

A Dinâmica Newtoniana como Obstáculo para a Aprendizagem

The Newtonian Dynamics as an Obstacle to Learn

Alexandre Campos

Programa Interunidades em Ensino de Ciências
fis.campos@gmail.com

Élio Carlos Ricardo

Faculdade de Educação
elioricardo@usp.br

Resumo

A intenção deste trabalho é o de apresentar algumas considerações acerca da conceitualização do Princípio de Conservação de Energia Mecânica por um sujeito-em-ação. Para isso, entrevistamos um aluno durante a resolução de uma situação. O referencial adotado foi a Teoria dos Campos Conceituais (TCC). A metodologia consistiu na apresentação da situação ao aluno, em dois momentos: no primeiro deles, o aluno deveria explicitar livremente suas impressões (conceituais ou não) acerca da situação; no segundo, algumas questões foram direcionadas ao sujeito. A partir das respostas e manifestações presentes em sua conduta inferimos alguns conceitos/teoremas pertinentes a fim de tipificá-los como sendo invariantes operatórios descritivos e invariantes operatórios interpretativos. A análise desses invariantes sugere que a Dinâmica Newtoniana atua como obstáculo epistemológico para a conceitualização do Princípio de Conservação de Energia Mecânica.

Palavras chave: Conceitualização, Energia Mecânica, Dinâmica Newtoniana, Obstáculo Epistemológico, Teoria dos Campos Conceituais.

Abstract

In this work we present some considerations about the conceptualization of the Principle of the Conservation of the Mechanical Energy by a learner-in-action. For this, we interviewed one student when he was resolving one activity-situation. The framework was the Conceptual Fields Theory and the methodology has consisted in to present the activity-situation to the learner in two steps: in the first one the student should explain freely his impressions (conceptual or no) about of the activity-situation; in the second one some questions were made to the student. It based on the answers and manifestations present in his conduct we infer few concepts/theorems in order to relate them as been descriptive operatory invariants or interpretative operatory invariants. The data analyses of the answers and manifestations presents suggest that the Newtonian Dynamics “works” as epistemological obstacle to the Principle of the Conservation of the Mechanical Energy conceptualization.

Key words: Conceptualization, Mechanical Energy, Newtonian Dynamics, Epistemological Obstacle, Conceptual Fields Theory.

Introdução

O conceito de energia possui grande relevância nas Ciências. Sua abrangência e capacidade de transitar nas diferentes disciplinas científicas (WEIL-BARAIIS, 1993; SOLBES, GUIASOLA, TARÍN, 2009) também o torna central também para o Ensino de Ciências. Tal importância pode ser percebida, por exemplo, pela recorrência e volume de trabalhos publicados sobre o tema. Ao limitarmos nosso campo de interesse apenas aos trabalhos voltados à sua aprendizagem, percebe-se a existência de concepções não científicas (BARBOSA e BORGES, 2006; OKTAY; TATAR, 2007). Segundo Barbosa e Borges (2006), tais concepções foram categorizadas, inicialmente, em sete sendo, posteriormente, reduzidas a cinco: i) antropocêntrica, ii) depósito, iii) associada à força e movimento, iv) combustível e v) fluído (BARBOSA e BORGES, 2006, pp. 193-195).

Ainda que tais categorias associem as respostas dos sujeitos à definição do conceito de energia, o mesmo pode ser dito quando se investiga seus processos de transformação. Nesse sentido, Tatar e Oktay (2007, p. 79) mencionam a existência de pesquisas que apontam para o fato de os alunos utilizarem como sinônimos a noção de *conservação* de energia e a noção de *economia* de energia, através das influências cotidianas como, por exemplo, as veiculadas pelos meios de comunicação (TATAR e OKTAY, p. 79)

A influência do uso de “formas de energia da linguagem e da vida cotidiana, como a energia dos alimentos, a energia humana, a energia molecular...” (BARBOSA e BORGES, 2006, p. 202) por adultos escolarizados e pela mídia sobre os estudantes também é mencionada por Barbosa e Borges (2006). Essas formas, com pouco significado científico, atuam como organizadores do conhecimento dos alunos sem ter, em contrapartida, a devida distinção ou uso das formas com significação na ciência. Segundo os autores,

...observa-se o escasso uso e quase completo desconhecimento de outras formas de energia valorizadas pela ciência escolar, mas pouco utilizadas em situações cotidianas e na mídia, como por exemplo, a energia potencial elástica ou gravitacional ou química... (BARBOSA e BORGES, 2006, p. 202).

Tal confusão e uso indiscriminado do conceito, e o princípio de conservação, também sofreria influência dos conteúdos estudados na escola. Segundo a revisão da literatura de Tatar e Oktay (2007), pesquisas realizadas, ainda na década de 1980, verificaram que para os alunos explicarem o processo de combustão, recorriam aos conhecimentos de química (reações químicas), à percepção de que, na queima, ocorre diminuição da massa (da madeira, do papel etc), ao conhecimento que possuem de que, em nível atômico, a velocidade dos elétrons é c e da equação $E = mc^2$ (por ser facilmente lembrada) para justificarem o Princípio de Conservação de Energia (TATAR e OKTAY, 2007, p. 80).

É nesse contexto que nosso trabalho se insere. Haveria outros conteúdos estudados na escola que influenciariam a aprendizagem do conceito de energia e sua conservação? Na tentativa de responder essa pergunta, realizamos uma entrevista com um sujeito, matriculado no terceiro ano do Ensino Médio durante a resolução de uma situação envolvendo o conceito de energia e sua conservação, a fim de explorar as explicações e os conteúdos mobilizados¹.

Referencial Teórico

A Teoria dos Campos Conceituais (TCC) é uma teoria cognitivista voltada para investigar as filiações e rupturas presentes nos Esquemas elaborados por sujeitos em situação (VERGNAUD, 1990). Conceito, segundo Vergnaud, é definido pelo conjunto de situações

¹ Este trabalho é um pequeno recorte de pesquisa de doutorado finalizada em 2014. No total, foram entrevistados 6 sujeitos para um conjunto de 8 situações (ver Campos, 2014).

que dão sentido ao conceito (**S**), pelo conjunto de invariantes operatórios (**I**) operacionalizados pelos sujeitos através dos teoremas-em-ação e dos conceitos-em-ação e, pelas representações simbólicas (**R**) (linguagem natural, gráficos, diagramas, sentenças formais etc) que podem ser utilizadas como forma de expressar os invariantes operatórios. A figura 1 apresenta uma possível alternativa para as representações (VERGNAUD, 1994, p. 34).

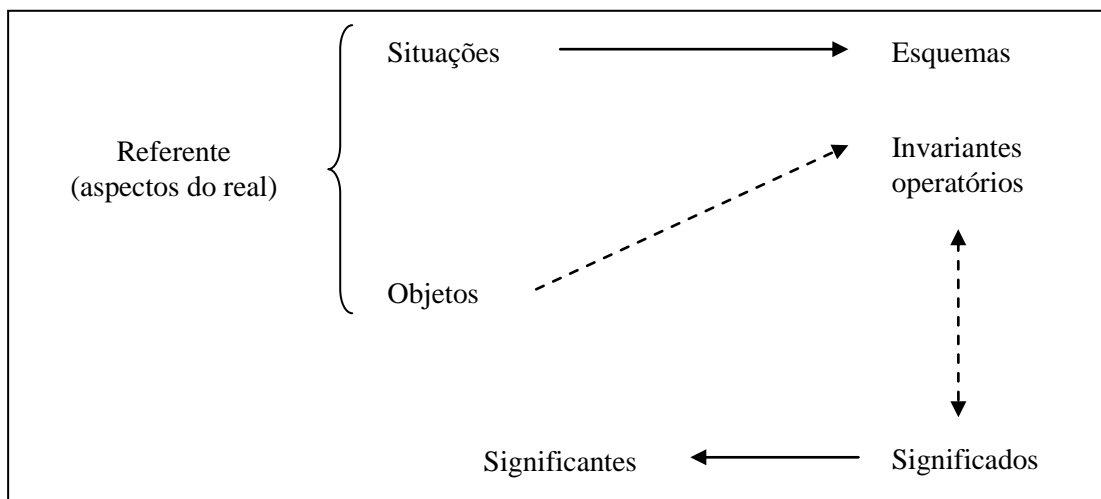


Figura 1: Análise alternativa da representação.

É possível perceber, da figura 1, que Vergnaud relaciona o aprendizado dos conceitos a partir da mediação entre aspectos da realidade e o sujeito. Para ele, a conceitualização do real ocorre através de nossa ação sobre este real e, portanto, faz-se necessário considerar as diversas ações do sujeito nos diversos momentos da aprendizagem. Essas diversas ações nos diversos momentos da atividade do sujeito desempenham papel decisivo na formação dos invariantes. Esta relação é complexa e seu mecanismo de formação é muito diferente daqueles envolvidos na formação do conceito científico.

Há duas noções centrais para a TCC: a noção de Esquema e a noção de Homomorfismo. A primeira noção se relaciona ao sentido inicial que o sujeito atribui à situação, sustentando por Esquemas iniciais presentes em sua conduta; podem ser eficazes ou não tão eficazes, podendo gerar diferentes regras de ação permitindo maior ou menor avanço do sujeito no desenvolvimento da situação. “Os esquemas evocados pelo sujeito numa dada situação ou frente a representações simbólicas é o que constitui o sentido dessa situação ou representação para esse indivíduo” (VERGNAUD apud MOREIRA, 2002). O desenvolvimento cognitivo estaria, assim, vinculado ao desenvolvimento de um vasto repertório de esquemas.

A segunda noção, a de homomorfismo, permite que se compreenda a relação entre realidade e representação conceitual e a relação entre significante e significado. É uma noção relaciona os dados de chegada e os dados de saída numa correspondência entre conjuntos de classes e componentes (VERGNAUD, 1994). Reduzindo os termos ela nos remete à relação existente entre pensamento e linguagem (VERGNAUD, 1994).

Metodologia e Análise de Dados

A metodologia utilizada na investigação se valeu de entrevista de um aluno de 18 anos, matriculado no terceiro ano do Ensino Médio, de uma escola particular na Região Metropolitana de São Paulo. Seu verdadeiro nome será preservado e nos referiremos a ele pelo pseudônimo “Güenther”. A entrevista foi gravada e integralmente transcrita. A

importância da verbalização do sujeito constitui um meio “de levar em consideração a atividade cognitiva do sujeito em determinada tarefa ou situação” (VERGNAUD apud BAGHERI-CROSSON, 2004, p. 86). A situação foi tratada, por parte do pesquisador (**P**), em dois momentos distintos.

No primeiro deles, o pesquisador entregou uma folha cujo conteúdo era composto de uma figura e uma informação bastante sucinta. Ao final deste texto era solicitada ao sujeito (**S**) uma explicação livre e aberta do fenômeno apresentado, com o mínimo de intervenção possível do pesquisador. No segundo momento, houve interação entre o pesquisador e o sujeito através de uma questão mediada. A figura 2, abaixo, apresenta a situação tratada, assim como a informação apresentada e a questão mediada.

Questão Aberta (A)

A imagem abaixo é de uma mesa de ar. Explique seu funcionamento.



Questão mediada (M)

Item A: Qual é a função do colchão de ar?

Item B: Explique o que deve ocorrer, e como, para que o disco inicie o movimento?

Item C: O que ocorre cada vez que o disco colide nas laterais da mesa?

Figura 2: Situação utilizada (mesa de ar).

De posse das entrevistas transcritas, realizamos inferências sobre as manifestações dos sujeitos-em-situação. Esse método é próprio quando o que se propõe a investigar são os *esquemas* ou quaisquer outras investigações dessa natureza. Segundo Barbosa e Borges (2006, p. 189),

nós só podemos falar dos modelos de outra pessoa através daquilo que inferimos que ela está tentando nos dizer, ao expressar sua compreensão ou fazer previsões sobre um determinado fenômeno, situação ou objeto. A atividade do pesquisador consiste basicamente em modelar o pensamento dos sujeitos pesquisados, dado que ele não dispõe de acesso privilegiado ao plano mental dos sujeitos de seus estudos. O seu trabalho depende fortemente de suas interpretações e percepções acerca das ações e discurso das pessoas que estuda... (BARBOSA e BORGES, 2006, p. 189).

Essas inferências funcionam, na verdade, como aquilo que há de implícito no raciocínio do sujeito no que diz respeito à sua conduta (VERGNAUD, 1991, p. 85). Entretanto, parece-nos que considerar somente as inferências das respostas dos sujeitos-em-situação ainda não permite que se avance no estudo do processo de conceitualização. Seria, então, a análise dessas inferências que nos permitiriam avançar na investigação dessa natureza. Para o caso específico da TCC, a análise das inferências deve contemplar as articulações entre a adaptação do real e os diferentes componentes da representação, sejam

significados ou significantes.

Considerando as transformações realizadas pelo sujeito, a partir do real, e as diversas transformações homomórficas operadas pelo sujeito, associaremos invariantes operatórios descritivos, ou interpretativos, ao pensamento implícito presente nas inferências. Por invariantes operatórios descritivos entendam-se aqueles do tipo “proposições” (ou teoremas-em-ação) que relacionam um aspecto do real a outro aspecto do real, que representaremos por [R-R]. Por invariantes operatórios interpretativos, também do tipo “proposições”, entenda-se aquele que relaciona ou um aspecto do real a algum aspecto do conceito, que representaremos por [R-C], ou um aspecto do conceito à outro aspecto do conceito, que representaremos por [C-C].

| Questão aberta (A): | | |
|---|---|--|
| <p>1. Tomada de informação sobre o real: Güenther reconhece a mesa de ar na foto.</p> <p>2. Explicação do fenômeno: O aluno explica, de modo pertinente, o princípio de funcionamento da mesa, com o ar ejetado por seus vários orifícios, possibilitando que o disco deslize, sem atrito, sobre o ‘colchão de ar’.</p> <p>3. Associação de um (ou mais) elemento (s) do real a um (ou mais) invariante (s) operatório (s): O aluno aplica, de maneira implícita, os teoremas-em-ação “energia cinética é proporcional à velocidade” e “na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica (cinética) é conservada”.</p> | | |
| <i>Comentários:</i> | | |
| <p>✓ O sujeito recorre ao conceito-em-ação do real (atrito) de maneira explícita para explicar o fenômeno observado.</p> <p>✓ O sujeito utiliza, implicitamente, o teorema-em-ação “na ausência de forças dissipativas a Energia Mecânica (cinética) é conservada” ao explicar o movimento do disco sobre a mesa.</p> | | |
| Questão mediada (M): | | |
| Questão | Resposta do estudante | Pensamento inferido |
| Função do colchão de ar. | “O ar tem que manter a peça, [...], flutuando ou acima da mesa para que não tenha atrito dele com a mesa e consiga deslizar”. | <p>- Coeficiente de atrito (conceito-em-ação).</p> <p>- Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica (cinética) é conservada (teorema-em-ação).</p> <p>- Energia cinética é diretamente proporcional à velocidade (teorema-em-ação).</p> |
| Causa do movimento inicial. | “Tem que ter uma força atuando sobre ele [o disco] [...]. O batedor do jogo, vai exercer uma força sobre o disco e essa força vai fazer com que ele se desloque”. | <p>- Impulso (conceito-em-ação).</p> |

| | | |
|---|--|---|
| <p>Colisão do disco nas laterais da mesa.</p> | <p>“O disco vai exercer uma força sobre a parede lateral e a parede lateral vai exercer uma força sobre o disco, vai ser uma força contrária sobre o disco e vai fazer com que o disco volte”.</p> | <ul style="list-style-type: none"> - As forças atuam aos pares (conceito-em-ação). - Lei da ação e reação (conceito-em-ação). - Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica é conservada (teorema-em-ação). - A variação da quantidade de movimento, num sistema isolado, é conservada (teorema-em-ação). - $\Delta \vec{Q}_{sistema} = \vec{0}$ (teorema-em-ação). - Numa colisão perfeitamente elástica, a energia cinética é conservada (teorema-em-ação). |
| <p>Comentários:</p> | | |
| <ul style="list-style-type: none"> ✓ O aluno reconhece a papel do atrito como agente resistivo ao movimento. ✓ O aluno se vale de maneira pertinente das ‘leis de Newton’ para explicar a causa do movimento inicial e a colisão do disco nas laterais da mesa. O conceito-em-ação “lei da ação e reação” parece estabilizado pelo sujeito. | | |

Tabela 1: Entrevista de Güenther.

Invariantes Operatórios utilizados no conjunto das Situações apresentadas

Chamaremos de invariantes do tipo genérico às inferências realizadas a partir das respostas dos alunos de maneira geral, sem manifestar relação com outros invariantes e implicações do fenômeno apresentado. Por invariantes do tipo contextualizado chamaremos aos invariantes mobilizados pelos sujeitos com grau elevado de articulação conceitual com outros invariantes. Caso os invariantes utilizados pelos sujeitos não sejam explicitados, mas possam ser inferidos de maneira indireta em suas respostas, referiramo-nos a eles como sendo implícitos. Denotaremos aqui invariantes do tipo genérico (G), contextualizado (C) e implícito (I) como sendo aqueles mobilizados pelos sujeitos durante suas condutas na ação. Acreditamos que, dessa forma, conseguiremos aproximar os invariantes presentes nas inferências realizadas a partir das condutas daquilo que Vergnaud trata como invariantes quantitativos, qualitativos e relacionais, assim como as regras de controle produtivo ou regras de controle não produtivo.

| Inferências | I.O. |
|--|------|
| “Energia cinética é proporcional à velocidade”. | G, I |
| “Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica é conservada”. | G |

| | |
|---|------|
| “A variação da quantidade de movimento, num sistema isolado, é conservada”. | G, I |
| “Numa Colisão perfeitamente elástica, a energia cinética é conservada”. | G, I |
| “ $\Delta \vec{Q}_{sistema} = \vec{0}$ ”. | G, I |

Tabela 2: Invariantes operatórios do tipo [R-C].

Considerações Finais

Ainda que se trate de apenas uma situação para um único sujeito, os conceitos inferidos à partir das respostas do aluno parecem apontar para sua “preferência” em mobilizar conceitos da Dinâmica Newtoniana em relação ao Princípio de Conservação da Energia Mecânica. Vale destacar que Güenther não mobilizou, de maneira explícita, tal Princípio de Conservação, e que, apenas de maneira genérica inferimos em suas respostas a presença de que a Energia Cinética é proporcional à velocidade (e não ao quadrado da velocidade – trata-se, neste caso de invariante do tipo proposicional, ou seja, são suscetíveis de serem verdadeiros ou falsos). Por outro lado, o fato do sujeito mencionar o papel do atrito como agente que atua contra a manutenção do movimento parece apontar para a existência de que há alguma forma de reconhecimento, por sua parte, de que tal movimento tenderia a permanecer, desde que o atrito ou deixasse de existir ou fosse minimizado.

Deve-se também chamar atenção para as relações estabelecidas pelo aluno no que diz respeito aos aspectos do real e as relações estabelecidas com conceitos pertinentes. Neste sentido, o referente para o aluno seria a mesa de ar e o fenômeno apresentado (disco deslizando). Sendo assim, percebe-se que as relações estabelecidas em termos de invariantes operatórios são do tipo Real-Conceito [R-C] e não do tipo Conceito-Conceito [C-C]. Para a percepção desse último tipo de invariante ([C-C]) seria necessário que, nas respostas do aluno, fossem percebidas relações nas quais ele se valesse de algum conceito como referente e não de aspectos do real. Em contrapartida, também não percebemos, para esta situação, invariantes do tipo Real-Real ([R-R]), demonstrando algum avanço na mobilização de conceitos por parte do sujeito.

No que diz respeito ao controle das respostas, durante a tomada de consciência, destacamos que o teorema-em-ação “na ausência de forças dissipativas, a Energia Mecânica é conservada”, inferido foi utilizado de maneira implícita, mas com controle produtivo pelo sujeito. Em sentido oposto, percebemos que a preferência do aluno em mobilizar e articular os conceitos da Dinâmica Newtoniana ao invés do Princípio de Conservação ocorre sem controle produtivo. Essa ausência de controle no uso da Dinâmica Newtoniana nos pareceu ter como origem dois aspectos principais: seu forte apelo ao observado cotidianamente e, portanto, sua relação com aspectos do real e seu forte apelo didático presente nos conteúdos da disciplina de Física durante o Ensino Médio; trata-se, neste caso, do uso da Dinâmica Newtoniana, mais de um hábito do que uso consciente desse Campo Conceitual.

Por fim, devemos lembrar que tratamos aqui de apenas um aluno à luz de apenas uma situação. Uma investigação mais rigorosa foi realizada por nós em nossa pesquisa de doutoramento (CAMPOS, 2014), considerando uma quantidade maior de situações para um maior número de sujeitos. Contudo, nosso interesse inicial não estava centrado na hipótese da Dinâmica Newtoniana atuar como possível obstáculo epistemológico (didático?) para a Conceitualização do Princípio de Conservação da Energia Mecânica.

Referências

CAMPOS, A. **A Conceitualização do Princípio de Conservação da Energia Mecânica: os processos de Aprendizagem e a Teoria dos Campos Conceituais**. 2014. 542f. Tese (Doutorado em Ciências). Interunidades em Ensino de Ciências, São Paulo, Universidade de São Paulo, 2014.

BAGHERI-CROSSON, R. **Mobilisation du concept de champ magnétique par des étudiants issus du DEUG <<Sciences de la Matière>>: analyse didactique à partir de la théorie des champs conceptuels**. 2004. 217f. Thèse (Doctorat en didactique des disciplines scientifiques et techniques). Laboratoire d'études des méthodes modernes d'enseignement, Toulouse, Université Toulouse III – Paul Sabatier, 2004.

BARBOSA, J. P. V.; BORGES, A. T. O Entendimento dos Estudantes sobre Energia no Início do Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23, n. 2, 182-217, 2006.

MOREIRA, M. A. A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, o ensino de Ciências e a pesquisa nesta área. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, 7-29, 2002.

OKTAY, M.; TATAR, E. Students' Misunderstandings about the Energy Conservation Principle: A General View to Studies in Literature. **International Journal of Environmental & Science Education**, v. 2, n. 3, 79-81, 2007.

SOLBES, J.; GUIASOLA, J.; TARÍN, F. Teaching Energy Conservation as a Unifying Principle in Physics. **Journal of Science Education and Technology**, Nova Iorque: Springer, v. 18, n. 3, 265-274, 2009.

VERGNAUD, G. La teoria de los Campos Conceptuales. **Recherches en Didactique des Mathématiques**, [s.l.], v. 10, n. 2, 3, 133-170, 1990. Tradução de Juan D. Godino.

_____. Langage et pensée dans l'apprentissage des mathématiques. **Revue Française de Pédagogie**, Lyon, v. 79, n. 96, p. 79-86, 1991.

_____. Homomorphismes, réel-représentation et signifié-signifiant (Exemples en mathématiques). **Didaskalia**, Paris, [s.v.], n. 5, 25-34, 1994. Transcrição de Philippe Prévost.

WEIL-BARAIS, A. **L'homme cognitif**. PUF – Presses Universitaires de France, Paris, 1993.