito da teoria da aprendizagem significativa. A seção 3.1 será dedicada à metodologia descrevendo o perfil dos estudantes envolvidos passando pelos detalhes da construção do aparato experimental e finalizando a sequência de atividades (experimentos e questões) utilizadas no processo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Atividades experimentais e Propostas investigativas

Dentre as várias propostas quanto ao uso de atividades experimentais no ensino de ciências, alguns trabalhos vêm chamando a atenção para aquelas envolvendo ensino por investigação ou sequências de ensino investigativas - SEI's (CARVALHO, 2014; POZO, 2009). Uma SEI consiste em propor situações nas quais os estudantes possam experimentar algumas etapas do fazer científico ao mesmo tempo em que assumem posturas mais ativas no seu processo de aprendizagem dentro e fora dos ambientes escolares.

Uma importante característica das SEI's consiste na função do professor enquanto mediador do processo. Dito de outra forma, sem que haja demasiada intervenção por parte do professor, este apresenta uma sequência de eventos para os estudantes (investigadores) que por sua vez são levados a criar hipóteses, explicações, deduções, induções, argumentos em defesa de seu ponto de vista e muitas outras etapas que os colocam na ideia do desenvolver conhecimento em acordo com os processos do desenvolver científico (CARVALHO, 1998, 1999, 2014).

Carvalho (2014) salienta ainda que no processo de construção do conhecimento sob um viés investigativo se vale de uma série de fatores que devem ser levados em consideração antes, durante e após o processo de ensino e aprendizagem em si. Dentre eles ela cita:

- a) O estímulo à participação ativa do estudante – Os alunos deixam de ser receptores passivos do conhecimento, de esperar todas as diretrizes e informações por parte do professor e se transformam em verdadeiros protagonistas do seu processo de aprendizagem.
- b) A importância da relação aluno-aluno – Os estudantes passam a trabalhar mais em conjunto, compartilhando pensamentos, ideias,

experiências uns com os outros, ao mesmo tempo em que tomam para si as construções que fazem em grupo.

c) O papel do professor como elaborador de questões – O docente deixa de ser o centro do processo de ensino e aprendizagem e passa a mediar o processo, guiando os alunos quando necessário for, visto que alguns conhecimentos e etapas do processo necessitam da intervenção do professor. Este último, também é responsável em estabelecer um sentido e um planejamento para desenvolver a aula na medida em que propõe situações de aprendizagem capazes de explorar e desenvolver os conhecimentos dos aprendizes.

d) A criação de um ambiente encorajador – Pesquisas em psicologia da educação e autorregulação da aprendizagem (AZZI, BANDURA, POLYDORO, 2008) já apontam para a necessidade deste tópico em diversos planejamentos e discussões sobre o ensino. É necessário que o ambiente de aprendizagem (sala de aula, laboratório, grupos de estudo, estudo orientado, entre outros) favoreça, ao aluno, um querer aprender. É mais uma questão de se desenvolver um ambiente motivador para o estudante e para a sua aprendizagem.

e) O ensino a partir do conhecimento que o aluno traz para a sala de aula – Sem dúvida não é mais possível desprezar aquilo que o aluno traz em sua estrutura cognitiva (conhecimento prévio), uma vez que, é a partir desse conhecimento que ele retira elementos para ancorar novos conceitos com os quais ela vai vir a se deparar (MOREIRA, 2011). Negar essa bagagem de conhecimentos é desprezar uma possibilidade de explorar e desenvolver a aprendizagem do aluno.

f) O conteúdo (o problema ou situação) deve fazer sentido para o aluno – É importante que as propostas de ensino que queiram se direcionar com uma ideia de ensino investigativo parta de situações, ou problemas, que tragam elementos próximos à realidade dos estudantes, justamente na esperança de se valer da familiaridade que ele tem com tais elementos de forma a se criar um espaço encorajador.

g) A relação entre ciência, tecnologia e sociedade – Além dos novos papéis do aluno e do professor em sala de aula, é importante não esquecer as relações existentes entre o conhecimento que se tem com o que é produzido

nos espaços escolares. Na medida em que a sociedade que faz uso desse conhecimento científico para a produção de tecnologia e para ferramentas de uso em situações cotidianas, as ciências não podem ser vistas como algo isolado do restante do mundo (QUEIROZ, 2000).

h) A passagem da linguagem cotidiana para a linguagem científica – Este se configura como um dos desafios das SEI's e do ensino de ciências no geral, visto que existe um grande déficit, por parte dos estudantes, na transposição entre os conhecimentos e linguagens cotidianas para a esfera da linguagem científica. Os alunos muitas vezes sabem as respostas, as explicações e os argumentos necessários para a defesa de seu ponto de vista, mas não sabem como criar um discurso formal, coerente e coeso valendo-se da linguagem técnica apropriada (CARVALHO, PÉREZ, 1993).

Diante de tais fatores, vemos que as propostas investigativas, sobretudo as SEI's (demonstrações investigativas, laboratórios abertos, questões abertas, etc...) resgatam uma série de discussões que há tempos já se desenrolam no cenário da educação e no ensino de ciências, como por exemplo: posturas mais ativas por parte dos alunos, professores como mediadores e muitas outras questões que não se pode fazer esquecer, pois se tais questões tivessem sido resolvidas, tais propostas hoje seriam desnecessárias (MOREIRA, 2011). Esse conjunto de questões sugere uma forte correlação da aprendizagem com viés significativo, fato esse que tentaremos expor a seguir.

Propostas investigativas e aprendizagem significativa

Dentro das características listadas anteriormente e que devem ser levadas em conta para uma possível abordagem investigativa, seja em sala de aula ou em qualquer outro ambiente de aprendizagem, uma delas, sem dúvida, é consenso em diversos trabalhos (POZO, 2009) na área de ensino, a saber: levar em conta aquilo que o estudante já sabe referente a um determinado conteúdo, ou seja, considerar seus conhecimentos prévios adquiridos em situações cotidianas e experiências de vida em relação a esse conteúdo. Na teoria da aprendizagem significativa, parte-se da premissa de que tais conhecimentos prévios não estão dispostos de forma aleatória na mente do indivíduo. Eles formam uma estrutura organizada hierarquicamente de conceitos os quais, grosso modo, podem ser vistos como representações

internas de aspectos do mundo externo. Essa estrutura organizada de conceitos é denominada de estrutura cognitiva (MOREIRA, 2011).

Tal característica é de tal importância que constitui a ideia chave da chamada Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) proposta por David P. Ausubel em meados da década de 60 e que pode ser encontrada bastante detalhada em diversos trabalhos (AUSUBEL, 1963, 1968, 2000; MOREIRA, 2011). Grosso modo, a TAS consiste em um contraponto à chamada aprendizagem mecânica, processo esse que ainda hoje prevalece enquanto prática docente no processo de ensino e aprendizagem em sala de aula. Um processo em que a aprendizagem mecânica está presente é caracterizado, dentre outros fatores, por:

- a) Uma aprendizagem baseada na resolução mecânica de exercícios;
- b) Memorização de fórmulas matemáticas e estruturas de pensamento;
- c) A figura do professor como única fonte de conhecimento e assim o protagonista do processo de ensino;
- d) Os alunos como meros receptores, acríticos, do conhecimento proposto pelo mestre.

Contrariamente à aprendizagem mecânica, Ausubel propôs uma teoria de aprendizagem, cujo escopo, grosso modo, está na forte correlação entre o ato de aprender algo novo e atribuir significado a este novo conhecimento. Dito de outra forma, na medida em que o novo conhecimento ‘faça sentido’ ao se correlacionar com o conhecimento que ele já trás consigo, adquirido ao logo das vivências cotidianas, a aprendizagem recebe o status de aprendizagem significativa (MOREIRA, 2011).

No entanto, um ponto muito importante que deve ser levado em consideração, mesmo no viés da aprendizagem significativa, é que esta não implica, necessariamente, em uma aprendizagem correta, ou seja, o fato deste modelo de aprendizagem se valer de conhecimentos que têm sentido para o aluno não garante que tais conhecimentos sejam cientificamente corretos – aceitos pela comunidade científica. Nesse sentido, as propostas investigativas (ou mesmo as SEI's) podem fazer parte de uma estratégia maior visando uma aprendizagem significativa (cientificamente correta) uma vez que, quando os conhecimentos prévios dos estudantes são confrontados

com situações investigativas (um experimento, por exemplo), tem-se a possibilidade de analisar esses conhecimentos com o intuito de relacioná-lo ao arcabouço teórico a ser estudado. Este processo de “confronto” entre conhecimentos prévios e uma situação investigativa pode gerar a percepção, por parte do estudante, de que suas idéias sobre determinados fenômenos estão equivocadas na medida em que suas hipóteses e previsões serão contrariadas pelos resultados experimentais. Este fenômeno – contradição entre previsões e fatos – é chamado de conflito cognitivo (CARVALHO, 2014). O conflito cognitivo (mas não apenas ele) pode ser um ponto de partida quanto ao processo de convencimento do aprendiz quanto à necessidade de reformulação do seu modelo explicativo podendo levar o mesmo a uma aprendizagem significativa. Como veremos adiante, a atividade experimental proposta neste trabalho tem um grande potencial para gerar conflitos cognitivos e, com isso, detectar conhecimentos prévios alternativos dos estudantes.

3 METODOLOGIA

A escolha por conceitos de Termodinâmica e os participantes da pesquisa

Calor, temperatura, pressão e muitos outros conceitos em termodinâmica, trazem consigo uma “bagagem histórica” visto que outrora, foram temas polêmicos que geraram grandes discussões na comunidade científica da época. Em períodos pré-paradigmáticos (KUHN, 1998), quando diferentes comunidades científicas divergiam entre si acerca do que poderiam ser tais grandezas, não era raro prevalecerem ideias que hoje consideramos equivocadas (calor e frio, por exemplo, são vistos muitas vezes como substâncias opostas que fluem de um lugar para outro ou mesmo de um corpo para outro (PIRES, 2011; ROCHA, 2015)). Ainda sim, mesmo com todo o estoque científico-cultural acumulado ao longo do tempo, tais visões alternativas sobre esses conceitos de termodinâmica não só ainda estão presentes, como se perpetuam no imaginário das pessoas, sobretudo, estudantes e professores em todos os níveis de ensino: fundamental, médio e até superior (PIRES, 2011; ROCHA, 2015).

O trabalho de se discutir concepções espontâneas ainda é necessário, dada as diversas possibilidades dessas concepções espontâneas se perpetuarem dentro e fora dos espaços escolares seja por conversas entre estudantes, pelo próprio meio familiar, discursos de professores ou mesmo em mídias eletrônicas que hoje são meios por onde a informação trafega em uma velocidade espantosa alcançando um público imenso. Nesse sentido, a escolha do público de pesquisa para este trabalho não foi ao acaso. Os licenciandos (futuros professores) são um público com uma característica ímpar uma vez que os mesmos são estudantes que, em um curto período de tempo, tornar-se-ão docentes. Logo, caso carreguem consigo concepções espontâneas desses conceitos, estes poderão perpetuá-las futuramente em seus cursos.

Do ponto de vista quantitativo, o público participante desta pesquisa, em si, é composto por um total de 20 alunos oriundos dos cursos de Licenciatura em Física (7), Química (7) e Matemática (6) da Universidade Federal de Pernambuco do Campus Acadêmico do Agreste logrado em Caruaru. Apesar de a amostra conter estudantes de diversos períodos dos referidos cursos, foi garantido que os participantes já tivessem se deparado com um conteúdo mínimo de Termodinâmica, por meio das disciplinas de Química Geral I (2º período de Química/Licenciatura) e/ou Física II (3º período de física e de matemática /Licenciatura). Assim, temas como gases ideais, pressão, temperatura, volume, dentre outros conceitos, já foram “vistos” pelos estudantes. A pesquisa em si, desenvolveu-se no semestre correspondente a 2017.2 levando-se em média três meses para a sua realização, com cada estudante participando de forma individualizada. A seguir detalharemos a sequência experimental utilizada.

A atividade experimental sequencial

A sequência experimental proposta neste trabalho é composta de duas versões distintas de um experimento experimentais que em seu cerne aborda o mesmo fenômeno e, conseqüentemente, os mesmos conceitos. A primeira versão corresponde ao famoso “experimento da vela” (FILHO, TSUKADA e CEDRAN, 2010) conforme mostrado na Fig.1. Nele, primeiramente uma vela acesa é posta sobre um recipiente contendo água (Fig. 1a). Em seguida, um copo (ou outro recipiente de vidro fechado qualquer) é colocado em cima da

vela acesa (Fig. 1b) e, após um intervalo de tempo, a chama da vela apaga. Ao apagar, eleva-se uma coluna de água interior ao copo tal como expresso na figura 1c. Isso acontece porque ao encapsular a vela acesa com o recipiente de vidro confinamos também certo volume de gás (ar) que passa a receber calor da chama da vela e conseqüentemente recebe um aumento em sua pressão, mas, na seqüência, a chama da vela passa a diminuir até apagar-se, ocasionando uma diminuição da temperatura do gás e conseqüentemente de sua pressão uma vez que neste primeiro momento, o volume do gás no recipiente permanece constante. Dessa forma, há uma diferença entre as pressões interna do gás e a pressão atmosférica (externa) ao recipiente de vidro. Como a pressão interna é menor que a externa esta última “empurra” o fluido do vasilhame para dentro do recipiente de vidro, surgindo uma coluna de fluido, conforme mostra a Fig. 1c.

Figura 1: (a) Experimento sendo realizado com a vela acesa sobre o vasilhame com líquido e nesse caso foi adicionado um corante vermelho para dar uma melhor perspectiva visual. (b) Vela acesa coberta por parte de garrafa de vidro. (c) Após um intervalo de tempo, a chama apaga e logo ergue-se uma coluna de líquido no interior da garrafa.



FONTE: Os autores (2017)

Uma vez realizado o experimento e observado a elevação de coluna de água no interior do copo, era solicitado ao estudante que respondesse duas questões:

(Questão 1a). Explique da maneira que achar melhor, mas com o máximo de detalhes possível - podendo fazer uso de desenhos, gráficos, esquemas - o efeito observado e o porquê ele acontece.

Em seguida foi proposta a seguinte questão:

(Questão 1b). Em uma situação hipotética, caso a vela fosse acesa já envolta pelo copo o que aconteceria? Por quê? Justifique com o máximo de detalhes possível (com desenhos, gráficos, esquemas, etc...).

A segunda versão nada mais é do que uma pequena variação deste experimento. Ela consiste em substituir a vela por uma resistência de chuveiro (material que aquece significativamente quando estabelecida uma diferença de potencial e uma corrente elétrica passa por ele) ligada a uma fonte com valores de tensão e corrente elétrica fixos em 32 V e 3 A, respectivamente, conforme mostra a figura 2a-c. O sistema dispõe ainda de um interruptor para regular a ativação do circuito.

Figura 2: (a) A vela foi substituída por uma resistência de chuveiro. (b) A resistência de chuveiro também é envolta por um recipiente de vidro após a mesma estar aquecida. (c) Ao se desligar o circuito uma coluna de líquido ergue-se no interior da garrafa tal como aconteceu com a vela.



FONTE: Autores (2017)

O circuito é ligado sem o recipiente de vidro encobrindo a resistência (ver Fig. 2a) e após um intervalo de tempo (~ 180 s) suficiente para aquecer – ao ponto de deixar incandescente – a resistência de chuveiro nas condições de tensão e corrente elétrica listadas anteriormente, ainda com o circuito ligado, coloca-se, assim como no caso da vela, o recipiente de vidro de modo a encobrir a resistência e após dez segundos o interruptor é acionado e o aparato é desligado (ver Fig. 2b). Em questão de instantes, assim como no caso da vela, uma coluna de água ergue-se dentro do recipiente que engloba a resistência de chuveiro, conforme mostra a figura 2c. O efeito termodinâmico observado é o mesmo que acontece com a vela, descrito anteriormente: após desligar o aparato, a resistência esfria e a temperatura interna diminui. Com isso, diminui também a pressão interna do gás confinado no recipiente ocasionando uma diferença de pressão para com o meio externo e, assim, a pressão externa (atmosférica) “empurra” o fluido a fim de estabelecer o

equilíbrio entre as pressões interna e externa. Contudo, apesar do resistor ficar incandescente (levemente avermelhado), neste caso, não havia chamas.

Novamente, uma vez realizado o experimento (agora, em sua segunda versão, com a resistência de chuveiro) e observado a elevação de coluna de água no interior do copo, era solicitado ao estudante novamente que respondesse duas questões:

(Questão 2a). Explique da maneira que achar melhor, mas com o máximo de detalhes possível - podendo fazer uso de desenhos, gráficos, esquemas - o efeito observado e o porquê ele acontece.

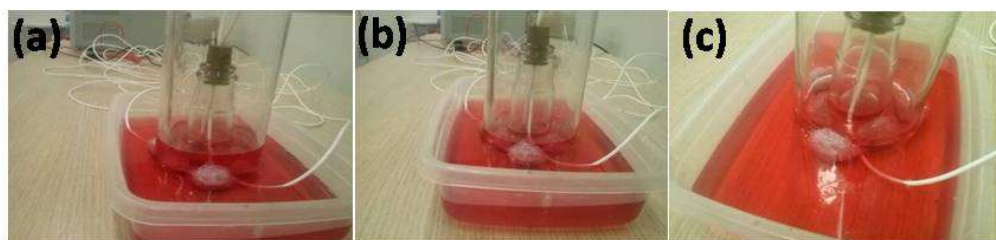
Em seguida foi proposta a seguinte questão:

(Questão 2b). Em uma situação hipotética, caso o resistor fosse ligado já envolto pelo recipiente o que aconteceria? Por quê? Justifique com o máximo de detalhes possível (com desenhos, gráficos, esquemas, etc...).

Ainda com a resistência de chuveiro, uma terceira configuração experimental foi proposta. Nessa versão, ainda com a coluna de água elevada dentro do recipiente de vidro, o circuito é ligado novamente pelo mesmo período de tempo (~180s) com a resistência do chuveiro envolta pelo recipiente de vidro. A intenção aqui é de “materializar” a situação hipotética proposta na questão (Q2b) confrontando a hipótese do estudante com o experimento. Note que, neste caso, ao invés de erguer ainda mais a coluna de água dentro do recipiente de vidro, o efeito contrário é observado: onde antes havia uma coluna de água, agora, uma coluna de ar passa a ocupar a região do recipiente de vidro (Fig. 3c) até que a água é quase que completamente “expulsa” do recipiente de vidro para a vasilha externa. Isso ocorre porque ao aumentar a temperatura, aumentamos também a pressão interna do gás. Assim, uma vez que a pressão interna no recipiente de vidro é maior que a pressão externa (atmosférica), o movimento do fluido para o estabelecimento do equilíbrio entre as pressões interna e externa se dá no sentido contrário às situações anteriores, tal como ilustrado na figura 3.

Figura 3: (a) A terceira configuração experimental usada na pesquisa é realizada já com a coluna do líquido erguida no interior do envoltório da resistência. (b) Aciona-se o circuito, que estava desligado, e é nítido perceber que a coluna de líquido começa a retroceder. (c) Após o período de ação do circuito, em média

10s, é possível notar que o líquido no envoltório de vidro fica abaixo do nível do recipiente.



FONTE: Os autores (2017)

Por fim, para esta terceira configuração experimental, foi solicitado ao estudante a questão abaixo:

(Questão 3). Descreva com o máximo de detalhes possível (desenhos, gráficos, esquemas, etc...) o efeito observado e explique por que ele acontece.

Dito de outra forma, uma vez confrontado a hipótese do estudante na Questão 2b com o experimento, pretende-se aí gerar uma situação de conflito cognitivo. Como as hipóteses são geradas a partir do conhecimento prévio dos estudantes, tem-se a possibilidade de identificar nas respostas os modelos explicativos dos mesmos. Percebe-se daí padrões de respostas que permitem agrupar diferentes estudantes em uma mesma categoria, conforme mostraremos na seção 4. Salientamos que os dados coletados foram provenientes apenas das respostas das questões propostas, ou seja, era vetado o diálogo entre o pesquisador e o estudante no que se refere à discussão do fenômeno apresentado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Construção e análise das categorias

De posse dos questionários dos estudantes a 'triagem' das respostas foi feita de acordo com as categorias apresentadas no Quadro 1. Nele constam duas colunas com a primeira contendo a 'nomenclatura' da categoria e a segunda contendo o tipo/padrão de resposta dada pelo estudante:

Quadro 1. Categorização e organização dos resultados

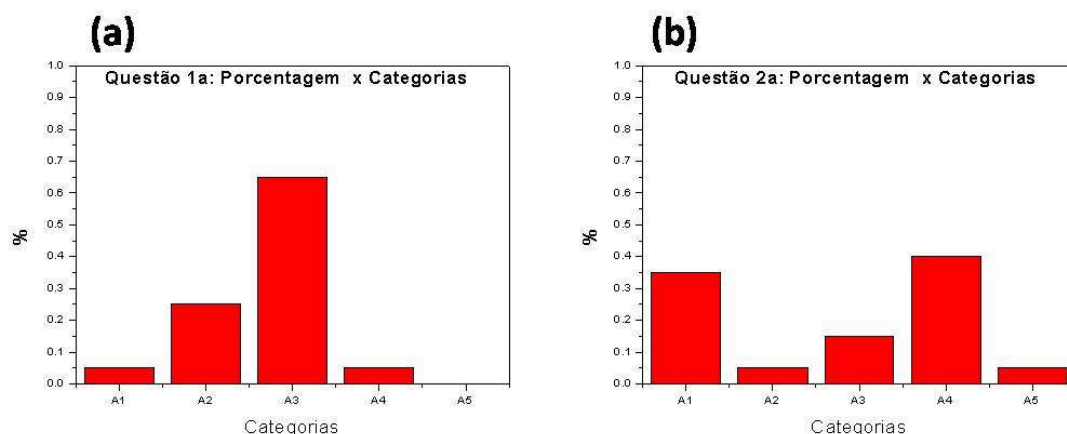
CATEGORIA	PADRÃO DE RESPOSTA
A1	<p>Respostas que apresentam uma mera descrição (superficial) dos fatos observados.</p> <p>Ex: <i>“A água subiu porque a vela apagou.”</i> (E14)</p>
A2	<p>Respostas que apresentam justificativas sob a “ótica da Química”, ou seja, a transformação/eliminação do oxigênio por meio da sua ‘queima’.</p> <p>Ex: <i>“Após tampar a vela com o copo, o espaço que era do oxigênio é preenchido pelo líquido, pois para que ocorra a combustão é necessária a presença do oxigênio”.</i> (E20)</p>
A3	<p>Respostas que mesclam argumentos de “Física e de Química”, ou seja, a transformação/eliminação do oxigênio por meio da sua ‘queima’ acarreta na alteração de alguma variável termodinâmica (geralmente a pressão).</p> <p>Ex: <i>“(…) A chama da vela acaba consumindo o oxigênio do recipiente e com isso a pressão dentro do recipiente diminui fazendo com que o líquido suba.”</i> (E18)</p>
A4	<p>Respostas que apresentam argumentos “Físicos” envolvendo uma termodinâmica alternativa, ou seja, ou não há correlação explícita entre duas variáveis tais como pressão \square temperatura (ver Ex1), ou essa correlação se dá de forma equivocada (ver Ex2).</p> <p>Ex1: <i>“No caso da alta temperatura da resistência há o aquecimento do ar fazendo com que o gás interno fique menos denso do que o de fora e assim a pressão empurrará o líquido e subirá pelas paredes da garrafa”.</i> (E1)</p>

	<p>Ex2: “ A expansão do gás. Os gases aquecidos pela resistência saem pelas laterais do copo diminuindo a quantidade de moléculas no interior do copo causando uma diminuição da pressão no interior levando à subida da coluna de água”. (E6)</p>
A5	<p>Respostas que apresentam argumentos termodinâmicos envolvendo correlação entre duas variáveis tais como: pressão \square temperatura, de forma ‘correta’ sob a luz da equação de estado de um gás ideal, ou seja:</p> <p>Ex: “Como a resistência esquenta, ao ser tampada, aumenta a temperatura do ar de dentro da garrafa, aumentando assim a pressão do ar. Ao ser desligada, a temperatura vai diminuindo aos poucos, diminuindo a pressão dentro da garrafa aos poucos, que acaba por ficar menor que a pressão externa ao copo, por isso a água sobe”. (E13)</p>

FONTE: Os autores (2017)

Os resultados obtidos na questão 1a (que corresponde ao experimento com a vela) e na questão 2a (que corresponde ao experimento com a resistência) são mostrados na figura 4a e 4b, respectivamente:

Figura 4: (a) Respostas da questão 1a - configuração experimental com o uso da vela. (b) Respostas da questão 2a - configuração experimental com o uso da resistência.



FONTE: Os autores (2017)

Em se tratando do experimento com a vela (Fig. 4a), pode-se notar que a presença do fogo e sua consequência (a queima do oxigênio) é o fator determinante nas explicações das categorias A2 e A3. Tais categorias quando somadas correspondem a 90% dos estudantes entrevistados. Dado que todos os estudantes passaram por alguma instrução básica envolvendo conceitos de termodinâmica vemos que, mesmo assim, o fator “queima do oxigênio” permanece sendo o fator relevante do processo. Em se tratando da categoria A2, esse fator não só é relevante como o único. Já na categoria A3, com 65% dos estudantes apresentam argumentos híbridos, esse fator agrega-se ao conceito de pressão para formar um todo coerente, como mostrado na fala do estudante E19:

E19 – “No momento em que a garrafa cobre totalmente impedindo que o ar circule de dentro da garrafa para fora, a vela que estava acesa começa a queimar todo o oxigênio que estava na garrafa, com isso, houve uma diferença de pressão com essa queima, deixando a pressão menor do que a externa. Assim elevando a água para ocupar o espaço e equilibrar a pressão”.

Repare que neste caso, pressão e ‘queima do oxigênio’ são elementos complementares na explicação do fenômeno, mostrando que este último (queima do oxigênio), mesmo após um processo instrucional dentro do tema, permanece de forma considerável na estrutura cognitiva do estudante. Além disso, essa resposta híbrida reflete, ainda que de forma indireta, como os conceitos vistos em termodinâmica – tais como temperatura, pressão e volume – são percebidos por tais estudantes: apesar dessas variáveis estarem presentes na equação de estado de um gás ideal, na prática (diante de um fenômeno real), não há menção quanto às suas correlações.

Para a situação em que a vela foi substituída por uma resistência de chuveiro temos uma mudança significativa na natureza das respostas diante de um mesmo fenômeno, mas que foi apresentado de forma diferente. Dado que antes a queima do oxigênio pelo fogo da vela era o fator relevante agora, mesmo com a resistência levemente incandescente, a ausência explícita de chamas faz com que a soma das categorias A1, A4 e A5 (80%) sejam majoritárias. O fato de alguns estudantes (20%) perceberem a incandescência da resistência foi primordial para se manter a ‘lógica da queima do oxigênio’. Contudo, como esse fato não é tão evidente como na

situação envolvendo a vela, grande parte dos estudantes, migraram das categorias A2 e A3 com 25% e 65%, respectivamente, para as categorias A1 e A4 com 35% e 40%, respectivamente, conforme se pode perceber quando comparamos as figuras 4a e 4b. Essa alteração, significativa, no modo de explicar o fenômeno é um indício de que o mesmo fenômeno termodinâmico, quando apresentado de forma distinta torna-se um elemento gerador de conflitos cognitivos. O exemplo abaixo mostra como um mesmo estudante (Ex), ao se deparar com um mesmo fenômeno, mas apresentado de forma distinta, altera (ajusta) significativamente os conceitos disponíveis em sua estrutura cognitiva para tentar explicar ambas as situações conforme as falas dos estudantes E13 e E12 a seguir:

Q1a | E13 - “Após tampar a vela com a garrafa, a combustão acaba por consumir todo o oxigênio dentro da garrafa. Assim, quando ela se apaga, é porque já não há mais ar (oxigênio) para a combustão e cria-se então um vácuo. Por isso, o líquido sobe na garrafa, devido à pressão do ar no líquido ser maior que a que o vácuo faz. (Vácuo não exerce pressão)”.

Q2a | E13 - “Como a resistência esquentada, ao ser tampada, aumenta a temperatura do ar de dentro da garrafa, aumentando assim a pressão do ar. Ao ser desligada, a temperatura vai diminuindo aos poucos, diminuindo a pressão dentro da garrafa aos poucos, que acaba por ficar menor que a pressão externa ao copo, por isso a água sobe”.

Q1a | E12 - “Ao ser colocada a garrafa (fechada na parte superior) sobre a vela, a combustão consome todo o oxigênio do ambiente interior da garrafa. Ao encerrar o oxigênio disponível, o vácuo que ficou “puxa” o líquido”.

Q2a | E12 - “A transferência de calor da resistência para o ambiente interno da garrafa faz gerar uma diferença de pressão entre o ambiente externo e o interno da garrafa”.

Respostas às configurações hipotéticas

Diante da possibilidade de proporcionar um ambiente desafiador para os estudantes, aonde suas ideias prévias são desafiadas ao ponto de não conseguirem ‘dar conta’ de explicar determinadas situações com a qual se depara, propomos duas configurações hipotéticas propostas (Q1b e Q2b), a saber:

Q1b- O que aconteceria caso o experimento fosse realizado com a vela acesa e já dentro do recipiente de vidro;

Q2b- O que aconteceria caso o experimento fosse realizado com a resistência ligada já dentro do recipiente de vidro.

Após uma primeira análise, uma nova forma de arranjar e expor os resultados para as situações hipotéticas são mostradas no quadro a seguir:

Quadro 2: Categorização das hipóteses dos estudantes nas questões Q1b e Q2b

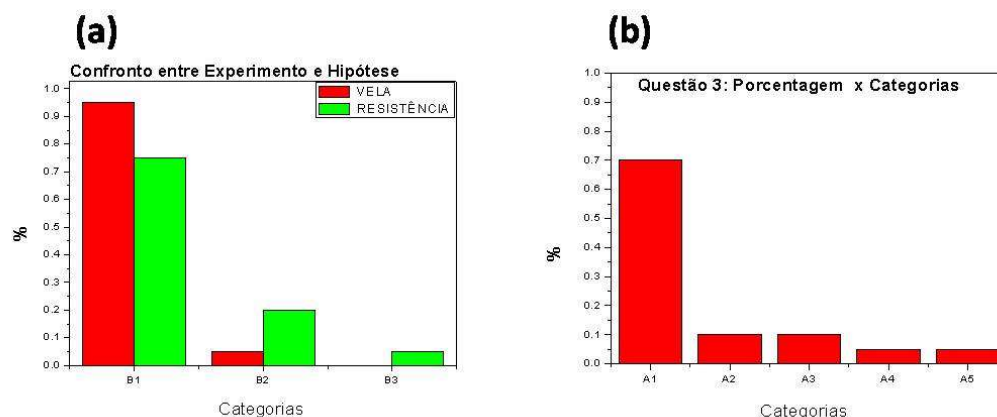
CATEGORIA	PADRÃO DE RESPOSTA
B1	<ul style="list-style-type: none"> - Aconteceria a mesma coisa: subiria uma coluna de líquido. - As respostas contêm os mesmos argumentos e construções que as respostas dadas aos eventos até então observados, ou seja, respostas semelhantes ou basicamente iguais ao item a (da mesma questão) das referidas questões, preservando assim sua categoria (Ax, x = 1, 2, 3, 4 e 5) intacta.
B2	<ul style="list-style-type: none"> - Aconteceria a mesma coisa: subiria uma coluna de líquido. - As respostas contêm elementos diferentes daqueles presentes nas respostas apresentadas aos eventos até então observados, ou seja, as respostas se distanciam daqueles presentes no item a da referida questão, de modo a não preservar a categoria (Ax, x = 1, 2, 3, 4 e 5) desta última.
B3	<ul style="list-style-type: none"> - Não aconteceria a mesma coisa: a coluna do líquido desceria. - As respostas contêm os mesmos argumentos e construções que as respostas dadas aos eventos até

então observados, ou seja, respostas semelhantes ou basicamente iguais ao item a (da mesma questão) das referidas questões, preservando assim sua categoria (Ax, x = 1, 2, 3, 4 e 5) intacta.

FONTE: Os autores (2017)

Para o caso hipotético no qual é proposto que tanto a vela [resistência] já estivesse acesa [ligada] dentro do copo, temos os resultados mostrados na figura 5:

Figura 5: (a) Hipóteses dos estudantes para a configuração experimental quando a vela [resistência] fosse acesa [ligada] já dentro do recipiente de vidro após a realização do experimento com a vela/resistência fora do recipiente de vidro. (b) Porcentagem das categorias após ligar a resistência dentro do recipiente de vidro.



FONTE: Os autores (2017)

De acordo com a Fig. 5a, com a vela, 100% dos estudantes (soma das categorias B1 e B2 – coluna vermelha) corroboram da hipótese de que, assim como no item (a) da primeira questão (Q1a), uma coluna de água se elevará no recipiente de vidro quando a vela for acesa já dentro do recipiente. Ainda em relação à vela (questão Q1b), 95% desses estudantes justificam a sua hipótese da mesma forma que explicam o fenômeno na questão Q1a. Dito de outra forma, para 95% dos estudantes, as mesmas categorias (modelos mentais) identificadas em Q1a são utilizadas para se construir as hipóteses da questão Q1b.

Em se tratando da resistência de chuva, 95% (soma das categorias B1 e B2 – coluna verde) afirmam que, assim como no item (a) da segunda questão

(Q2a), uma coluna de água se elevará no recipiente de vidro quando a resistência for ligada já dentro do dele (ver Fig. 5a). Contudo, o percentual de estudantes que mantém a categorização no item (b) da mesma questão (Q2b) altera-se. Neste caso, 75% permanecem com o mesmo modelo explicativo (mesma categoria) enquanto que 20% mudam o modelo. Acreditamos que tal fato deva-se, novamente, à ausência de ‘queima do oxigênio’ uma vez que, conforme visto na Fig. 4b, grande parte dos estudantes (30%) migram para a categoria A1 (mera descrição de observáveis) quando troca-se a vela pela resistência. Dito de outra forma, a ausência de um modelo (mental) eficiente que abranja a mesma ‘espécie’ de fenômeno, em suas diferentes formas de apresentação, fica caracterizado pelas constantes mudanças na forma de explicação.

A ineficiência dos modelos alternativos fica ainda mais evidente figura 5b, diante da atividade experimental que poderia ou não corroborar a hipótese dos estudantes solicitadas na questão Q2b. Neste caso temos um aumento considerável na categoria A1, a saber, mera descrição dos fatos observáveis. Este comportamento deve-se a não corroboração (ver Fig. 5a – coluna verde), por parte do experimento, das hipóteses dos estudantes levando-os a um ‘abandono’ de explicações baseadas em não-observáveis. O conflito entre a hipótese e o experimento é, a nosso ver, o gerador do conflito cognitivo. Dito de outra forma, dado que nenhum modelo explicativo alternativo foi capaz de prever, de forma correta, o que aconteceria em um arranjo diferente, fica evidente o abandono dessas estruturas (modelos mentais) em detrimento da mera descrição do fenômeno, conforme os exemplos a seguir:

Q3 | E15 - “O nível diminuiu”.

Q3 | E20 - “Bem, após ligar a resistência o líquido volta para o seu estado inicial”.

Este fato – migração de outras categorias para a categoria A1 – que na ausência de confrontação entre hipótese/experimento (ver Fig. 4b) já era evidente agora (Fig. 5b) torna-se quase que exclusivo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, uma sequência experimental envolvendo temas de Termodinâmica, em especial os conceitos de calor, pressão e temperatura, foi

realizada com a perspectiva de gerar situações problematizadoras que proporcionassem um levantamento de concepções espontâneas e gerassem conflitos cognitivos referentes a esses conceitos, mediante a exposição de estudantes diante de um mesmo fenômeno abordado de duas formas diferentes.

Como resultado da sequência proposta, observamos que mesmo tendo passado por algum processo instrucional sobre a temática ao longo de sua formação, os estudantes ainda tomam certos fatores (queima do oxigênio e criação de um vácuo, por exemplo) como sendo determinantes para a explicação do fenômeno, ou mesmo agregam algum outro conceito termodinâmico (pressão, por exemplo) a estes fatores e criam respostas híbridas que de certa forma refletem a ausência de um modelo mental eficiente na compreensão do fenômeno observado, bem como uma ausência de correlação entre os conceitos termodinâmicos na sua estrutura cognitiva.

Outro resultado interessante se expressa quando percebemos que as atividades experimentais dentro de uma proposta investigativa são poderosas ferramentas para gerar conflitos cognitivos uma vez que mudanças significativas nas explicações dadas ao fenômeno termodinâmico foram detectadas quando este se apresenta sob formas distintas. Quando o estudante se depara com o fenômeno agora expresso por meio de outro arranjo experimental, ele ajusta os conceitos presentes em sua estrutura cognitiva de forma a adaptar uma explicação para cada situação. Tal passagem evidencia a existência de vários modelos mentais em paralelo para abranger um mesmo fenômeno em suas diferentes formas. Como consequência, temos mudanças drásticas no grau de das respostas, e por vezes, quando nenhum modelo explicativo alternativo consegue explicar ou mesmo prever, de forma correta, o fenômeno só resta ao aluno o abandono completo dos modelos mentais disponíveis para a mera descrição do observado.

Finalmente, acreditamos que os resultados da proposta são satisfatórios e que apresentam grande potencial para uma futura intervenção didática na perspectiva de se dar um tratamento adequado aos modelos explicativos alternativos apresentados pelos alunos, esclarecendo as possíveis lacunas conceituais presentes nas respostas, ou mesmo refinando os argumentos e

conceitos já existentes nestas estruturas cognitivas. Lembrando que no âmago da aprendizagem significativa, o fator mais importante a ser levando em consideração é aquilo que o aprendiz já sabe, esperamos que atividades direcionadas a uma proposta de ensino investigativa, capaz de proporcionar um levantamento de concepções espontâneas bem como gerar conflitos cognitivos, sejam cada vez mais encorajadas e ganhem cada vez mais espaços nos ambientes escolares e acadêmicos, justamente por propiciarem um espaço de discussão e avaliação em cima dos conhecimentos prévios e modelos explicativos dos estudantes, que muitas vezes são menosprezados, tal como subsidiar futuras ações docentes cada vez mais integradas e ativas com os estudantes.

REFERÊNCIAS

- AUSUBEL, D. P. **The psychology of meaningful verbal learning**. New York: Grune & Stratton, 1963.
- AUSUBEL, D. P. **Educational psychology: a cognitive view**. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.
- AUSUBEL, D. P. **The acquisition and retention of knowledge**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- AZZI, R.; BANDURA, A.; POLYDORO, S. A. J. (orgs.). **Teoria Social Cognitiva: conceitos básicos**. Porto Alegre, Editora Artmed, pp. 149-164, 2008.
- CARVALHO, A. M. P. e PÉREZ, D. G. **Formação dos professores de Ciências**. São Paulo: Cortez, 1993.
- CARVALHO, A. M. Formação de professores: o discurso crítico-liberal em oposição ao agir dogmático repressivo. **Ciência e Cultura**, SBPC 41(5),p.432-434,1998.
- CARVALHO, A. M. P. Uma investigação na formação continuada de professores: a reflexão sobre as aulas e a superação de obstáculos. Atas do II ENPEC – Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências,1999.
- CARVALHO, A. M. P. **Calor e Temperatura: um ensino por investigação**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.
- FILHO, O. S.; TSUKADA, V. K.; CEDRAN, J. C. O indutivismo ingênuo nas atividades experimentais iniciais de curso de graduação em Química: O experimento da vela.

São Paulo: **Revista História da Ciência e Ensino: Construindo interfaces**, vol. 2, p. 48 – 75,2010.

GASPAR, A; MONTEIRO, I. C. C. Atividades experimentais de demonstração em sala de aula: Uma análise segundo o referencial da teoria de Vygotsky. **Investigações em Ensino de Ciências**. v. 10, n. 2, p. 227-254, 2005.

HESSEN, Johannes. **Teoria do conhecimento**. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Editora Perspectiva S.A, 1998.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa**: a teoria e textos complementares. 1. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

POZO, J. I. **A aprendizagem e o Ensino de Ciências**: Do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico. 5. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

PIRES, A.S.T. **Evolução das ideias da Física**. 2.ed. Livraria da Física, São Paulo 2011.

QUEIROZ, G. R. P. C.: **Professores artistas-reflexivos de física no ensino médio**. Programa de Pós-Graduação em Educação, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro, 2000.

ROCHA, J. F. (Org.) **Origens e evolução das ideias da Física**. 2.ed. EDUFBA, Bahia, 2015.