

INTRODUZINDO O CONCEITO DE TRABALHO ATRAVÉS DE SITUAÇÕES-PROBLEMA¹

(Introducing the concept of work through problem-situations)

Edi Terezinha de Oliveira Grings [etog@liberato.com.br]
Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha/Física
Novo Hamburgo, RS, Brasil
Concesa Caballero [concesa@ubu.es]
Departamento de Física
Universidade de Burgos, España

Resumo

Este trabalho apresenta uma proposta didática que utiliza situações-problema para introduzir novos conceitos. A proposta foi aplicada numa turma de 32 alunos da Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha, em Novo Hamburgo, RS, Brasil, onde se abordou o conceito de trabalho. A turma de alunos foi dividida em duplas ou trios para que fosse garantida a participação dos mesmos nas discussões. Durante a implementação da proposta as falas foram gravadas. Este trabalho faz uma análise das discussões orais e escritas dos estudantes à luz da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud e mostra que elas parecem acionar diversos esquemas e seus componentes durante o enfrentamento das situações. Esta metodologia permitiu ainda dar um sentido inicial aos conceitos estudados. Possibilitou diagnosticar os conhecimentos prévios e também identificar dificuldades que continuam persistindo mesmo após o estudo dos conceitos. Houve evidência de um invariante operatório: “não é possível aumentar a temperatura de um corpo sem uma fonte de calor”.

Palavras-chave: ensino de Física; conceito de trabalho; situações-problema; aprendizagem significativa.

Abstract

This paper presents a proposal that uses didactic situations to introduce new concepts. The proposal has been applied to a class of 32 students from Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha, in Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul, Brazil, where the work concept was approached. The class of students was divided in pairs or trios to guarantee their participation in discussions. During the implementation of the proposal students' speeches were recorded. This paper describes an analysis of students' written and oral discussions in the light of Vergnaud's theory of conceptual fields and shows that they seem to trigger various schemas and their components when dealing with problem-situations. In addition, this methodology allowed to give an initial sense to the concepts studied. Made it possible to diagnose the prior knowledge and also to identify difficulties that still persisted even after the study of the concepts. There was evidence of an operational invariant: "it is not possible to increase the temperature of a body without a heat source".

Keywords: physics teaching; concept of work; problem-situations; meaningful learning.

Introdução

Este trabalho propõe a introdução de conceitos através de situações-problema, uma vez que Vergnaud defende que um conceito só adquire significado para o aluno através das situações. Neste estudo sobre os conceitos da Termodinâmica, foram abordados o conceito de trabalho e a Primeira

¹ Trabalho apresentado no IV Encontro Ibero-americano de Pesquisa em Ensino de Ciências, Porto Alegre, Brasil, 3 a 7 de dezembro de 2012. Selecionado para publicação na ASR pelo Comitê Editorial da revista.

Lei da Termodinâmica. Assim, ele relaciona os conceitos trabalho, calor e energia interna através da Primeira Lei da Termodinâmica. O objetivo é ampliar o significado do conceito de trabalho, apreendido anteriormente em fenômenos mecânicos, para fenômenos térmicos e relacioná-lo com outros conceitos através da lei mencionada.

Moreira (2004, p.28) visualizou na Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud um importante referencial teórico para o Ensino de Ciências. Assim, através do estudo desta teoria e de pesquisas realizadas anteriormente (Grings et al., 2006), tomou-se a decisão de utilizá-la como referencial teórico para uma proposta didática e uma pesquisa em sala de aula.

Este trabalho apresenta a proposta didática de introdução dos conteúdos através da discussão de situações problemáticas por duplas de estudantes. Acredita-se que os conceitos adquirem sentido para os estudantes quando estes são expostos a situações. O fato de os conteúdos serem introduzidos através de situações permite diagnosticar conhecimentos prévios dos estudantes que serão postos em evidência no momento da discussão. Acredita-se que, no decorrer das situações, é possível compreender as relações de filiações e rupturas entre os conhecimentos, uma vez que, enquanto os alunos resolvem as situações, têm oportunidade de desestabilizar seus conhecimentos, pois o desenvolvimento cognitivo acontece a partir do desenvolvimento de esquemas, mediante o enfrentamento de situações. Assim, o desenvolvimento cognitivo ocorre em diversas situações onde o estudante tem que ser ativo.

Diante do exposto, supõe-se que a resolução de situações, no início do desenvolvimento didático de novos conceitos, aciona os diversos fatores descritos desencadeando a construção de novos esquemas e portanto, o desenvolvimento cognitivo.

Na implementação da proposta, o confronto das duplas de estudantes com as situações foi mediado pelo professor, pois se admite que os alunos só têm condições de resolver algumas situações com a ajuda do professor e dos colegas. Ou seja, as situações devem ser propostas dentro do que Vygotsky chamou de zona de desenvolvimento proximal e sua solução deve ser mediada socialmente.

Este artigo apresenta a primeira parte de um trabalho maior que visa, através desta proposta didática, facilitar a alunos de ensino médio e técnico o domínio do Campo Conceitual da Termodinâmica.

Referencial teórico - a teoria dos campos conceituais de Vergnaud

A Teoria dos Campos Conceituais trata do desenvolvimento cognitivo (Vergnaud, 2003, p. 22). Campo Conceitual é um conjunto vasto e organizado de situações que necessita de um conjunto de esquemas, de conceitualizações e de representações simbólicas para enfrentá-las. Os conceitos só adquirem sentido em situações-problema com crescente complexidade. São as situações que constroem a referência do conceito (Grossi, 2001, p.16), isto é, são as situações que dão sentido aos conceitos. Um campo conceitual pode ser definido como um conjunto de situações, cuja apropriação exige uma variedade de conceitos, de procedimentos e de representações simbólicas. A teoria dos campos conceituais tem por finalidade propor uma estrutura que permita compreender as filiações e rupturas entre os conhecimentos (Vergnaud, 1993, p.1), tomando como premissa que a conceitualização é o núcleo do desenvolvimento cognitivo.

Um esquema mental está constituído de quatro componentes: um ou vários objetivos gerais, declinando-se em objetivos específicos e antecipações; regras de ação, de tomada de informação e de controle; invariantes operatórios: conceitos-em-ação e teoremas-em-ação; e possibilidades de inferência (Vergnaud, 2004, p.104). Esses componentes dão conta de várias propriedades do

esquema mental: a intencionalidade, o caráter gerador, o conhecimento do real, a adaptabilidade e o cálculo em situações.

Os esquemas são acionados de duas formas: quando os estudantes são expostos a classes de situações em que eles dispõem, no seu repertório de esquemas, em um dado momento de seu desenvolvimento conceitual e sob certas circunstâncias, das competências necessárias ao tratamento imediato da situação; e quando os estudantes expostos a situações não dispõem de todas as competências necessárias, o que os obriga a um tempo de reflexão e de exploração, a hesitações e tentativas frustradas, levando-os ao sucesso ou ao fracasso (Vergnaud, 1993, p.2).

Para Caballero (2003, p. 147) a Teoria dos Campos Conceituais é importante para explicar os processos de aprendizagem de conceitos, uma vez que nela o problema central da cognição é a conceitualização. A potencialidade didática da Teoria dos Campos Conceituais está no fato de explorar vínculos entre a estrutura cognitiva humana e a estrutura de conceitos e, deste modo, descrever distintos níveis de conceitualização do conceito.

Metodologia

Na introdução do conceito trabalho, no dia 18/10/2008, os alunos foram submetidos a um conjunto de cinco situações; trabalharam em 14 duplas e um trio, sendo que três duplas que se dispuseram foram gravadas. A tabela 1 mostra a distribuição das aulas durante o estudo do conceito de trabalho e da Primeira Lei da Termodinâmica.

Tabela 1: Caracterização das aulas durante o desenvolvimento do conceito Trabalho e da Primeira Lei da Termodinâmica

| Data | Tempo | Aula | Atividade |
|-------|---------|-------|--|
| 18/10 | 100 min | 1-2 | Situações sobre trabalho. Discussão com a turma. |
| 19/10 | 50 min | 3 | Discussão sobre o texto Trabalho |
| 25/10 | 50 min | 4 | Resolução de problemas |
| 26/10 | 100 min | 5-6 | Introdução da Primeira Lei da Termodinâmica |
| 01/11 | 100 min | 7-8 | Estudo do texto Primeira Lei da Termodinâmica |
| 16/11 | 50 min | 9 | Resolução de problemas |
| 22/11 | 100 min | 10-11 | Avaliação sobre trabalho e a Primeira Lei da Termodinâmica |

Apresentação e discussão dos resultados

No dia 18/10/2007, os alunos, por meio de discussão em duplas, enfrentaram cinco situações sobre trabalho. Três duplas foram gravadas, e a gravação de uma dupla foi escolhida para análise. A discussão que se mostrou mais rica no sentido de mostrar dificuldades foi escolhida para análise.

Análise da discussão oral a respeito das situações sobre trabalho

Durante a discussão dos alunos, tentamos reconhecer os componentes dos esquemas de Vergnaud (1993, p. 19), invariantes operatórios (IOP), antecipações (ANT), regras de ação (REA) e inferências (INF), bem como buscamos identificar se os estudantes, em suas discussões, acionam esquemas que dão um tratamento relativamente imediato da situação (EPR) ou esquemas que não dão conta da situação (ECO). Neste caso, acreditamos, como propõem Greca e Moreira (2004, p. 47), que os estudantes acionam modelos mentais que poderão tornar-se esquemas de assimilação.

Reconhecendo, em concordância com Vergnaud (2003, p. 58), Ausubel (1978, p. 4) e Moreira (2003, p. 152), a importância dos conhecimentos anteriores, tentamos também reconhecer, na discussão dos estudantes, noções que podem ajudar na construção de novos conhecimentos (FIL) e aquelas que podem apresentar-se como obstáculo (RUP), necessitando, neste caso, de uma ruptura. Optamos por buscar os componentes dos esquemas ou os esquemas, pois, para Vergnaud (2008, p. 28), uma situação, um objeto, um enunciado ou uma palavra têm sentido para um aluno na medida em que este consegue evocar um ou vários esquemas de pensamento, quer sejam oportunos ou não. Durante a discussão, os alunos são identificados por REN e DIO.

(O aluno DIO lê a situação 1a):

1. DIO: Discuta em dupla e responda às seguintes situações:
2. DIO: 1a) O que acontece com a temperatura das mãos quando uma pessoa esfrega uma na outra?
3. REN: Aumenta (EPR).
4. DIO: 1b) Foi necessário um corpo com maior temperatura para aumentar a temperatura das mãos?
5. REN: Não (ECO).
6. DIO: 1c) Então é possível aumentar a temperatura de um corpo sem outro corpo a temperatura mais alta?
7. REN: Não (IOP) (RUP).
9. DIO: 1d) Neste caso, o que é necessário?
10. DIO: Fricção, o atrito entre as moléculas.
11. REN: Neste caso foi necessário o movimento de fricção entre as mãos, para que houvesse transferência de calor entre elas.

Inicialmente, a aluna REN (turno 3) parece acionar um esquema que dá conta de imediato da situação (EPR), pois percebe que, quando as mãos são esfregadas uma na outra, há um aumento de temperatura. No turno 5, portanto, parece que ela aciona um modelo mental que resolve a situação, mas não a resolve no turno 7. Mesmo respondendo que não é necessário um corpo de maior temperatura para aumentar a temperatura das mãos, em seguida, ela se contradiz e diz que não é possível aumentar a temperatura de um corpo sem outro corpo de temperatura mais alta (ECO). Assim, o modelo mental acionado pela estudante não dá conta da situação e, provavelmente, em seu conhecimento está inserido um teorema-em-ato, não explícito: “só é possível aumentar a temperatura de um corpo através de outro corpo de maior temperatura”. O aluno DIO não contesta, o que significa que ele concorda com a colega. Neste caso, faz-se necessária uma ruptura com o conhecimento anterior (RUP).

(O aluno DIO lê a situação 2a):

12. DIO: 2a) Suponha que uma pessoa agite, vigorosamente, durante algum tempo, uma garrafa térmica contendo água. O que acontece com a temperatura da água?
13. REN: Vai aumentar a agitação das moléculas.
14. DIO: Mas não vai esquentar (IOP).
15. REN: Maior agitação das moléculas, maior energia interna.
16. DIO: Mantém-se a mesma temperatura (IOP).
17. REN: Tu não podes negar que aumenta a energia interna (EPR).
18. DIO: Então, responde que a temperatura aumenta um pouco (REA).
19. REN: 2b) Houve transferência de calor para a água da garrafa?
20. REN: Não.
21. REN: 2c) Que forma de energia você acha que foi transferida para a água da garrafa?
22. DIO: Energia interna.
23. REN: Não houve troca de energia, apenas aumento de energia interna (ECO).
24. REN: 2d) Neste caso, foi necessário um corpo com temperatura mais alta?
25. REN: Não.

O aluno DIO aciona um teorema-em-ato no turno 14 (IOP), confirmado por ele no turno 16 (IOP). Ele acredita que, após a agitação da água, não há aumento de temperatura. Contestado pela aluna REN, ele concorda, mas não com convicção de que a temperatura aumenta. Na verdade, esta situação desestabiliza o aluno, ou seja, é problemática para ele. Por outro lado, a aluna REN parece acionar um esquema que dá conta da situação (EPR), quando discute que o aluno DIO não pode negar que há um aumento da energia interna. No turno 18, o aluno DIO aparenta usar uma regra de ação (REA): “se a energia interna aumenta, então a temperatura aumenta”. No turno 16, a aluna REN parece usar um esquema que não dá conta da situação, ou seja, ela usa um modelo mental, que é construído e reconstruído (ECO). Ao mesmo tempo em que ela percebe que não foi necessário um corpo de temperatura mais alta para aumentar a temperatura da água da garrafa, ela acredita que não houve transferência de energia, mas não esclarece como é possível aumentar a energia interna sem transferência de energia.

(A aluna REN lê a situação 3):

26. REN: 3) É possível aumentar a temperatura de um gás sem que, necessariamente, ele se encontre com uma fonte de calor? De que forma?

25. DIO: Acho que aumentando a pressão, aumenta a temperatura (ECO).

No turno 25, ao responder a situação 3, o aluno DIO parece acionar um esquema que não dá conta da situação (ECO), pois para a temperatura aumentar sem que o gás se encontre com uma fonte de calor, ou sem que seja transferida energia para o gás, como calor, é necessário que haja uma realização de trabalho sobre o gás e uma diminuição de volume. No caso, teríamos uma compressão adiabática. E, conseqüentemente, a temperatura e a pressão aumentariam. Por outro lado, o aluno DIO, agora, sinaliza admitir a possibilidade do aumento de temperatura sem o mecanismo de transferência de calor.

(A aluna REN lê a situação 4):

26. REN: 4) Quando se infla o pneu de uma bicicleta com uma bomba, rapidamente, observa-se que esta se aquece. Por quê?

27. REN: Porque está aumentando a pressão?

28. DIO: Estão aumentando pressão e volume, então aumenta a temperatura (RUP).

Na situação 4, temos uma compressão adiabática. Assim, o volume diminui, e a pressão aumenta com a temperatura. Logo, no turno 8, é necessária uma ruptura (RUP), uma vez que há uma diminuição do volume do gás no interior da bomba. Os alunos não percebem que a situação é idêntica à anterior.

(A aluna REN lê a situação 5a):

29. REN: 5a) O que acontece com a temperatura do ar no interior de uma seringa ao se comprimir rapidamente o êmbolo?

30. DIO: Aumenta a pressão e diminui o volume, então a temperatura aumenta (REA).

31. REN: 5b) Foi transferido calor para o interior da seringa?

32. DIO: Não (EPR).

33. REN: 5c) Então, como aumentou a temperatura do ar?

34. DIO: Porque aumentamos a pressão.

35. REN: 5d) Cite, então, dois processos que permitem aumentar a temperatura de um corpo. Aumentando a pressão e diminuindo o volume (RUP).

No turno 30, o aluno DIO parece usar uma regra de ação (REA): “se aumenta a pressão e diminui o volume, então a temperatura aumenta. Na continuidade, no turno 32, parece que DIO usa um esquema que dá conta da situação (EPR), uma vez que constata, de imediato, que não houve transferência de energia como calor para o ar no interior da seringa. Parece que os estudantes

passam a perceber que é possível para um gás, água ou outro corpo, aumentar sua temperatura sem que seja necessário o mecanismo de transferência de calor. No entanto, as justificativas são incompletas ou incorretas, pois os estudantes não percebem, ainda, que é através da realização de trabalho que é possível aumentar a temperatura de um corpo sem que haja transferência de calor. Por outro lado, no turno 35, é necessária uma ruptura, pois os alunos entendem a diminuição de volume e o aumento de pressão como dois processos capazes de aumentar a temperatura de um corpo. Os alunos observaram que, no caso dos gases, diminuindo o volume e aumentando a pressão é possível aumentar a temperatura de um corpo e consideram estes processos enquanto aptos a aumentar a temperatura de um corpo, ou seja, não percebem ainda que os mecanismos capazes desse aumento são o calor e o trabalho.

Assim, é possível inferir que os alunos percebem que um corpo é capaz de receber energia sem que o processo seja calor. No entanto, falta-lhes perceber que este outro processo de transferência de energia, capaz de aumentar a temperatura de um corpo, é o trabalho realizado. Portanto, o conjunto de situações foi inicialmente problemático para os alunos, mas, à medida que foram resolvendo as situações, deram sentido a um novo conceito, ainda que sem nomeá-lo, pois perceberam que é possível aumentar a temperatura de um corpo por outro mecanismo, diferente do calor.

Análise da discussão escrita a respeito das situações sobre trabalho

Inicialmente, foi analisada a discussão oral de uma dupla de alunos a respeito de cinco situações que visavam atribuir sentido ao conceito trabalho, apresentado anteriormente. A partir de dados empíricos escritos, coletados por meio da resolução de situações, foram construídas categorias que denominamos emergentes por terem sido criadas a partir dos dados disponíveis. As respostas dos estudantes de cada situação foram categorizadas, buscando atributos comuns nas repostas para defini-las numa mesma categoria. Assim, o número de categorias, em cada situação, depende da diversidade de repostas dos estudantes.

- Situação 1: a) O que acontece com a temperatura das mãos quando uma pessoa esfrega uma na outra?
b) Foi necessário um corpo com maior temperatura para aumentar a temperatura das mãos?
c) Então, é possível aumentar a temperatura de um corpo sem um corpo a temperatura mais alta?
d) Neste caso, o que é necessário?

Respostas que dizem que a temperatura das mãos aumenta, sem ser necessário um corpo de maior temperatura (TAST). Os alunos explicam que, atritando uma mão com a outra, aumenta a temperatura e, assim, não é necessário um corpo de maior temperatura para aquecer as mãos. Exemplo: a) A temperatura aumenta devido ao atrito entre as mãos. b) Não foi necessário um corpo de maior temperatura, pois atritando uma mão com a outra obtemos um aumento de temperatura. c) Então, é possível aumentar a temperatura de um corpo sem um corpo de temperatura mais alta. d) É necessário o atrito para aumentar a energia interna do corpo (R12).

Na primeira situação resolvida, os alunos percebem que é possível aumentar a temperatura de um corpo sem o mecanismo de transferência de calor, ou seja, através do atrito entre as mãos. Os alunos não mencionam a realização de trabalho, mas percebem a transferência de energia por outro processo, diferente do calor.

- Situação 2) Suponha que uma pessoa agite, vigorosamente, durante algum tempo, uma garrafa térmica contendo água.
a) O que acontece com a temperatura da água?
b) Houve transferência de calor para a água da garrafa?

Respostas que dizem que a temperatura da água da garrafa permanece a mesma, assim, não houve transferência de calor (TMNC). Os alunos explicam que a temperatura da água da garrafa térmica permanece a mesma por estar termicamente isolada; portanto, não houve transferência de calor. Exemplo: a) A temperatura da água permanece a mesma, pois ela está termicamente isolada. b) Não houve transferência de calor para a água (R2).

Respostas que dizem que a temperatura da água da garrafa aumenta e que foi transferido calor para a água (TATC). Os alunos explicam que a temperatura da água da garrafa aumenta, mas que é necessária transferência de calor para a água da garrafa. Exemplo: a) A temperatura da água tende a aumentar. b) Sim, houve transferência de calor (R1).

Respostas que dizem que a temperatura da água da garrafa térmica vai aumentar, mas não é necessário transferência de calor para a água (TANC). Os alunos explicam que a temperatura da água se eleva devido ao atrito entre as suas moléculas, e que não há transferência de calor. Exemplo: a) A temperatura da água se eleva graças ao atrito entre suas moléculas. b) Não há transferência de calor para a água da garrafa (R9).

Na segunda situação, nem todos os alunos percebem que é possível aumentar a temperatura da água da garrafa térmica por outro mecanismo que não seja o calor. Somente os alunos da categoria TANC percebem o aumento de temperatura por outro mecanismo diferente do calor. Estes estudantes já apresentam esquemas que permitem admitir o aumento de temperatura sem que haja transferência de calor.

Situação 2: c) Que forma de energia você acha que foi transferida para a água da garrafa?
2d) Neste caso, foi necessário um corpo com temperatura mais alta?

Respostas que dizem que não houve transferência de energia, mas aumento de energia interna (NTEI). Os estudantes acreditam que a temperatura possa aumentar sem que haja transferência de energia, pois explicam que não houve transferência de energia, mas aumento de energia interna. Exemplo: a) Não houve transferência de energia, mas aumento da energia interna devido à agitação das moléculas da água (R3).

Respostas que dizem que a energia transferida era cinética ou mecânica, e que não foi necessário um corpo com temperatura mais alta (TECM). Os alunos explicam que a energia que foi transferida para a água da garrafa foi cinética ou mecânica, devido ao movimento da garrafa. Exemplo: c) A energia transferida para a água da garrafa foi a energia mecânica. d) Não foi necessário um corpo com temperatura mais alta do que a água porque a energia mecânica fez com que aumentasse a energia cinética das moléculas da água (R10).

Os alunos da categoria NTEI acreditam que a temperatura e, conseqüentemente, a energia interna possam aumentar sem transferência de energia. Como eles não sabem explicar de onde vem a energia que aumenta a temperatura, eles acreditam que não é necessária transferência de energia. Neste caso, é necessária uma ruptura na crença dos alunos. Já na categoria TECM, os alunos relacionam o aumento de temperatura com a energia mecânica, mostrando que seus esquemas já dão conta da situação.

Situação 3: a) É possível aumentar a temperatura de um gás sem que, necessariamente, ele se encontre com uma fonte de calor? b) De que forma?

Respostas que dizem que não é possível aumentar a temperatura de um gás sem que ele se encontre com uma fonte de calor (NTSC). Os alunos acreditam que só é possível aumentar a temperatura de um gás através de uma fonte de calor. Exemplo: Não tem como aumentar a temperatura de um gás sem uma fonte de calor (R7).

Respostas que dizem que é possível aumentar a temperatura de um gás aumentando a pressão e mantendo o volume constante (ATPVC). Os alunos explicam, que para aumentar a temperatura, é necessário aumentar a pressão e manter o volume constante. Exemplo: Sim, é possível. A forma é aumentando a pressão, e o volume permanecendo constante, aumentando a temperatura (R14).

Respostas que dizem que é possível aumentar a temperatura de um gás através da compressão (ATC). Os alunos explicam que através da compressão é possível aumentar a temperatura de um gás sem que necessariamente se encontre com uma fonte de calor. Exemplo: a) Sim. b) Pela compressão do gás (R2).

Respostas que dizem que é possível aumentar a temperatura de um gás sem que ele encontre com uma fonte de calor, aumentando sua pressão (ATAP). Os alunos explicam que é possível aumentar a temperatura do gás aumentando também a pressão. a) Sim, é possível aumentar a temperatura do gás. b) Aumentando sua pressão (R12).

Respostas que dizem que é possível aumentar a temperatura de um gás sem que ele encontre com uma fonte de calor, diminuindo a pressão (ATDP). Os alunos explicam que, para aumentar a temperatura, é necessário diminuir a pressão. Exemplo: a) Sim. b) É possível aumentar a temperatura do gás diminuindo sua pressão (R4).

Respostas que dizem que é possível aumentar a temperatura de um gás diminuindo o volume e aumentando a pressão (DVAP). Os alunos explicam que, diminuindo o volume e aumentando a pressão, aumenta também a temperatura. Exemplo: a) Sim. b) Diminuindo o volume do recipiente no qual o gás está contido, conseqüentemente, irá aumentar a pressão, aumentando a temperatura.

De todas as respostas à situação 3, somente os alunos da categoria DVAP dão uma resposta adequada, pois, para aumentar a temperatura de um corpo sem o mecanismo de transferência de calor, necessariamente, deverá ser através de um trabalho realizado sobre o gás, que diminuirá o seu volume e aumentará a sua pressão. Embora muitos alunos acreditem que é possível aumentar a temperatura de um gás sem o mecanismo calor, eles não dão uma explicação adequada.

Situação 4) Quando inflas o pneu de uma bicicleta com uma bomba, rapidamente, observa-se que esta se aquece. Por quê?

Respostas que dizem que a bomba se aquece devido ao aumento de pressão (BAP). Os estudantes explicam que ocorre o aquecimento devido ao aumento da pressão do gás. Exemplo: “Sim, há um aquecimento, porque aumenta a pressão do gás” (R11).

De fato, poderíamos considerar que, ao movimentar a bomba rapidamente, há uma transformação adiabática. Neste caso, não haveria transferência de energia como calor, ao que a bomba receberia energia através do trabalho realizado sobre si, havendo um aumento de temperatura com a pressão e uma diminuição de volume. No entanto, os alunos não percebem que é necessária uma diminuição de volume para que haja realização de trabalho, e uma conseqüente transferência de energia para que haja o aquecimento da bomba.

Situação 5) a) O que acontece com a temperatura do ar no interior de uma seringa ao se comprimir rapidamente o êmbolo?

b) Foi transferido calor para o interior da seringa?

c) Então, como aumentou a temperatura do ar?

Respostas que dizem que a temperatura do ar aumenta, mas é necessário calor (TAA). Os alunos explicam que a temperatura do ar no interior da seringa aumenta, mas é necessário calor; e a

temperatura aumenta devido à compressão do êmbolo. Exemplo: “a) A temperatura aumenta. b) Foi transferido calor para a seringa. c) A temperatura aumentou pela pressão, comprimindo-se; aumentou a temperatura com o atrito” (R11). Há uma contradição nas respostas dos alunos, pois, ao mesmo tempo em que dizem que a temperatura aumentou devido ao calor, dizem também que a temperatura aumentou devido à pressão.

Respostas que dizem que a temperatura aumenta sem calor, através da energia mecânica (TASC). Os estudantes explicam que a temperatura aumenta sem calor, mas através da realização da energia mecânica. Exemplo: “A temperatura do ar aumenta. b) Não é necessário calor. c) A temperatura aumenta através de uma energia mecânica” (R11). Esses alunos já compreendem que a temperatura pode aumentar, mesmo sem calor, através de um trabalho mecânico, que no caso é realizado sobre o êmbolo da seringa.

Respostas que dizem que a temperatura aumenta sem calor, através do aumento da pressão e da diminuição do volume (TPAVD). Os estudantes explicam que a temperatura do gás aumenta sem calor, através do aumento da pressão e da diminuição do volume. Exemplo: “A temperatura do gás aumenta. b) Não é necessário calor. c) A temperatura do ar aumenta porque aumentou a pressão e diminuiu o volume” (R6).

Podemos observar, através da categoria TAA, que ainda há alunos que não admitem o aumento da temperatura sem o mecanismo de transferência de calor. Por outro lado, os alunos das categorias TASC e TPAVD já percebem que isso é possível aumentar. Mesmo não comentando que o mecanismo que ocorre é o trabalho, os alunos da categoria TPAVD percebem que é através do aumento da pressão e da diminuição do volume que ocorre o aumento da temperatura do gás.

Situação 5: d) Cite, então, dois processos que permitam aumentar a temperatura de um corpo?

As respostas dos alunos não estão de acordo com a questão colocada (RNAQ). Eles explicam que poderiam diminuir o volume e aumentar a pressão. Exemplo: “Diminuindo o volume e aumentando a pressão” R(6). Os alunos respondem à situação 5d) como uma sequência das demais situações. Assim, consideram a diminuição de volume e o aumento de pressão responsáveis pelo aumento da temperatura. Na verdade, diminuindo o volume e aumentando a pressão está sendo realizado um trabalho, e esta seria uma forma de aumentar a temperatura de um corpo, mas há outro mecanismo de transferência de calor.

Embora os alunos não tenham conseguido responder adequadamente à situação 5d, durante o desenvolvimento das demais situações, foi possível perceber que alguns entendem ser possível aumentar a temperatura de um corpo sem calor. Apesar de não terem citado o conceito trabalho, alguns comentaram que é possível aumentar a temperatura de um corpo através da energia mecânica que foi realizada – por exemplo, no caso da garrafa térmica, ou através do aumento da pressão e da diminuição do volume que conduz à realização de trabalho nos processos adiabáticos. Assim, embora os alunos não mencionem a palavra trabalho, parecem começar a dar significado a ele como sendo um processo possível de transferência de energia que possibilita o aumento da temperatura de um corpo sem que haja calor. Através das situações, os estudantes dão sentido ao trabalho sem, no entanto, nomeá-lo. Doménech et al, (2003, p. 296, apud BEYNON, 1990; CHISHOLM, 1992; PRIDEAUX, 1995) dizem que o calor, como o trabalho, não é forma de energia, mas um mecanismo de transferência de energia; assim, um objeto não pode ter calor, do mesmo modo que não pode ter trabalho.

Análise dos resultados da avaliação sobre o conceito trabalho e Primeira Lei da Termodinâmica

No dia 18/10/2007, os alunos resolveram cinco situações com o objetivo de dar significado ao conceito trabalho nos processos termodinâmicos. Embora os alunos já tenham estudado tal

conceito nos processos mecânicos, eles não perceberam que tal mecanismo era o responsável pelo aumento de temperatura nas situações onde não ocorria transferência de calor. É importante salientar também que, para alguns, não é possível o aumento de temperatura sem que ocorra calor.

No dia 26/10/2007, foi introduzida a Primeira Lei da Termodinâmica, que permitiu, ao mesmo tempo, revisar os conceitos trabalho, calor e energia interna e relacionar tais conceitos através dessa lei, situação em que percebeu-se que alguns alunos ainda não entendem o calor e o trabalho como mecanismos de transferência de energia.

Terminado a resolução das situações iniciais, que visava dar sentido ao novo conceito e identificar dificuldades nos conhecimentos prévios, foi feito o estudo do conceito trabalho e da relação entre os conceitos trabalho, energia interna e calor, através de textos e resolução de problemas.

Para analisar a construção dos conceitos estudados, foi aplicada uma avaliação final, com oito situações que visavam diagnosticar se os estudantes dominavam invariantes operatórios, representações simbólicas e resolução de situações relacionadas a tais conceitos. As questões são classificadas em três aspectos: evidência de invariantes operatórios, utilização de representações e resolução de situações-problema. O que nos motivou a analisar a avaliação dos alunos segundo estes critérios é o fato de acreditarmos que a conceitualização, para o aluno, só é completa se ele der conta destes três aspectos. Como diz Vergnaud (1993, p. 9), um conceito é uma trinca constituída de três conjuntos (conjunto de situações, conjunto de invariantes, conjunto de formas de linguagem ou não que permitem representar), e estudar o desenvolvimento e o funcionamento de um conceito no decurso da aprendizagem é, necessariamente, considerar esses três aspectos. As oito questões foram recategorizadas em subcategorias que emergem das próprias questões, definidas na tabela 2. Às respostas dos alunos que estão de acordo com a conceitualização científica foi atribuído escore 3, 2 às parcialmente corretas e 2 àquelas em desacordo com a conceitualização científica.

Tabela 2 – Categorias usadas na análise da avaliação sobre energia interna e transformações gasosas

| Constituintes de um conceito | Características consideradas em cada componente | Situação |
|--|--|----------|
| A – Evidências de invariantes operatórios (teoremas-embrição e conceitos-embrição) | A1 – Evidenciam compreender que nem sempre é necessário um gás receber energia (calor) para sua temperatura aumentar. | 1 |
| | A2 – Evidenciam compreender que, quando não há variação da energia interna, a energia recebida como calor foi utilizada na realização de trabalho pelo sistema. | 2 |
| | A3 – Evidenciam compreender que, quando a expansão é rápida, não ocorre o mecanismo de troca de calor, e o trabalho realizado pelo gás consome parte da energia interna. | 3 |
| | A4 – Evidenciam compreender a relação entre pressão, volume e temperatura no estado inicial com a pressão, volume e temperatura no estado final. | 4 |
| | A5 – Evidenciam compreender a Primeira Lei da Termodinâmica, numa transformação isobárica. | 5 |
| | A6 – Evidenciam compreender o significado de um processo adiabático e o que ocorre com volume, pressão e temperatura neste processo. | 6 |
| | A7 – Evidenciam compreender o que ocorre com calor, trabalho e energia interna num ciclo. | 7 |
| | A8 – Evidenciam compreender o que acontece com o calor, trabalho e energia interna em cada fase de um ciclo. | 8 |
| B – Utilização de representação | B4 – Evidenciam compreender a representação do gráfico $p \times V$ e relacioná-la com a representação simbólica. | 4 |
| | B5 – Evidenciam compreender a representação gráfica $V \times T$ e retiram dados do gráfico. | 5 |

| | | |
|----------------------------|---|---|
| | B6 – Representam adequadamente a relação entre trabalho e energia interna na situação apresentada. | 6 |
| | B7 – Evidenciam compreender a representação do trabalho num ciclo (diagrama pxV). | 7 |
| | B8 – Evidenciam compreender partes da representação de um ciclo num diagrama pxV, relacionando trabalho, calor e energia interna. | 8 |
| C – Resolução de situações | C3 – Resolvem a situação numa transformação adiabática, determinando a energia interna e percebendo que ela diminui, diminuindo também sua temperatura. | 3 |
| | C4 – Resolvem a situação determinando o volume final e o trabalho realizado. | 4 |
| | C5 – Resolvem a situação determinando a pressão, o calor, o trabalho e a variação da energia interna. | 5 |
| | C6 – Resolvem adequadamente o problema, percebendo que não há troca de calor e determinando a variação da energia interna. | 6 |
| | C7 – Resolvem a situação determinando o calor, o trabalho e a variação da energia interna no ciclo. | 7 |
| | C8 – Resolvem a situação determinando o trabalho, o calor e a energia interna em partes de um ciclo. | 8 |

A análise de consistência interna mostrada na tabela 3 foi obtida através de um tratamento estatístico obtido com o uso da planilha Excel.

Tabela 3 – Resultado da análise de consistência interna

| Pontuação total | Média | Desvio padrão | Coefficiente α de Crombach |
|-----------------|-------|---------------|-----------------------------------|
| 57 | 37,8 | 5,7 | 0,71 |

A correlação entre cada categoria – evidência de invariantes operatórios, utilização de representações e resolução de situações e a pontuação total – foi obtida através do coeficiente de Pearson e é apresentada na tabela 4.

Tabela 4 – Coeficiente de correlação de Pearson

| Categoria | Evidências de invariantes operatórios | Utilização de representação | Resolução de situações |
|-------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Coefficiente de Pearson | 0,82 | 0,87 | 0,89 |

O desempenho médio em cada categoria é mostrado na tabela 5.

Tabela 5 – Desempenho da turma em cada categoria

| A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | A8 | B4 | B5 | B6 | B7 | B8 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0,62 | 0,83 | 0,40 | 0,95 | 0,70 | 0,53 | 0,51 | 0,60 | 0,93 | 0,98 | 0,68 | 0,74 | 0,57 | 0,34 | 0,76 | 0,78 | 0,68 | 0,45 | 0,55 |

A tabela 6 mostra o desempenho médio após o estudo do conceito trabalho e da Primeira Lei da Termodinâmica.

Tabela 6 – Desempenho após o estudo do conceito trabalho e da Primeira Lei da Termodinâmica.

| Critério | Desempenho inicial | Desempenho após o estudo do conceito de trabalho e da Primeira Lei da Termodinâmica |
|--|--------------------|---|
| Total | 0,29 | 0,60 |
| Evidências de invariantes operatórios (teoremas-em-ação e conceitos-em-ação) | 0,31 | 0,64 |
| Utilização de representação | 0,29 | 0,78 |
| Resolução de situações | 0,26 | 0,59 |

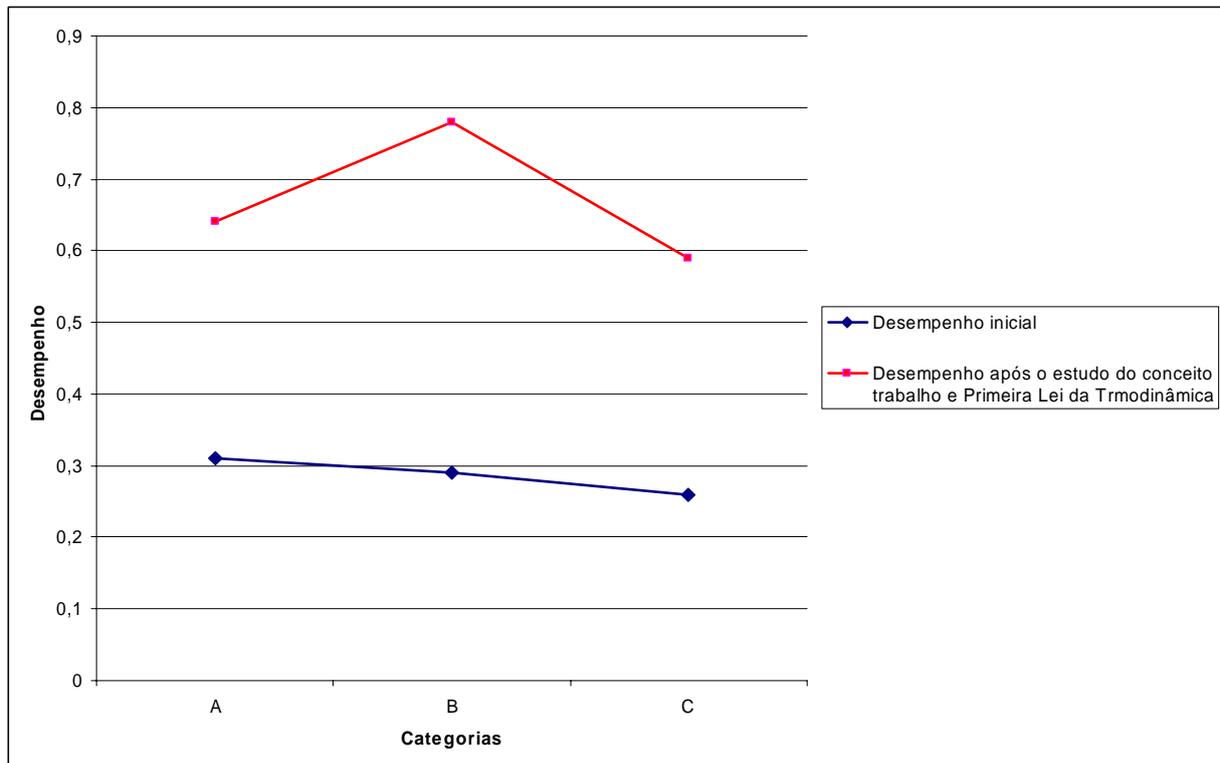
Em relação ao desempenho inicial, houve uma progressividade na trajetória dos alunos na categoria A (evidências de invariantes operatórios), embora o desempenho tenha sido de 0,6. Tanto a categoria A3 como a categoria A6 evidenciam que os estudantes ainda apresentam dificuldades com os processos adiabáticos; isto implica em processos onde não há o mecanismo de transferência de calor, e o aumento da energia interna e da temperatura estariam relacionados à realização de trabalho sobre o sistema, ou a diminuição da energia interna e da temperatura seriam consequência da realização do trabalho pelo sistema. Esta dificuldade dos alunos em relacionar o aumento de temperatura se dá apenas em situações em que ocorre o mecanismo de transferência de calor.

A categoria A1 mostra um desempenho de somente 0,61, evidenciando também que, para muitos alunos, não é evidente que um gás não necessite receber energia (calor) para sua temperatura aumentar. Como salienta Vergnaud (2005, p. 89), para quem ensina, já é evidente um determinado número de coisas, e salienta que é através das atividades e das situações que a evidência muda de campo. Para os estudantes, não é evidente que um gás possa aumentar a temperatura sem calor, é necessário que enfrentem mais situações para que isto se evidencie também para eles.

A categoria A7 mostra um desenvolvimento de somente 0,51, indicando que, para os alunos, não está claro que numa transformação cíclica, como o estado inicial é igual ao final, não há variação de energia interna.

A categoria em que os alunos obtiveram melhor desempenho foi a B, utilização de representação, indicando que os alunos conseguem identificar as grandezas físicas através das representações gráficas e compreender as representações simbólicas. A categoria B8 indica dificuldades em relacionar os conceitos de trabalho e energia interna em partes de uma representação cíclica, uma vez que, provavelmente, os alunos não analisam o tipo de transformação que ocorre em cada parte do ciclo, o que permitiria determinar o trabalho e verificar se há aumento ou diminuição da energia interna.

A categoria em que os alunos obtiveram o pior desempenho foi na resolução de situações (C), quando houve evolução na aprendizagem dos alunos, mas o desempenho foi baixo, principalmente na categoria C3. Isso mostra que nem todos os estudantes resolvem situações que envolvam transformações adiabáticas, logo, não percebem que, quando o sistema realiza trabalho, a energia interna diminui.



Conclusão

A metodologia usada que introduz os novos conceitos através da resolução de situações tem permitido dar um sentido inicial aos conceitos estudados. Tem possibilitado diagnosticar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre os conceitos estudados e também identificar dificuldades que continuam persistindo mesmo após o estudo dos conceitos, como, por exemplo, a persistência em acreditar que um corpo pode possuir calor ou trabalho.

No estudo do conceito trabalho e da Primeira Lei da Termodinâmica, há evidência de um invariante operatório: “não é possível aumentar a temperatura de um corpo sem uma fonte de calor”. Tal invariante manifesta-se implicitamente nas transformações adiabáticas, impedindo que muitos alunos resolvam situações que envolvam tais transformações, ancorado num teorema-em-ato cientificamente falso, mas que os alunos acreditam ser verdadeiro. Também poderíamos citar as transformações isotérmicas, que, mesmo recebendo energia como calor, ainda assim sua temperatura se mantém constante. Para os alunos, isto também é contra-intuitivo.

Entendem que, quando não há variação de energia interna (variação de temperatura), a energia recebida ou cedida como calor é utilizada na realização de trabalho pelo sistema ou sobre o sistema. Evidenciam compreender a relação entre pressão, volume e temperatura numa transformação, além das relações entre calor, trabalho e variação da energia interna numa transformação isobárica. Interpretam, adequadamente, os gráficos $p \times V$, deles retirando dados, percebendo as transformações cíclicas, identificando fases de um ciclo e relacionando com o trabalho, calor e energia interna. Resolvem situações envolvendo o cálculo da variação do volume e trabalho; outras a partir do cálculo da pressão envolvendo o cálculo do trabalho, energia interna e trabalho; e, ainda, situações envolvendo transformações isotérmicas e determinando a variação da energia interna.

Por outro lado, os alunos têm dificuldade em entender que, mesmo que o sistema não receba ou ceda calor, há variação de energia interna e de temperatura do sistema através de energia recebida com realização de trabalho pelo sistema ou sobre o sistema. Também apresentam

dificuldades em compreender o que acontece com o trabalho, calor e variação de energia interna num ciclo e em cada uma de suas fases; além das dificuldades diante de variações de pressão, volume e temperatura num processo adiabático e para resolver situações envolvendo transformações adiabáticas. Apresentam dificuldades, ainda, para resolver situações que envolvam transformações cíclicas ou partes de um ciclo.

Referências

- Buchweitz, B., Axt, R., *Física 1*. Porto Alegre: Sagra-D.C. Luzzatto (1996).
- Caballero, M.C., La progresividad del aprendizaje significativo de conceptos. Textos de apoio do programa internacional de doutorado em ensino de ciências da Universidade de Burgos/UFRGS. *Actas del PIDECE*, v.5, p.137-154 (2003).
- Costa, S.S.C., Moreira, M.A., Knowledge-in-action: an example with rigid body motion. *Research in Science & Technological Education*. v.23, n.1, p.99-122 (2005).
- Escudero, C., Moreira, M.A., Caballero, M. C., Teoremas-en-acción y conceptos-en-acción en clases de física introductoria en secundaria. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v.2, n.3 (2003).
- Escudero, C., Moreira, M.A., Resolución de problemas de cinemática en nivel medio: estudio de algunas representaciones. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. v.2, n.3, p. 84-96 (2002).
- Ferracioli, L., Castro, R., Segunda lei da Termodinâmica: um estudo de seu entendimento por professores do Ensino Médio In: *VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física*. Águas de Lindóia. (2002).
- Franchi, A., Considerações sobre a teoria dos campos conceituais. In Alcântara Machado, S.D. et al. (1999). *Educação matemática: uma introdução*. São Paulo. EDUC, p.155-195 1999.
- Greca, I., Moreira, M.A., Além da detecção de modelos mentais dos estudantes: uma proposta representacional integradora. In: *A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a investigação nesta área*. 2004. Porto Alegre. Instituto de Física. p.33-57 (2004).
- Hewitt, P.G., *Física Conceitual*. 9 ed. Porto Alegre: Bookman (2002).
- Llancaqueo, A., Caballero, M.C., Moreira, M.A., El aprendizaje del concepto de campo en Física: una investigación exploratoria a luz de la teoría de Vergnaud. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.25, n. 4, p. 399-417 (2003).
- Lopes, J.B., Desarrollar conceptos de Física a través del trabajo experimental: evaluación de auxiliares didácticos. *Enseñanza de las Ciencias*, v.20. n.1, p.115-132 (2002).
- Máximo, A. e Alvarenga, B., *Curso de Física 2*. 2 ed. São Paulo: Editora Scipione (1998).
- Moreira, M. A., *Aprendizagem significativa*. Brasília: Editora da UnB. (1999).
- Moreira, M.A., A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. In: *A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a investigação nesta área*. Porto Alegre. Instituto de Física da UFRGS. p.7-32 (2004).
- Ostermann, F. e Moreira, M. A., *A Física na Formação de Professores do Ensino Fundamental*. Porto Alegre: Editora da Universidade (1999).

- Palmero, M.L.R. e Moreira, M.A., La Teoría de los Campos Conceptuales de Gérard Vergnaud. In: Moreira, M.A. *La Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud, la enseñanza de las ciencias y la investigación en el área*. Porto Alegre: Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2004).
- Silveira, F.L. e Moreira, M.A., Validación de un test para verificar si el alumno posee concepciones científicas sobre calor, temperatura y energía interna. *Enseñanza de las Ciencias*. v.14, n.1, p.75-86 (1996).
- Silveira, F.L., Validação de testes de lápis e papel. In. *II Escola Latino-Americana sobre Pesquisa em Ensino de Física*. Canela, Brasil (1993).
- Sousa, C.M.S.G. e Fávero, M.H., Análise de uma situação de resolução de problema de Física, em situação de interlocução entre um especialista e um novato, à luz da teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud. In: *A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a investigação nesta área*. Porto Alegre, p.79-81 (2004).
- Stipcich, M.S., Moreira, M.A. e Caballero, C., Una interpretación de las opiniones de ingresantes a la universidad sobre la noción de interacción. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*. v.3, n.1 (2004).
- Vergnaud, G. et al., Epistemology and psychology of mathematics education. In Nesher, P. & Kilpatrick, J. (Eds.) *Mathematics and cognition: A research synthesis by International Group for the Psychology of Mathematics Education*. Cambridge: Cambridge University Press (1990).
- Vergnaud, G., A gênese dos campos conceituais. In: Grossi, E. P. *Por que ainda há quem não aprende?* 2.ed. Petrópolis: Editora Vozes. p.21-60 (2003).
- Vergnaud, G., Algunas ideas fundamentales de Piaget en torno de la didáctica. *Perspectivas*. v.26, n.10, p.195-207 (1996).
- Vergnaud, G., Teoria dos campos conceituais. In Nasser, L. (Ed.) *Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro*, p. 1-26 (1993).