

# O Processo de Conceitualização do Princípio de Conservação da Energia Mecânica

## The Conceptualization Process of the Principle of Conservation of Mechanical Energy

**Alexandre Campos**  
Universidade de São Paulo  
fis.campos@gmail.com

**Élio Carlos Ricardo**  
Universidade de São Paulo  
elioricardo@usp.br

### Resumo

Este trabalho apresenta uma pequena investigação acerca do processo de conceitualização do Princípio de Conservação da Energia Mecânica<sup>1</sup>. Retomando muito brevemente o interesse da área em se investigar o aprendizado conceitual, em especial das pesquisas das concepções espontâneas e no Modelo de Mudança Conceitual, seguindo de uma breve demonstração da construção conceitual abstrata na ciência – no caso a conservação de energia mecânica – apresentaremos o problema a ser tratado aqui. Com o propósito de fixarmos uma direção na tentativa de respondermos tal problema abriremos mão da Teoria dos Campos Conceituais como nosso principal referencial teórico por nos parecer apropriado no que se refere tanto aos conceitos explicitados quanto aos implícitos do sujeito em ação e como metodologia entrevistaremos dois alunos do curso de graduação em física colocando-os em situação para um problema aberto. A análise dos dados ocorrerá através de nossa inferência aos invariantes operatórios presentes nas respostas dos sujeitos.

**Palavras chave:** Aprendizagem de Conceitos, Teoria dos Campos Conceituais, Modelo de Mudança Conceitual, Concepções Espontâneas, Epistemologia, História da Ciência.

### Abstract

This paper presents a short investigation concerning the process of conceptualization of the Principle of Conservation of Mechanical Energy. Resuming very briefly the interest of the area to investigate the conceptual learning, in particular the research of misconceptions and the Conceptual Change Model, following by a brief demonstration of the abstract conceptual construct in the science - in the case the conservation of mechanical energy - we will present the problem to be dealt with here. With the purpose of we embrace a direction on a an attempt to we answer such problem we are going to use Conceptual Fields Theory as our main theoretical framework for us appropriate to seem with regard both to the implicit concepts as well as explicit of the subject-in-action, and how methodology we interviewed two graduate in physics students placing them in situation within an open problem. The data analysis will occur through our inference to operational invariants present in the responses of the pupils.

---

<sup>1</sup> Trata-se, na verdade, de um pequeno recorte da fase final da tese de doutoramento cujos resultados parecem apontar para a não linearidade do processo de apreensão dos conceitos a partir do real e a partir de outros conceitos.

**Key words:** Concepts Learning, Conceptual Fields Theory, Conceptual Change Model, Misconceptions, Epistemology, History of Science.

## Introdução

### O Modelo de Mudança Conceitual: Perspectivas e Críticas

O interesse em investigar as concepções espontâneas e sua influência na aprendizagem dos conceitos científicos nos remete à década de 1970. Trabalhos pioneiros como as teses de doutoramento de Driver (1973) e Viennot (1979) ficaram bastante conhecidos ao tratar, basicamente, da detecção de concepções alternativas. Tendo como um de seus desdobramentos a verificação da persistência dos conhecimentos espontâneos às novas aprendizagens, uma das preocupações dos pesquisadores interessados em ensino de ciências passou, então, a ser o desenvolvimento de propostas cujo principal objetivo seria o de ‘atacar’ tais concepções de modo a favorecer uma evolução do aprendizado conceitual. Inseridos neste contexto Posner *et al* publicam artigo na *Science Education* de 1982 propondo o Modelo de Mudança Conceitual cuja intenção estava centrada na possibilidade de se fazer avançar os conceitos prévios dos alunos para aqueles ditos científicos.

Se sua simplicidade e abrangência foram as razões pelas quais o Modelo fora, inicialmente, elogiado acabaram sendo apontadas como pontos frágeis num momento posterior. À partir da introdução de novos termos e metodologias na tentativa de corrigir distorções o Modelo ganhou uma aparente sobrevida já que novamente acabou sendo alvo de críticas e, pouco a pouco, foi perdendo força. Atualmente o que se apresenta são alguns pesquisadores que insistem na sua defesa e, portanto, nova reformulação (p.ex. Treagust e Duit, 2008) e outros aparentemente céticos (p. ex. Ohlsson, 2009a, 2009b) já que as estruturas epistemológicas e de articulação que balizam o Modelo permanecem praticamente as mesmas de quando foi proposto no artigo original de 1982.

A não linearidade de sua construção conceitual durante o processo de aprendizagem, por envolver muitas idas e vindas, (Strike e Posner *apud* Arruda e Villani, 1994) e a desconsideração do conhecimento físico/científico como uma estrutura conceitual abstrata (Koponen, 2010) também se situam entre as várias críticas referidas ao Modelo. Talvez a melhor contribuição que o Modelo forneceu não se encontra em suas limitações, críticas e reformulações, mas nas questões que deixou em aberto.

Uma breve reflexão sobre como o conhecimento físico é construído foi apresentado por nós em apresentação oral no **XIX de Pesquisa em Ensino de Física 2012** num trabalho mais voltado para a importância da relação entre os significantes-signos, suas articulações operacionais e as dificuldades de aprendizagem dos conceitos articulados operacionalmente nas equações físicas. Como exemplo tomemos o caso da queda livre (figura 1) no qual associamos os signos  $v_i$ ,  $z_i$ ,  $h$  e  $g$  aos seus respectivos significados *velocidade na posição i*,

$$v_1^2 = v_0^2 + 2 g h, \text{ onde } h = z_0 - z_1$$

*posição i*, *diferença de altura entre  $z_0$  e  $z_1$*  e *aceleração da gravidade* além de estabelecermos um “acordo” para um sentido através do eixo z. A partir dessa dualidade signo-significado podemos pensar numa articulação operacional de modo a associar *velocidade  $v_i$*  às respectivas *posições  $z_i$* . Tal articulação de signos-significados pode ser expressa da seguinte maneira:

Deste exemplo podemos perceber que:

- Os significados estão no domínio do real imediato ou próximo a ele.

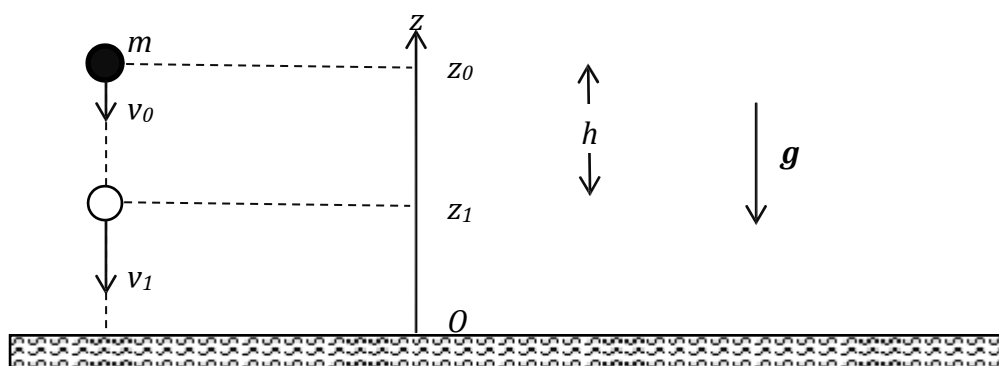


Figura 1 – Corpo em queda livre nas proximidades da superfície terrestre

Embora tais significados estejam num domínio do ‘perceptível’ e nos pareça de fácil compreensão é produto de longos períodos na História da Ciência. Agora reescrevamos a equação acima relacionando as velocidades associadas às suas respectivas alturas, considerando  $z_0 - z_1$  ao invés de  $h$ :

$$v_1^2 = v_0^2 + 2 g (z_0 - z_1) \Rightarrow v_1^2 + 2 g z_1 = v_0^2 + 2 g z_0 \Rightarrow \frac{1}{2} v_1^2 + g z_1 = \frac{1}{2} v_0^2 + g z_0$$

Escrito desta forma podemos perceber que a relação  $\frac{1}{2} v_i^2 + g z_i$  é uma constante para quaisquer velocidades associadas à respectiva altura. Tal relação nos permite considerar que:

- Há uma propriedade ‘escondida’ que associa velocidade e posição e que, devidamente articulada, possui valor constante;
- O significado desta constante não está no mesmo domínio do real imediato dos significados apresentados através da chamada *equação de Torricelli*.

O que percebemos, portanto, é que a operacionalização de signos nos permite identificar outras relações, como é o caso acima. Embora esta demonstração não exija demasiadas abstrações tal identificação nem sempre é trivial. Dito de outra forma, o que se percebe é que o conceito associado à operacionalização dos signos pode ou não ser identificado através da manifestação direta no real imediato. Por este motivo a aprendizagem isolada de conceitos em função de sua natureza não é fácil. Numa primeira reflexão podemos verificar duas características associadas à formação dos conceitos na ciência que dificultam sua aprendizagem. A primeira delas é seu distanciamento do real imediato e a segunda é sua capacidade de se relacionar com outros conceitos. Por este motivo podemos perceber a razão das dificuldades encontradas para o aprendizado de conceitos como é o caso do conceito de energia.

Em consequência desta articulação operacional realizada no domínio da ciência física retomamos a questão que guiará nosso esforço presente no corpo deste trabalho: **Quão linear é o processo de conceitualização dos conceitos da conservação da energia mecânica?** Na tentativa de apresentar uma resposta recorreremos à Teoria dos Campos Conceituais elaborada por Gérard Vergnaud e em dados coletados em duas entrevistas realizadas com alunos de graduação em física. Para as entrevistas privilegiamos o teorema de conservação de energia mecânica por dois motivos: 1) há uma vasta literatura na área tratando das dificuldades para sua aprendizagem; 2) sua construção epistemológica está apoiada em um objeto de pensamento e não sobre o real.

## Referencial teórico

### Teoria dos Campos Conceituais de G. Vergnaud

A Teoria dos Campos Conceituais, elaborada por Gérard Vergnaud (1990), “*uma teoria cognitivista cuja finalidade é a de fornecer um quadro coerente do desenvolvimento das competências complexas*” (Vergnaud, 1990) do sujeito num conjunto de situações<sup>2</sup>. Segundo ele, “*o funcionamento do sujeito-em-situação depende do estado de seus conhecimentos sejam eles implícitos ou explícitos*” (Vergnaud, 1990). Cabe explicar como Vergnaud relaciona o aprendizado a partir da mediação entre o real e o conceito. Esta relação é complexa e seu mecanismo de formação é muito diferente daqueles envolvidos na formação do conceito científico. O acesso aos conceitos científicos exige um trabalho de reflexão sobre os próprios conceitos. O fato da Teoria dos Campos Conceituais ser uma teoria cognitivista, que se interessa pelo processo de conceitualização, leva-nos a discutir o homomorfismo dos conceitos.

O conceito de homomorfismo, segundo Vergnaud (1994), é uma correspondência entre dados de chegada e dados de saída numa correspondência dos conjuntos de classes e componentes. Este é um conceito chave para que se entenda a relação entre realidade e representação conceitual e a relação entre significante e significado. Reduzindo<sup>3</sup> os termos ela nos remete à relação existente entre pensamento e linguagem.

As representações espaciais dos conceitos científicos e a relação significado-significante podem ser tratadas em termos de homomorfismos. Nessas situações as representações introduzem novas propriedades e novas e a conceitualização ocorre, assim, numa relação que vai entre o real e sua representação conceitual, entre significante e significado. Contudo, segundo Vergnaud (1994), esta conceitualização 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 operatórios<sup>4</sup>.

Outra noção central na teoria de Vergnaud é a de *Esquema*. O sentido inicial que o sujeito atribui a situação e sua conduta é sustentado pelo conjunto de esquemas iniciais que ele possui. Um esquema pode ser eficiente para todo um leque de situações podendo gerar diferentes sequências de ação, de coleta de informações e de controle de acordo com as particularidades desta ou daquela ação que o sujeito deve desenvolver na situação. “Frente a uma situação nova, vários esquemas podem ser evocados sucessiva ou simultaneamente a fim de dar-lhe sentido” (Moreira, 2002, p. 13). “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. No entanto, quando as condutas do sujeito passam a ser automatizadas no sentido de enfrentamento das situações através de algoritmos os esquemas teriam, então, transformando-se em esquemas ordinários ou hábitos.

## Metodologia

A metodologia consistiu na elaboração de nove questões<sup>5</sup> versando sobre o Princípio da Conservação da Energia Mecânica nas quais nos interessávamos em identificar os conceitos em ação e teoremas em ação de dois alunos do curso de graduação em física (sujeito

---

<sup>2</sup> Vergnaud se refere a situações como tarefas e não como situações didáticas na qual se refere Guy Brousseau. Ver Brousseau, 2008.

<sup>3</sup> O conceito de homomorfismo não se restringe apenas à relação entre pensamento e linguagem. Não nos debruçaremos em investigar a utilização do conceito de homomorfismo em áreas como a lógica e a matemática. Por ora estamos interessados apenas nos processos de apreensão da realidade durante o ensino de Física.

<sup>4</sup> Não nos deteremos aqui em detalhar o significado de invariantes operatórios. Sua relação está na invariância da operacionalização das situações pelos sujeitos. Estes podem ser tanto os conceitos quanto os teoremas utilizados pelos sujeitos na ação.

<sup>5</sup> Nos propomos a apresentar aqui apenas uma situação.

1, 32 anos – 7º semestre; sujeito 2, 24 anos – 9º semestre). Através de entrevistas na qual colocamos os sujeitos em situação pudemos explorar tanto os conhecimentos explícitos quanto aqueles implícitos de modo a construirmos um quadro coerente dos conceitos utilizados. O tempo médio para cada uma das entrevistas foi de 80 minutos e foram totalmente transcritas e as respostas escaneadas. A análise ocorreu levando-se em consideração às capacidades dos sujeitos em relacionar a situação real (**R**) com o conceito (**C**) e conceito (**C**) com conceito (**C**), ou seja, [**R-C**] e [**C-C**] respectivamente. Além disso, analisamos os momentos que os conhecimentos são explícitos {**E**} ou implícitos {**I**}.

**Situação:** Um pêndulo simples (figura 2) é solto a oscilar livremente paralelamente a uma parede. Como você explica seu movimento?

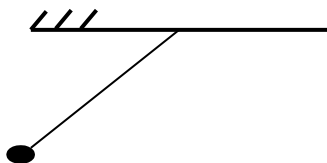


Figura 2 – Pêndulo simples

**Resposta esperada:** “Sobre o pêndulo atuam uma série de forças responsáveis tanto pelo início quanto pela manutenção de seu movimento. Considerando apenas sua interação à distância com a Terra o pêndulo passa a oscilar livremente alternando momentos em que atinge a velocidade máxima numa posição em que sua altura for mínima e vice-versa para um referencial adotado próximo à superfície terrestre; neste caso, de não haver outras interações, o pêndulo oscilará livremente mantendo sempre a mesma amplitude e frequência para qualquer tempo após ele ser solto havendo uma relação entre o quadrado da velocidade e a altura que se mantém constante qualquer que seja a posição. Caso haja outras interações, além da interação entre o pêndulo e a Terra, como, por exemplo, a resistência do ar ou o ponto de contato entre o fio e o teto a amplitude diminuirá gradualmente até que o movimento cesse enquanto que o movimento microscópico das partículas do ar em contato com o fio e do ponto de contato no teto aumentará”.

## Resultados

### Sujeito 1

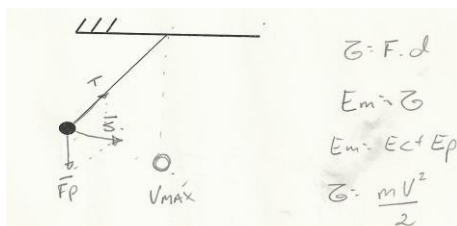


Figura 3 – Esquema de resolução do sujeito 1

### Explicações Espontâneas

- Identificação do fenômeno: este estudante associa de forma satisfatória a realidade com o movimento do pêndulo através do teorema-em-ato “a força peso faz que ele tenha essa oscilação”.

### Explicações Solicitadas

Objeto da questão	Resposta do estudante	Raciocínio inferido
Causa do movimento	A força peso faz com que ela tenha essa oscilação	- Uma força de interação à distância entre a Terra e o corpo atua no sentido de manter o movimento - O campo gravitacional terrestre atua sobre o corpo - O campo gravitacional terrestre cria uma força no corpo
Ponto cuja velocidade é máxima	Neste ponto aqui (veja seta na figura 3)	- A energia potencial foi totalmente convertida em cinética - Uma força externa (força gravitacional) atuou no corpo mudando seu estado de movimento - O corpo tende a manter o movimento a partir do ponto indicado
Qual modificação ocorre ao compararmos o movimento do corpo para baixo e para cima?	O vetor $\Delta S$	- A trajetória é alterada pela ação de uma das componentes da força peso - As modificações na direção ocorrem em infinitesimalmente
Qual é a variação de energia cinética no trecho completo?	Zero	- Num sistema isolado e sem forças dissipativas a energia mecânica é conservada
Indicação das forças num mesmo ponto na subida e na descida	Ver figura 3	- Os vetores força peso e força de tração levam em consideração a direção e sentido
Indicação do vetor $\Delta S$ num mesmo ponto na subida e na descida	Ver figura 3	- A variação da posição na subida é tangente à trajetória indicando o sentido do movimento para cima na subida e para baixo na descida

**Invariantes Operatórios [R-C]:**

{E} $\Rightarrow$  A força peso (C) faz com que ele tenha essa oscilação (R)

{I} $\Rightarrow$  O corpo tende a manter o movimento (R) a partir do ponto de velocidade máxima (C)

{I} $\Rightarrow$  A trajetória é alterada (R) através de uma das componentes da força peso (C)

**Invariantes Operatórios [C-C]:**

{I} $\Rightarrow$  O campo gravitacional terrestre [C] cria uma força [C] no corpo

{I} $\Rightarrow$  Num sistema isolado [C] e sem forças dissipativas [C] a energia mecânica é conservada [C]

{I} $\Rightarrow$  Os vetores força peso e força de tração (C) levam em consideração a direção e sentido (C)

{I} $\Rightarrow$  A variação da posição na subida é tangente à trajetória (C) indicando o sentido do movimento para cima na subida e para baixo na descida (C)

**Sujeito 2**

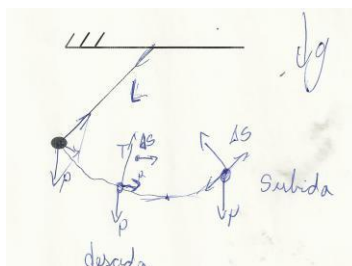


Figura 4 – Esquema de resolução do sujeito 2

**Explicações Espontâneas**

- Identificação do fenômeno: este estudante associa de forma satisfatória a realidade através do teorema-em-ato “aqui vai ter uma resultante e dependendo da velocidade inicial aqui ela

vai se configurar de um jeito”

**Explicações Solicitadas**

Objeto da questão	Resposta do estudante	Raciocínio inferido
Causa do movimento	A bolinha vai ter força peso, essa linha vai ter uma certa tração. Aqui vai ter uma resultante e dependendo da velocidade inicial ela vai se configurar de um jeito.	- Há uma força que atua no corpo cuja origem está na interação à distância dele com a Terra. - Há uma força de contato que atua no corpo cuja origem se localiza na interação entre ele e o fio. - A soma vetorial das duas forças agem para o início do movimento.
Ponto cuja velocidade é máxima	No ponto de mínimo	- A energia potencial do nível mais alto foi totalmente convertida em cinética no nível mais baixo para um referencial localizado próximo à superfície terrestre - Uma força externa (força gravitacional) atuou no corpo mudando seu estado de movimento
Qual modificação ocorre ao compararmos o movimento do corpo para baixo e para cima?	Na subida a força peso aqui, força de tração aqui, ainda tem uma força resultante pra cá, nesse caso $\Delta S$ é pra cá; na descida: P, aqui é tração, a resultante aqui e o $dS$ também vai ser pra cá	- A trajetória é alterada através da resultante das forças - As modificações na direção ocorrem infinitesimalmente
Qual é a variação de energia cinética no trecho completo?	Num caso perfeito é zero	- Num sistema isolado e sem forças dissipativas há conservação da energia mecânica
Indicação das forças num mesmo ponto na subida e na descida.	Ver figura 4	- Os vetores força peso e força de tração levam em consideração a direção e sentido - A trajetória é determinada através da soma vetorial destes vetores
Indicação do vetor $\Delta S$ num mesmo ponto na subida e na descida	Ver figura 4	- A variação da posição na subida é tangente à trajetória indicando o sentido do movimento para cima na subida e para baixo na descida

**Invariantes Operatórios [R-C]:**

{E}=> Aqui vai ter uma resultante (C) e dependendo da velocidade inicial aqui ela vai se configurar de um jeito (R)

{I}=>Há uma força (C) que atua no corpo cuja origem está na interação à distância dele com a Terra (R)

{I}=>Há uma força de contato (C) que atua no corpo cuja origem se localiza na interação entre ele e o fio (R)

{I}=>A soma vetorial (C) das duas forças agem para o início do movimento (R)

**Invariantes Operatórios [C-C]:**

{I}=> A energia potencial do nível mais alto (C) foi totalmente convertida em cinética (C) no nível mais baixo para um referencial localizado próximo à superfície terrestre

{I}=> Uma força externa (gravitacional) (C) atuou no corpo mudando seu estado de movimento (inércia) (C)

{I}=> A trajetória (C) é alterada através da resultante das forças (C)

{I}=> As modificações na direção (C) ocorrem infinitesimalmente (C)

{I}=> Num sistema isolado e sem forças dissipativas (C) há conservação da energia mecânica (C)

{I}=> Os vetores força peso e força de tração (C) levam em consideração a direção e o sentido (C)

{I} $\Rightarrow$  A variação da posição na subida é tangente à trajetória (C) indicando o sentido do movimento (C) para cima na subida e para baixo na descida

### Considerações Finais

A mobilização dos conceitos pelos sujeitos em situação para a situação proposta nos permite sugerir que ambos possuem invariantes operatórios (teoremas e conceitos-em-ação) pertinentes. No entanto o que se percebe é que as inferências para tais invariantes do sujeito 2 são mais abrangentes no que diz respeito às articulações operacionais tanto por relacionar invariantes do tipo **R-C** quanto por relacionar aqueles do tipo **C-C**. Embora ambos tenham explicitado a causa para a origem e manutenção do movimento a relação utilizada pelo sujeito 1 carece de significado e ambos somente explicitam os conceitos utilizados através da verbalização no ato da entrevista.

Outro aspecto é a existência do teorema-em-ato  $\oint \mathbf{F} \cdot d\mathbf{l} = 0^6$  presente nas estruturas cognitivas de ambos – embora sejam mais facilmente perceptível no sujeito 2. Essa inferência pode ser percebida pelo fato dos alunos concordarem que a variação da energia cinética é nula em todo o trajeto, indicarem corretamente o sentido e a direção do vetor deslocamento  $\Delta \mathbf{S}$  tanto na subida quando na descida além de também indicarem a força que atua para a manutenção do movimento e realização de trabalho.

Embora, neste momento falte dados para afirmar com maior precisão, nos parece que nenhum dos dois sujeitos mobilizam os conceitos e teoremas-em-ato de forma linear já que suas respostas foram fragmentadas no sentido da utilização dos conceitos científicos utilizando a relação entre **R-C** quando poderiam se valer da relação **C-C**. Também poderíamos ter sugerido a capacidade dos sujeitos em relacionar os conceitos com um conceito universitário do tipo **Cu**, como observado em uma das respostas dadas pelo sujeito 2 –  $d\mathbf{S}$  – tornando mais próxima a conceitualização dos conhecimentos científicos.

### Referências

- Arruda, S. M., Villani, A. (1994) Mudança Conceitual no Ensino de Ciências. Caderno Catarinense de Ensino de Física, 11(2): 88-99.
- Koponen, I. T.; Pehkonen, M.; Coherent Knowledge Structures of Physics Represented as Concept Networks in Teacher Education. Science & Education, [s.l.], [s.n.], v. 19, 259-282, 2010.
- Moreira, Marco Antônio. 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.
- Ohlsson, S. Resubsumption: A Possible Mechanism for Conceptual Change and Belief Revision. Educational Psychologist, [s.l.], v. 44, n. 1, 20-40, 2009a.
- \_\_\_\_\_. Meaning Change, Multiple Routes, and the Role of Differentiation in Conceptual Change: Alternatives to Resubsumption? Educational Psychologist, [s.l.], v.44, n.1, 64-71, 2009b.
- Treagust, D. F.; Duit, R. (2008). Conceptual Change: A Discussion of Theoretical, Methodological and Practical Challenges for Science Education. Cultural Studies of Science Education, 3 (s.n.): 297-328.
- Vergnaud, G. La teoria de los Campos Conceptuales. Recherches em Didactique des Mathématiques, [s.l.], v. 10, n. 2, 3, 133-170, 1990. Tradução de Juan D. Godino.
- \_\_\_\_\_. Homomorphismes, réel-représentation et signifié-signifiant (Exemples en mathématiques). Didaskalia, Paris, [s.v.], n. 5, 25-34, 1994. Transcrição de Philippe Prévost.

<sup>6</sup> Entenda-se  $d\mathbf{l}$  como sendo  $d\mathbf{S}$ . Veja resumo de trabalho enviado ao XIV EPEF em <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epef/xiv/sys/resumos/T0038-1.pdf> (acesso em 13 de maio de 2013)