

Avanços e retrocessos dos alunos no campo conceitual da Termodinâmica

Edi Terezinha de Oliveira Grings¹, Concesa Caballero² e Marco Antonio Moreira³

¹Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha, Novo Hamburgo, RS, Brasil. E-mail: editog@terra.com.br

²Departamento de Física. Faculdade de Ciências, UBU, Burgos, Espanha. E-mail: concesa@ubu.es

³Instituto de Física da UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: moreira@if.ufrgs.br.

Resumo: Esta pesquisa faz parte de um projeto mais amplo e tem como objetivo analisar avanços e retrocessos, e identificar as dificuldades e os possíveis invariantes operatórios apresentados por alunos do ensino médio e técnico, na aprendizagem de conceitos da Termodinâmica. A partir de um questionário a entrevista foi conduzida no sentido de os alunos responderem inicialmente às questões por escrito, e em seguida explicarem as suas respostas. Foram entrevistados quatro estudantes dos cursos de Eletrotécnica, Mecânica, Eletrônica e Química da Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha em Novo Hamburgo, RS, Brasil. Este trabalho fundamenta-se na teoria dos campos conceituais de Vergnaud. Para Vergnaud, o domínio de um campo conceitual leva muito tempo, com avanços e retrocessos. Para ele, o conhecimento implícito tem papel fundamental no domínio de situações e só através da explicitação desse conhecimento é que se pode ajudar o aluno a avançar num campo conceitual. Este trabalho mostrou como é tortuoso o caminho para o domínio de um campo conceitual. Ele não é linear, possui avanços e retrocessos, filiações e rupturas. Obteve-se também a evidência dos seguintes possíveis invariantes operatórios: "ocorre transferência de calor somente quando os corpos estão encostados" e "é sempre necessário uma fonte de calor para aumentar a temperatura de um corpo".

Palavras-chave: Termodinâmica, invariantes operatórios, campo conceitual.

Title: Students' advances and regressions in the conceptual field of Thermodynamics.

Abstract: This study which is part of a larger study has the objective of analyzing progressions, regressions, and difficulties, as well as operational invariants, presented by students of a technical secondary school in the study of Thermodynamics. Initially, students answered a questionnaire in which they had to explain their answers. Then, four students from four different technical courses were interviewed. The study was conducted under the framework of Vergnaud's conceptual fields Theory. According to this author students domain of a conceptual field is a long process, with advances and regressions. For him, the implicit knowledge is very important when students are dealing with problem-situations and it is only by making

explicit this knowledge that the teacher may help them in mastering these situations and advancing in the corresponding conceptual field. The study has shown that, indeed, student's trajectory in a conceptual field is non-linear with progressions, regressions, continuities and ruptures. In addition, evidence was obtained suggesting that the following possible operational invariants were held by the students: "heat transfer occurs only when bodies are in direct contact", "to increase the temperature of a body a heat source is always necessary".

Keywords: Thermodynamics, operational invariants, conceptual field.

Introdução

Esta pesquisa faz parte de um projeto mais amplo, cuja finalidade é descrever e analisar as dificuldades, os avanços e os retrocessos apresentados por alunos do ensino médio e técnico na aprendizagem de conceitos da Termodinâmica (calor, temperatura, trabalho, energia interna e entropia). Dois trabalhos nessa linha já foram realizados pelos autores: no primeiro (Grings, Caballero e Moreira, 2006a), foram interpretados os significados atribuídos pelos estudantes aos conceitos da Termodinâmica; no segundo (Grings, Caballero e Moreira, 2006b), foram identificados o que chamamos de possíveis indicadores de invariantes operatórios relativos a tais conceitos. Este novo trabalho está sendo realizado, por julgar-se insuficiente as pesquisas anteriores para avaliar as dificuldades constituídas de invariantes operatórios, uma vez que tais invariantes são conhecimentos largamente implícitos inseridos nos esquemas de assimilação dos alunos. Os trabalhos anteriores foram conduzidos através da exposição dos estudantes a situações a respeito dos conceitos da Termodinâmica.

Neste trabalho, inicialmente foi elaborado um instrumento utilizado em entrevistas, as quais foram conduzidas no sentido de os alunos responderem inicialmente às questões por escrito, e em seguida explicarem as suas respostas. Foram entrevistados quatro estudantes dos cursos de Eletrotécnica, Mecânica, Eletrônica e Química, respectivamente.

O objetivo deste trabalho é analisar como os estudantes progredem no campo conceitual da Termodinâmica e verificar se os indicadores de invariantes operatórios (conceitos-em-ação e teoremas-em-ação) anteriormente identificados aparecem novamente.

A exposição dos estudantes a distintas situações e a explicitação de seu conteúdo cognitivo permitem analisar o seu desenvolvimento no campo conceitual da Termodinâmica, identificar dificuldades e inferir invariantes operatórios implícitos que podem atuar como obstáculo à aprendizagem de conceitos. Ou seja, os significados dos conceitos de temperatura, calor, energia interna, trabalho e entropia, implícitos na estrutura cognitiva dos estudantes, quando explicitados, podem apresentar invariantes operatórios que podem estar de acordo com os significados aceitos pela comunidade científica ou não. Identificando invariantes operatórios que podem estar servindo de obstáculo à aprendizagem é possível levar os estudantes a um maior progresso dentro do campo conceitual da Termodinâmica. Assim, a explicitação do conteúdo cognitivo dos estudantes (invariantes operatórios)

potencializa o crescimento de tais alunos no campo conceitual da Termodinâmica.

Na teoria dos campos conceituais de Vergnaud, de origem piagetiana, quando um sujeito enfrenta uma nova situação e busca na sua estrutura cognitiva um esquema que possa dar conta desta situação, se tal esquema não for eficiente, o sujeito muda de esquema, reformula o esquema, ou constrói um novo esquema alterando dessa forma o conteúdo da sua estrutura cognitiva, quando ocorre a acomodação, a reequilibração majorante. Assim, os estudantes vão progredindo num campo conceitual, com o desenvolvimento de seus esquemas e conseqüentemente de seu conteúdo cognitivo. O avanço num campo conceitual, para Vergnaud, ocorre através da construção ou reconstrução de esquemas. Ele diz (2003, p.38): *a revolução didática consiste em propor situações que possibilitem o desenvolvimento de esquemas*. O desenvolvimento cognitivo ocorre quando há uma interação entre o conhecimento ou esquemas já existentes na estrutura cognitiva com os novos conhecimentos. No entanto, o desenvolvimento num campo conceitual não é linear. Vergnaud (2003, p. 58) ressalta que *filiações, continuidades e rupturas num processo de desenvolvimento são aspectos extremamente importantes; e são importantes não só nas competências cognitivas e abstratas, como nas gestuais*.

Dessa forma, o conhecimento já existente é fundamental no desenvolvimento cognitivo, assim como assinala Ausubel (apud Moreira e Ostermann, 1999, p.45), *o fator mais importante que influencia na aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe*. Corroborando com o que diz Ausubel, Vergnaud (2003, p.58) fala que *quando aprendemos alguma coisa nova, temos de nos apoiar em conhecimentos anteriores*. Por isso, é fundamental explicitar o conhecimento existente e identificar dificuldades que estão inseridas nos conhecimentos prévios, para que o estudante possa progredir num campo conceitual.

Para Vergnaud o fator mais importante para o desenvolvimento cognitivo é a conceitualização. Para ele, os conceitos são constituídos por um conjunto de situações relacionadas a invariantes operatórios cujas propriedades podem ser expressas por diferentes representações simbólicas (Caballero, 2003, p. 148). *Vergnaud (2003, p.53) ressalta que a duração da aprendizagem é necessariamente longa. Ele afirma que essa idéia não se restringe a Piaget ou a Vygotsky. Outros estudiosos acham que aprender, desenvolver competências, é demorado*.

A conceitualização está sempre presente, em toda a atividade explícita ou implícita; consciente ou inconsciente. A análise da conceitualização implícita é um problema fundamental. É imprescindível olhar como a atividade se realiza em cada etapa e mapear as conceitualizações implícitas. As inferências estão sempre presentes, mesmo em atividades habituais. O problema é que não podemos ler as inferências no cérebro, nós só podemos ler inferências na atividade (Vergnaud, 2005, p. 100). Por isso, é necessário expor os estudantes a distintas situações para que se possa inferir a respeito do seu conteúdo cognitivo (seus invariantes operatórios).

Confrontar os estudantes com situações diante das quais eles têm que ser ativos permite a explicitação do seu conteúdo cognitivo, permite

negociar seus significados levando a superar dificuldades e avançar num campo conceitual. Por isso, é importante analisar o progresso dos estudantes em um campo conceitual e identificar invariantes operatórios que podem influir nesse progresso apresentando-se como obstáculo epistemológico.

Fundamentação teórica

A Teoria dos Campos Conceituais

A teoria dos campos conceituais de Vergnaud considera a conceitualização como núcleo do desenvolvimento cognitivo. Para ele, o conhecimento está organizado em campos conceituais que são conjuntos informais e heterogêneos de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento. Por sua vez, conceitos são definidos por um conjunto de situações que lhe dão sentido, um conjunto de invariantes operatórios (teoremas e conceitos-em-ação), que lhe dão significado e por um conjunto de representações simbólicas que constituem seu significante. Os invariantes operatórios são os conhecimentos contidos nos esquemas, normalmente implícitos e o sujeito tem dificuldade em explicitá-los. Um conceito se torna significativo através de uma variedade de situações, mas seu sentido não está nas situações em si mesmas. (Moreira, 2004, p. 17 e 18).

Os campos conceituais são, sobretudo, conjuntos de situações cujo domínio requer, por sua vez, o domínio de vários conceitos, procedimentos e representações de naturezas diferentes. Precisamente, são os esquemas, ou seja, as ações e sua organização, evocados pelo sujeito por uma situação ou por um significante que constituem o sentido dessa situação ou deste significante para este sujeito (Greca e Moreira, 2003, p. 45).

Outra importante implicação da teoria dos campos conceituais é a questão do conhecimento implícito e do conhecimento explícito. A maior parte de nossa atividade física e mental é constituída de esquemas e estes têm como componentes essenciais os invariantes operatórios (conceitos e teoremas-em-ação) que constituem os conhecimentos contidos nos esquemas e que, como foi dito, são largamente implícitos, ou seja, a maior parte do conhecimento contido nos esquemas é implícita. As pessoas, em geral, não são capazes de explicitar, explicar ou expressar em linguagem natural seus teoremas-em-ação, ainda que sejam capazes de resolver certas tarefas (situações) envolvendo tais teoremas. As pessoas agem com o auxílio de invariantes operatórios sem serem capazes de expressá-los. A análise cognitiva dessas ações muitas vezes revela a existência de potentes teoremas e conceitos-em-ação implícitos. Esse conhecimento, no entanto, não pode ser chamado de conceitual, pois o conhecimento conceitual é necessariamente explícito. Portanto, palavras e outros símbolos, sentenças e outras expressões simbólicas, são instrumentos cognitivos indispensáveis para a transformação de invariantes operatórios, implícitos, em conceitos e teoremas científicos, explícitos (Vergnaud apud Moreira, 2004, p. 23).

O aluno continua usando conhecimentos implícitos, ao mesmo tempo, que vai se apropriando dos conhecimentos explícitos. A perspectiva dos campos conceituais é progressiva. O campo conceitual vai sendo

progressivamente dominado pelo aprendiz; o conhecimento implícito vai evoluindo, progressivamente, para o explícito. Isso pode levar muito tempo, muitos anos talvez, mas o ensino e, em última análise, o professor tem um papel essencial nesse processo. É só através do ensino que o aprendiz passa a dominar campos conceituais complexos e formalizados como os científicos (Moreira, 1999, p. 24).

Assim, para este teórico, o conhecimento está organizado em campos conceituais. Campos conceituais podem ser interpretados como grandes conjuntos de situações, cujo domínio requer o conhecimento de vários conceitos. Por sua vez, conceitos são constituídos por conjuntos de situações, conjuntos de invariantes operatórios e conjuntos de representações simbólicas. Um conceito só tem sentido através de uma variedade de situações. Os esquemas ou as ações e sua organização quando acionados pelo sujeito é que dão sentido a uma situação para este indivíduo. Há, então, uma relação dialética entre situações e ações. No entanto, muitos dos conceitos-em-ação e teoremas-em-ação contidos nos invariantes operatórios (na ação do sujeito) permanecem implícitos na estrutura cognitiva do aprendiz e o objetivo do ensino é torná-los explícitos, pois só assim esses conceitos, serão verdadeiros conceitos científicos.

Metodologia e análise das entrevistas

Em um trabalho anterior (Grings, Caballero e Moreira, 2006b), foram identificados o que chamamos de possíveis indicadores de invariantes operatórios, e por julgar insuficiente a pesquisa realizada para poder avaliá-los adequadamente, uma vez que tais invariantes são conhecimentos implícitos constituintes dos esquemas, foram novamente pesquisados através de entrevistas. O trabalho anterior foi conduzido através de situações a respeito dos conceitos da Termodinâmica que foram aplicadas a estudantes do ensino médio e técnico da Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha. Como resultados obtiveram-se os seguintes indicadores de invariantes operatórios:

- a temperatura é a variação de um estado quente para um estado frio;
- a temperatura é a variação do calor;
- na realização de trabalho há liberação de calor;
- o calor é igual à energia interna, que é igual ao trabalho;
- a temperatura é diretamente proporcional ao volume;
- a diferença de temperatura leva à diminuição da temperatura do bloco de maior temperatura e ao aumento da do bloco de menor temperatura;
- o corpo de menor temperatura recebe calor até os corpos atingirem o equilíbrio térmico;
- ocorre transferência de calor, quando os corpos estão encostados;
- a energia interna é baixa quando a temperatura é baixa, ou a energia interna é nula num corpo a 0°C;
- em corpos de mesma temperatura, a energia interna é igual, independente do estado físico;
- quando a energia interna aumenta o trabalho é positivo; ou quando a energia interna diminui o trabalho é negativo;
- é necessário uma fonte de calor para aumentar a temperatura de um corpo;

No referido trabalho, 99 estudantes dos cursos de Química, Eletrotécnica, Mecânica e Eletrônica foram submetidos a um questionário, de onde foram inferidos os indicadores de invariantes operatórios listados anteriormente, dos quais a maioria ainda está muito distante do conhecimento aceito pela comunidade científica.

Para este trabalho foi elaborado um novo instrumento e utilizado para entrevistar quatro alunos, dos cursos de Eletrotécnica, Química, Eletrônica e Mecânica, escolhidos aleatoriamente, mas que já haviam estudado Termodinâmica no ano anterior. Os estudantes foram submetidos à entrevista do tipo clínica.

O instrumento foi organizado com três conjuntos de questões (cada uma com quatro itens) com o objetivo de analisar os seguintes indicadores de invariantes operatórios. Primeiro: *ocorre transferência de calor quando os corpos estão encostados*. Segundo: *quando a energia interna aumenta o trabalho será positivo; ou quando a energia interna diminui o trabalho será negativo*. Terceiro: *é necessária uma fonte de calor para aumentar a temperatura de um corpo*. Vergnaud (1993, p. 5) mesmo explica a importância da identificação de invariantes, pois para ele *o reconhecimento de invariantes é a chave da generalização do esquema*. Este instrumento também tem o objetivo de analisar como evolui a aprendizagem no campo conceitual da Termodinâmica.

Inicialmente o conjunto de questões foi disponibilizado a cada aluno para que respondesse às questões por escrito e, após, foi solicitado que o aluno explicasse oralmente suas respostas com a interferência mínima da pesquisadora.

Primeiro conjunto de questões:

1.1) *Ocorre transferência de energia (calor) na seguinte situação (entre corpos à temperatura de -10°C e à temperatura de 20°C)? Explique:*



Figura 1.- Corpos à temperatura de -10°C e à temperatura de 20°C .

1.2) *Ocorre transferência de energia (calor) na seguinte situação (entre corpos à temperatura de -40°C e à temperatura de -10°C)? Explique:*



Figura 2.- Corpos à temperatura de -40°C e à temperatura de -10°C .

1.3) *Ocorre transferência de energia (calor) na seguinte situação (entre corpos à temperatura de 10°C e à temperatura de 40°C)? Explique:*



Figura 3.- Corpos à temperatura de 10°C e à temperatura de 40°C .

1.4) Ocorre transferência de energia (calor) na seguinte situação (entre corpos à temperatura de -20°C e à temperatura de 30°C)? Explique:

| | |
|-----------------------|----------------------|
| -20°C | 30°C |
|-----------------------|----------------------|

Figura 4.- Corpos à temperatura de -20°C e à temperatura de 30°C .

Inicialmente mostram-se três situações de corpos a temperaturas diferentes a uma determinada distância um do outro, e a última situação onde os corpos com temperaturas diferentes estão encostados:

O aluno A, 18 anos, sexo masculino, 4^a série, Curso Eletrotécnica responde que não há transferência de energia (calor) entre os corpos nas três primeiras situações, pois não há superfície de contato entre eles. No último há transferência de energia (calor) até ocorrer o equilíbrio térmico. Este aluno explica através da entrevista:

Na questão 1.1, está perguntando se ocorre transferência de energia (calor) entre os corpos e como o desenho mostra, eles não estão em contato então não há transferência de energia (calor) entre os corpos. Há com o meio, mas como a pergunta é entre os corpos, eu coloquei que não há. A mesma coisa na 1.2 e a mesma coisa na 1.3. Não têm transferência de energia (calor) na 1.1, 1.2 e 1.3, porque eles não estão em contato e pergunta se há transferência de energia (calor). Na 1.4 há transferência de energia (calor), eles estão com temperaturas diferentes e eles têm uma superfície de contato em comum e, por isso, haverá transferência de energia (calor) até o momento em que eles entrarem em equilíbrio térmico.

O aluno acredita que o fato de os corpos não estarem encostados impede a transferência de energia (calor) entre eles. Há regularidade nas suas respostas, pois afirma que nos itens 1.1, 1.2 e 1.3, onde os corpos não estão encostados não há transferência de energia (calor), mas no item 1.4, onde os corpos estão encostados, ele acredita, por essa razão, que há transferência de energia (calor). Para Vergnaud (1993, p.18) *podem-se delimitar impressionantes regularidades entre crianças, no modo pelo qual abordam e tratam uma mesma situação nas concepções primitivas que fazem dos objetos, suas propriedades e relações, e nas etapas por que passam. As regularidades envolvem distribuições de procedimentos e não são univocamente determinadas. Seu conjunto forma um todo coerente para um dado campo conceitual.* Nas respostas do estudante, observam-se regularidades coerentes para o aluno. Na sua lógica, o aluno desconsidera, por exemplo, as trocas de energia (calor) por radiação. Assim, para ele, é necessário que os corpos estejam encostados para que ocorra transferência de energia (calor).

O aluno B, 19 anos, sexo masculino, 4^a série, Curso de Mecânica diz que há transferência de energia (calor) entre os corpos nas quatro situações e explica.

Há transferência de energia (calor) entre os corpos, nas quatro situações, pois existe diferença de temperatura entre os corpos.

O aluno B dá uma explicação sucinta, mas de acordo com a conceitualização aceita pela comunidade científica, qual seja a de calor

como energia em trânsito entre um sistema e sua vizinhança, devido exclusivamente a uma diferença de temperatura entre os dois (Moreira, 1998).

A aluna C, 21 anos, sexo feminino, 4ª série, Curso de Eletrônica responde que há transferência de energia (calor) entre os corpos nas quatro situações e explica:

No item 1.1, este vai fornecer para este (a aluna mostra primeiro o corpo de temperatura -10°C e depois o corpo de 20°C) até que ambos fiquem iguais (a aluna quer dizer com a mesma temperatura).

Embora a aluna não utilize a linguagem científica adequadamente, pois ao tentar dizer que os corpos atingem a mesma temperatura, ela diz que ambos ficam iguais, pode-se perceber que ela possui esse conhecimento científico, mas de forma implícita, e não conseguiu explicitá-lo adequadamente. Como diz Vergnaud (1993, p.4): *explicitar é difícil. Sempre há muito de implícito nos esquemas.* Por outro lado, Moreira (2004, p.17) explica que *um conceito-em-ação não é um verdadeiro conceito científico, nem um teorema é um verdadeiro teorema a menos que se tornem explícitos.* Mas, Vergnaud (2004, p.103) diz que *nem sempre é necessário, para se raciocinar corretamente, explicitar os teoremas sobre os quais se apóia o raciocínio.*

No segundo caso (item 1.2), como esta temperatura é menor que esta (a aluna mostra primeiro o corpo de temperatura -10°C e depois o de temperatura -40°C), a tendência do sistema, um vai (a aluna mostra o corpo com temperatura de -10°C) influenciar este de maior temperatura negativa (a aluna mostra o corpo com temperatura de -40°C). Vai influenciar na temperatura do segundo corpo.

No item 1.2, novamente a aluna não consegue explicitar adequadamente seu pensamento. Pode-se inferir pela resposta, que ela entende que há uma transferência de energia (calor) do corpo de temperatura -10°C para o de temperatura -40°C , muito embora a aluna utilize "vai influenciar", ao invés de vai transferir energia (calor). Outro problema evidenciado na resposta da aluna está relacionado às temperaturas negativas, pois a aluna se refere ao corpo de temperatura -40°C como o corpo de maior temperatura negativa. Vergnaud (1990, p.26) *fala do problema com os números negativos, como os estudantes têm dificuldade em trabalhar com eles e interpretá-los, quando encontram tais números como solução de equações e inequações. Explica, ainda, que os números negativos não foram aceitos pelos matemáticos por um longo período da história.* Esta dificuldade, já observada por Vergnaud, aparece também na entrevista com esta aluna. Outra dificuldade que também aparece é com a própria representação da temperatura negativa. Vergnaud (2004, p.103) mostra que as palavras e os signos desempenham um papel importante na conceitualização. A representação de temperaturas negativas não está clara para a aluna, uma vez que pensa que a temperatura de -40°C é uma temperatura negativa maior do que -10°C .

Este caso (item 1.3) é parecido com o primeiro, onde um vai influenciar a temperatura do outro, e a troca de calor seria desse corpo que tem maior

temperatura (a aluna mostra o corpo com temperatura de 40^o C) *para o de menor* (a aluna mostra o corpo de temperatura de 10^oC).

No item 1.3, a aluna explica corretamente que há transferência de energia (calor) do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura. Moreira (2004, p.21) reportando-se a Vergnaud reitera que a construção do conhecimento pelo aprendiz não é um processo linear, facilmente identificável. Ao contrário, é complexo, tortuoso, demorado, com avanços e retrocessos, continuidades e rupturas. O domínio de um campo conceitual leva muito tempo, com avanços e retrocessos. Avanços e retrocessos podem ser observados nas respostas da aluna. Por exemplo, no item 1.3, ela responde de acordo com a conceitualização aceita cientificamente, enquanto que nos itens 1.1 e 1.2 observa-se dificuldade na explicitação de seus invariantes.

Eu só não entendi este quarto (item 1.4), se tem alguma ligação com o fato de eles estarem próximos, porque daí a transferência de energia (calor) é direta, então um estaria influenciando a temperatura do outro corpo muito mais diretamente que nos outros casos.

A aluna observa que há diferença nos processos de transferência de energia (calor), pelo fato de os corpos estarem encostados, mas também não consegue explicitar que tipo de processos de transferência de energia (calor) pode ocorrer neste caso. Moreira (2004, p.17) mostra que em geral, *os alunos não são capazes de explicar ou mesmo expressar em linguagem natural seus teoremas e conceitos-em-ação. A maioria desses conceitos e teoremas em ação permanecem totalmente implícitos, mas eles também podem ser explícitos ou tornarem-se explícitos e aí entra o ensino para ajudar o aluno a construir conceitos e teoremas explícitos, cientificamente aceitos, a partir do conhecimento implícito. É nesse sentido que conceitos-em-ação e teoremas-em-ação podem, progressivamente, tornarem-se verdadeiros conceitos e teoremas científicos, mas isso pode levar muito tempo.* Por isso, mesmo tendo estudado Termodinâmica no ano anterior, a aluna evidencia avanços e retrocessos, pois os conceitos-em-ação e teoremas-em-ação que os alunos trazem levam muito tempo para transformarem-se em verdadeiros teoremas e conceitos científicos.

O aluno D, 18 anos, sexo masculino, 3^a série, Curso de Química responde dizendo que há transferência de energia (calor) com o ar, nos três primeiros casos (itens 1.1, 1.2 e 1.3) e no último (item 1.4), há transferência de energia (calor) entre os corpos. Então é questionado:

Pesquisadora: *Tu colocas que ocorre transferência de energia (calor) com o ar. Não ocorre transferência de energia (calor), por exemplo, de um corpo para o outro?*

Aluno D: *Mas, eles não estão em contato. A única coisa que está em contato com eles é o ar. O ar está com temperatura diferente, havendo transferência de energia (calor), pode ser do ar para o corpo ou do corpo para o ar, para que se igualem. Só há transferência de energia (calor) quando eles estão em contato. Exceto com o ar, e então, vai haver transferência de um corpo para o ar e do ar para o outro corpo. E na última questão, (item 1.4) como eles estão juntos a tendência é os dois se igualarem porque eles estão em contato um com o outro.*

Assim, como o aluno A, o aluno D diz que há transferência de energia (calor) de um corpo para o outro se os corpos estiverem em contato. Nos itens 1.1, 1.2 e 1.3 o aluno desconsidera a transferência de energia (calor) por radiação, pois pensa que só pode haver transferência de energia (calor) de um dos corpos para o ar e do ar para o outro corpo. Este aluno também não consegue expressar adequadamente o seu conhecimento, pois diz "para que se iguale" no lugar de "para que as temperaturas se igualem" ou "para que os corpos atinjam o equilíbrio térmico".

Nos alunos A e D, aparece novamente o que chamamos de indicador de invariante operatório "*ocorre transferência de energia (calor) quando os corpos estão encostados*", já detectado na parte dois da metodologia. Tal invariante não é universal, pois não é detectado nos alunos B e C, mas provavelmente deve aparecer em muitos alunos uma vez que já foi identificado no questionário anterior e nesta entrevista dos quatro alunos entrevistados dois apresentaram tal invariante.

No conjunto de questões dois:

2.1) *Quando um sistema troca energia com a sua vizinhança, se for realizado trabalho pelo sistema o que acontecerá com a energia interna do sistema? Este trabalho realizado será positivo ou negativo? Justifique sua resposta (adaptado de Máximo e Alvarenga, 1998):*

2.2) *Um sistema sofre uma transformação na qual ele absorve 210 J de energia e se expande, realizando um trabalho de 320 J.*

a) *Calcule a variação da energia interna que o sistema experimentou.*

b) *Interprete o significado desta resposta (houve aumento ou diminuição da energia interna) (adaptado de Máximo e Alvarenga, 1998):*

2.3) *Certa quantidade de gás ideal sofre a transformação ABC indicada no gráfico. Durante o processo, o gás recebe 500J de energia de uma fonte térmica.*

a) *O trabalho realizado é positivo ou negativo?*

b) *A variação da energia interna é positiva ou negativa? Há um aumento ou diminuição de energia interna?*

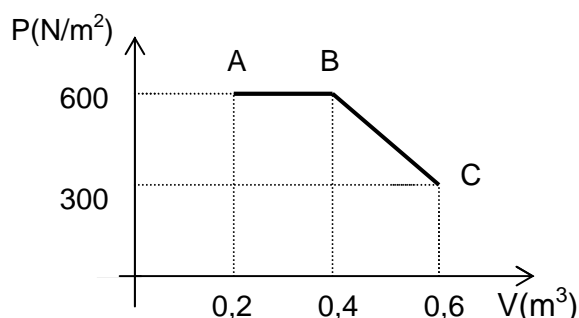


Figura 5.- Gás ideal na transformação ABC .

2.4) *É positivo ou negativo o trabalho realizado pelo gás durante os processos 1-2, 2-3 e 3-1 representados na figura? Determine se o gás recebe ou cede energia em cada um desses processos? O que acontece com*

a energia interna? (adaptado de Bukhovtsev, Klimontovitch e Miakichev, 1982, p. 65-91).

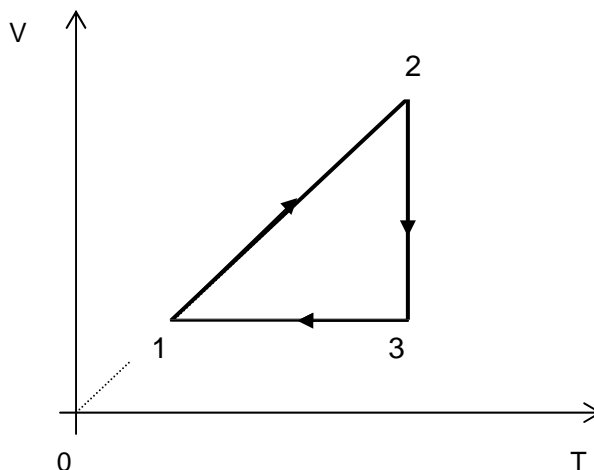


Figura 6.- Gás ideal no processo 1-2-3-1.

Entrevista com o aluno A:

Na questão 2.1 eu respondi que a energia interna diminuirá, onde diz que o trabalho será realizado pelo sistema, então ele está gastando energia para isto, e eu coloquei que o trabalho é positivo, porque não é descontado o valor, é somado, então é positivo.

O aluno responde corretamente, de fato, como o sistema está realizando trabalho, há um consumo de energia do sistema, assim a energia interna diminuirá, pois se considera que não há fluxos de energia (calor), uma vez que o problema não faz referências a respeito. O aluno responde também corretamente que o trabalho é positivo, embora ele não explique que, quando o trabalho é realizado pelo sistema, há um aumento de volume e, conseqüentemente, o trabalho será positivo. O aluno não consegue explicitar adequadamente seu pensamento, ele considera que a energia gasta pelo sistema para realizar trabalho é adicionada ao próprio trabalho, portanto, para ele, o trabalho é positivo.

Vergnaud (apud Greca e Moreira, 2004, p. 43) *compara os conhecimentos explícitos com a ponta de um iceberg da conceitualização: sem a parte oculta dos invariantes operatórios estes nada seriam. Por outra parte, sem a ajuda do conhecimento explícito, demonstrado no uso de proposições, funções proposicionais, não poderíamos conhecer os invariantes operatórios associados aos esquemas. Em geral, os alunos não são capazes de explicar ou mesmo expressar em linguagem natural, os teoremas e conceitos-em-ação que utilizam para a identificação dos elementos pertinentes e para o estabelecimento de seqüências de cálculos que devem ser efetuados. O papel do ensino é facilitar a construção de conceitos e teoremas explícitos para que possam ser negociados e transformados em verdadeiros conceitos científicos. Vergnaud (ibid.) explica que a transformação de invariantes operatórios em palavras e textos ou em qualquer outro sistema semiótico (gráficos, diagramas, notação algébrica...) não é direta, pois existem importantes lacunas entre aquilo que é representado na mente do indivíduo e o significado usual das palavras.*

Na questão 2.2, o item a) eu não fiz, por que eu não lembro a fórmula, e no item b) eu respondi que aumentou seguindo a lógica da questão 2.1.

Na questão 2.3, eu respondi que a energia interna aumentou, eu usei a mesma análise, respondi a letra b) usando a mesma lógica da questão 2.1. E a a) eu não calculei, porque eu não sei como é o cálculo.

Como não foi compreendida a lógica do aluno, foi pedido que explicasse:

Pesquisadora: *Por que tu achas que a energia interna aumenta?*

Na questão 2.2, porque eu utilizei a mesma lógica, o trabalho é realizado pelo sistema, e aqui o trabalho também é realizado pelo sistema. Eu me lembro que é preciso calcular a área do gráfico aqui. Não lembro exatamente para quê. E aqui na 2.4 é a mais difícil, não tenho a mínima idéia de como se faz.

Nas questões 2.2 e 2.3, o aluno não responde os itens que envolvem cálculos matemáticos. O fato de o aluno não ter respondido o item a das questões 2.2 e 2.3 compromete as respostas da letra b. Ele explica que usou a mesma lógica da questão 2.1, mas ele se equivoca, pois na questão 2.1, o sistema realiza trabalho, e a energia interna diminui; na questão 2.2 o sistema também realiza trabalho, e o aluno diz que a energia interna aumenta. Ele não faz uma análise adequada, pois não faz referências às trocas de energia (calor). No item 2.2, a energia interna diminui, e no item 2.3, de fato a energia interna aumenta, mas não pela mesma razão da questão 2.1. O sistema recebe uma quantidade de energia superior à quantidade de energia que é gasta na realização de trabalho, assim há um aumento na energia interna do sistema. Na questão 2.1, o estudante mostra ter uma compreensão do significado da energia interna, já nas questões 2.2 e 2.3, há um retrocesso, e as explicações não têm coerência. O aluno lembra que a área do gráfico interfere, mas não lembra que está relacionada ao trabalho. Greca e Moreira (2004, p.38) explicam que *o domínio de um campo conceitual ocorre durante longos períodos de tempo, de forma que novos problemas e novas propriedades relacionados a ele devem ser estudados ao longo de vários anos e cursos, se quisermos que os estudantes de fato o dominem progressivamente. Ou seja, as dificuldades conceituais enfrentadas pelos estudantes em relação a um determinado campo conceitual não podem ser contornadas de uma vez, mas superadas progressiva e lentamente.* É preciso entender que em um curso introdutório de Termodinâmica o aluno está dando seus primeiros passos nesse campo conceitual e que a menos que continue estudando Termodinâmica e enfrentando situações cada vez mais complexas, nunca o dominará.

O aluno A explica que não sabe responder a questão 2.4.

Entrevista com o aluno B:

A 2.1 e a 2.2 eu não sei, e na 2.3 acho que há um aumento de energia interna, porque recebe 500 J, então eu acho que aumenta a energia interna. Ele está recebendo energia e ela é positiva porque há um aumento. Está recebendo energia, então é uma energia positiva.

O aluno B não responde as questões 2.1 e 2.2. À questão 2.3, ele responde corretamente a letra b dizendo que há um aumento na energia interna, só que raciocina em termos do ganho de energia e não faz

referência ao trabalho realizado. Ele está, de fato, correto ao analisar que o ganho de energia representa um aumento de energia interna. O aluno mostra ter pouco domínio no campo conceitual da Termodinâmica, mas mostra compreender que, se o sistema recebe energia, a representação dessa energia é positiva, e isto conduz a um aumento da energia interna. As representações e os signos são importantes, mais do que isto, para Vergnaud (2004, p.93), *os signos são instrumentos psicológicos. Mas para que essa afirmação seja verdadeira é necessário que os conceitos que eles representam sejam operatórios*. O campo conceitual da Termodinâmica é difícil de ser dominado, uma vez que envolve distintos conceitos e sinais (por exemplo, trabalho positivo significa que o sistema está perdendo energia, trabalho negativo significa que o sistema está recebendo energia; quando a energia interna aumenta, ela é positiva e quando diminui, ela é negativa) que tem significados dentro deste campo conceitual. Moreira (2004, p.21), referindo-se à teoria dos campos conceituais, esclarece que *as dificuldades enfrentadas pelo sujeito estão no fato de que os modelos científicos fazem uso de entidades que geralmente não são acessíveis sensorialmente. Em Física, por exemplo, os estudantes enfrentam uma dificuldade que também existe na Álgebra: a verificação do significado de representações simbólicas depende não só da habilidade que o sujeito tenha para representar as entidades e as relações entre elas, mas principalmente dos elementos conceituais que devem ser levados em conta*.

E na 2.4, acho que o trabalho é positivo, mas no processo 1-2, aumenta a temperatura; no processo 2-3, ela não altera (o aluno quer dizer não altera a temperatura) e no 3-1 volta ao seu estado inicial (volta a temperatura inicial), mas, no todo, acho que o processo é positivo.

Ao insistir numa explicação do aluno a respeito da resposta, ele simplesmente responde que o trabalho é positivo.

Pesquisadora - *Por que o trabalho realizado é positivo?*

O trabalho realizado é positivo.

Na questão 2.4, o aluno interpreta corretamente as variações de temperatura no gráfico, mas não faz nenhuma referência ao volume e nem relaciona o volume com o trabalho. Ele simplesmente responde que o trabalho é positivo, não diz em que trecho. De fato, se fosse analisado o trecho 1-2, onde há aumento de volume o trabalho é positivo, já no trecho 2-3, onde há diminuição de volume, o trabalho é negativo e, no trecho 3-1, não há realização de trabalho. A resposta do aluno é incompleta, ele demonstra não ter domínio, pois não explica mesmo solicitado pela pesquisadora. Moreira (2004, p. 8) *esclarece que a teoria dos campos conceituais é uma teoria complexa, pois envolve a complexidade decorrente da necessidade de abarcar em uma única perspectiva teórica todo o desenvolvimento de situações progressivamente dominadas*. Então, é normal que o aluno não domine completamente o campo conceitual da Termodinâmica, pois, como já foi dito, reiteradas vezes, as situações são dominadas progressivamente ao longo de muito tempo.

Entrevista com a aluna C:

Na questão 2.1, se um sistema está realizando um trabalho e, nesse mesmo instante, ele tem que realizar troca com o meio externo, ele vai

acabar realizando trabalho negativo, porque ele vai estar fazendo o trabalho e, ainda, tem que desperdiçar e mandar energia para outra (quando a aluna se refere a outra, ela quer dizer para a sua vizinhança), ele estará realizando um trabalho negativo.

A aluna não responde o que acontece com a energia interna do sistema. Não interpreta as trocas de energia com a vizinhança como trabalho. Ela supõe outra forma de energia que deve ser transferida para a vizinhança e, quando interpreta, supõe o trabalho negativo, uma vez que há transferência de energia para a vizinhança do sistema. Ela não percebe que a energia que está sendo transferida é o próprio trabalho que, neste caso, é positivo, e a energia interna, sim, é negativa, uma vez que há uma diminuição da energia interna, pois parte dela foi utilizada na realização de trabalho. O funcionalismo cognitivo do sujeito em situação depende do estado de seus conhecimentos, implícitos ou explícitos. Vergnaud (1993, p.25) chama a atenção, pois *deve-se dar grande atenção ao desenvolvimento cognitivo, as suas continuidades, rupturas e passagens forçadas, à complexidade relativa das classes de problemas, aos procedimentos e representações simbólicas, à análise dos erros e insucessos principais*. É importante, para o avanço num campo conceitual, analisar os erros e insucessos para ajudar o estudante a evoluir em tal campo conceitual.

Na questão 2.2, houve uma variação de 210 J para 320 J, então houve uma variação de 110 J nesta transformação, e o significado desta resposta, acredito, é o aumento da energia interna, porque se ele expandiu, aumentou o volume, acredito que tenha relação com este aumento da energia interna. Então, acho que teve aumento da energia interna.

Pesquisadora: Tu achas então que o volume está relacionado ao aumento de energia interna?

Acho que sim, porque se ele se expande, acho que deve ter tido algum aumento de energia.

A aluna calcula a variação da energia interna, mas esquece o sinal. Tal esquecimento pode estar relacionado às dificuldades que a aluna já apresentou na questão 1, em relação a valores negativos, conseqüentemente, ela responde de maneira incorreta, pois na verdade há uma diminuição da energia interna do sistema. Como sinalizam Sousa e Fávero (2004, p. 65), *a linguagem e os símbolos são importantes*. É importante salientar que, nesta questão, o aumento ou a diminuição da energia interna estão relacionados ao sinal da variação de energia interna, então é necessário que a aluna, além de calcular adequadamente tal variação, saiba o seu significado, o que representa o sinal positivo e negativo em termos de aumento e diminuição de energia interna. Para a aluna, a variação da energia interna está relacionada ao volume do sistema.

A questão 2.3, tem o gráfico para analisar, mostra que a pressão se mantém constante de A para B, de B para C ela cai pela metade. Pergunta se o trabalho realizado é positivo ou negativo. Eu acho que é positivo, porque recebe 500 J de calor¹ e não diz aqui no problema que ele estivesse

¹Note-se que o aluno ainda utiliza termos como receber calor, transferência de calor, troca de calor, o que sugere que ainda não captou o significado de calor como energia em trânsito. Isso aparece também em outras falas dos alunos.

realizando alguma outra tarefa, como no primeiro exemplo (a aluna se refere a questão 2.1), que diz que ele tem que ter troca. Então, se ele só está recebendo, acredito que seja positivo. Não diz que tem perdas.

Pesquisadora: Por que o trabalho é positivo?

Aqui, o trabalho realizado é positivo ou negativo, eu acredito que seja positivo, porque não menciona a existência de algum outro trabalho envolvido. Se ele está recebendo calor, acho que é positivo.

No item b, a variação da energia interna é positiva ou negativa? De acordo com o gráfico, sem dúvida, porque se o trabalho é positivo, mas acho que a variação da energia interna é negativa, pois se está caindo a pressão à metade então, eu acho que é negativa. Mas eu não saberia relacionar esta questão com a primeira, talvez tenha mais coerência entre as duas.

O trabalho é de fato positivo, mas não pela razão mencionada pela aluna. Ela relaciona o trabalho positivo ao fato de o sistema estar recebendo energia, na verdade, o trabalho é positivo porque há um aumento do volume do sistema representado no gráfico. No item b, a aluna explica que a energia interna é negativa, porque a pressão está diminuindo, na verdade, a variação da energia interna não está relacionada à pressão, e sim pode ser determinada através da Primeira Lei da Termodinâmica, que a aluna não faz referência. Como já foi dito, para Vergnaud, *o conhecimento está organizado em campos conceituais, cujo domínio, por parte do aprendiz, ocorre ao largo de muito tempo, através de experiência, maturidade e aprendizagem.* A aluna mostra que ainda não tem um domínio inicial do campo conceitual da Termodinâmica, ela não consegue relacionar dentro deste campo conceitual, os conceitos de calor, trabalho e energia interna; como afirma Vergnaud, tal domínio é demorado.

A 2.4 analisando aqui o diagrama (a aluna mostra o gráfico) que tem, do processo de um para dois, o sistema recebeu energia, porque o volume expandiu, aumentou. No segundo, o sistema perde energia porque o volume diminui. E do terceiro para o primeiro, a temperatura reduz e o volume se mantém constante. O que acontece com a energia interna, não sei, acredito que varia de acordo com o volume.

A aluna, assim como na questão 2.1 relaciona o aumento ou diminuição do volume ao ganho ou perda de energia interna do sistema. Aqui, novamente, aparece um problema na compreensão do que representam os signos. O esquema utilizado pela aluna é falho. Palmero e Moreira (2004, p.22) *explicam que os esquemas contêm elementos conceituais e procedimentais, dado seu caráter mediador entre o sujeito e a ação. Estes elementos são representados na mente. O conhecimento não é essencialmente simbólico, representa-se mentalmente através de símbolos, signos e outros modos.* Para Vergnaud (1997, p. 28), *a representação através de palavras e sentenças muda o status dos conceitos e teoremas. O processo de explicitação é difícil, mas os conceitos explícitos e teoremas capacitam os estudantes a objetivar seus conhecimentos discutir sua idoneidade e validade. A ciência é feita de textos explícitos, os esquemas não.* A aluna diz que não sabe o que acontece com a energia interna. O esquema da aluna falha porque ela utiliza uma representação inadequada e

também não consegue acionar outros esquemas, então diz que não sabe o que acontece com a energia interna.

Entrevista com o aluno D.

Na questão 2.1, o trabalho é positivo e a energia interna diminui. Eu não tenho o que explicar muito, eu só lembro que tinha uma relação entre o positivo e a energia interna.

Pesquisadora: Porque que o trabalho é positivo?

Eu sei que tinha uma relação, quando o sistema realiza trabalho e quando é realizado trabalho pelo sistema. Tenho uma vaga lembrança que quando o sistema realiza trabalho, o trabalho é positivo.

O aluno responde corretamente que o trabalho é positivo, e a energia interna diminui, mas não consegue explicar. Diz que lembra vagamente. Vergnaud (2004, p. 103) explica que *nem sempre é necessário, para se raciocinar corretamente, explicitar os teoremas sobre os quais se apóia o raciocínio*. Há evidências de que o aluno raciocina adequadamente, mas não consegue explicitar seus invariantes.

Na questão 2.2 $E = W - Q$, então $E = 320J - 210J = 110J$. De acordo com a fórmula que eu não tenho certeza que está certa, quando o trabalho é positivo a energia interna diminui. Acho que é isso, é isso que eu lembro.

Mesmo lembrando da Primeira Lei da Termodinâmica, escreve uma relação incorreta entre energia, trabalho e calor. A Primeira Lei fala da variação da energia interna e não da energia. Assim, mesmo o aluno respondendo corretamente que há uma diminuição da energia interna e o trabalho é positivo, ele não consegue explicitar seus invariantes. O aluno não responde as questões 2.3 e 2.4.

O conjunto de questões dois permitiu observar as dificuldades que os alunos apresentam nas representações e nos significados atribuídos aos conceitos chave da Termodinâmica. Outro problema bastante evidente é a dificuldade de os alunos explicitarem seus invariantes. Palmeiro e Moreira (2004, p.20) esclarecem que *o conhecimento-em-ação determina a ativação de nossos esquemas e, por isso, a resposta sempre tem uma parte de decisão consciente e uma parte de automatismo, é este automatismo que constrói os invariantes operatórios dos esquemas. Com eles enfrentamos determinadas situações e nelas estabelecemos vários registros das atividades que estamos realizando. As formas de organização dessas atividades são o que constituem os invariantes operatórios. Falamos, então, de um conhecimento que está na mente, que não é explícito, um conhecimento que, ainda que tenha muitos elementos simbólicos, não o é. Um conceito que forma parte desta estrutura cognitiva não evolui, se o sujeito não for capaz de explicitá-lo, e desde esta perspectiva, a ajuda e a análise da explicitação permitirão determinar quais são os invariantes colocados em jogo no processo, assim como construir progressivamente objetos e predicados mais explicativos e de maior nível. O conhecimento-em-ação é o que permite a adaptação e, portanto, a capacidade de enfrentar novos problemas, novas situações, novas tarefas, novos desafios*. As dificuldades que os alunos apresentaram no campo conceitual da Termodinâmica, evidenciaram avanços e retrocessos, continuidades e

rupturas na relação entre os conceitos de temperatura, energia interna, calor e trabalho, mas é assim que se avança num campo conceitual. É necessário que os estudantes sejam capazes de explicitar seus conhecimentos-em-ação para poder evoluir no campo conceitual da Termodinâmica.

Conjunto de questões três:

3.1 A figura representa o aquecimento de uma xícara de café. A partir da figura, descreva uma maneira de ir de B para A:



Figura 7.- Aquecimento do café.

3.2 É possível ceder energia a um gás e sua temperatura não sofrer variação? Explique (Máximo e Alvarenga, 1998).

3.3 É possível fornecer energia a um gás e, apesar disto, sua temperatura diminuir? Explique (Máximo e Alvarenga, 1998).

3.4 Assinale as afirmativas seguintes e diga se cada uma delas está certa ou errada. Justifique sua resposta.

I - Sempre que um gás recebe energia, sua temperatura sofre um acréscimo.

II - Se um gás recebe energia e sua energia interna não varia, seu volume aumenta obrigatoriamente (Máximo e Alvarenga, 1998).

Entrevista com o aluno A:

A questão 3.1, está pedindo um modo de ir de B para A, na B a figura mostra que está frio e na A mostra que está quente, então eu respondi, utilizando uma fonte de calor ele pode esquentar.

Pesquisadora- É a única maneira?

Não, acho que não, ele pode entrar em contato com corpo quente, pode-se colocar dentro do café um ferro quente ou através de um ebulidor.

O aluno responde, inicialmente, utilizando uma fonte de energia (calor) e, questionado, dá outras respostas com o mesmo significado, pois em todas o aluno sugere um objeto de maior temperatura. Fisicamente, não há diferença entre as respostas, uma vez que sempre vai haver transferência de energia do corpo ou fonte de maior temperatura para o café. O estudante não percebe que haveria outras formas, sem dispor de um objeto de maior temperatura. Vergnaud (2004, 89) explica que *um dos problemas da aprendizagem é que, para quem ensina, já é evidente um certo número de coisas, e a questão central que se coloca é como se conquista e se adquire esse sentimento de evidência na sua atividade. É preciso prestar a Piaget uma justa homenagem, porque ele foi o primeiro a mostrar que o desenvolvimento da criança se dá através de atividades, de situações, e que, nelas, a evidência muda de campo.* Para o estudante, também é evidente que para aquecer o café é necessário um corpo de maior

temperatura, só quando essa evidência mudar de campo ele vai compreender que há outras formas de aumentar a temperatura do café.

A questão 3.2, é possível ceder energia a um gás e sua temperatura não sofrer variação. Pelo que eu me lembro sim, aquela questão da energia interna e volume, só que eu não me lembro muito bem.

Não questão 3.2, o aluno já responde corretamente que é possível para um gás receber energia e não sofrer variação de temperatura, ele só não consegue explicar. De fato, um gás pode receber energia e utilizá-la na realização de trabalho de tal forma que não haja variação da energia interna e, conseqüentemente, não haja variação de temperatura. O aluno não consegue explicitar seus invariantes. Para Vergnaud (1990, p.145) *a ação operatória não é o todo da conceitualização do real. Não se debate a verdade ou falsidade de um enunciado totalmente implícito, e não se identificam os aspectos do real sem a ajuda de palavras de enunciados de símbolos e signos. O uso de significantes explícitos é indispensável para a conceitualização.* É sempre necessário conseguir expressar o conhecimento implícito para que o mesmo possa ser negociado e aproximado do verdadeiro conhecimento científico.

A 3.3, eu não me lembro.

O aluno não consegue responder a questão 3.3, tal fato também está de acordo com a teoria dos campos conceituais de Vergnaud, pois o desenvolvimento de um campo conceitual não é imediato, se faz com avanços e retrocessos, continuidades e rupturas.

Na questão 3.4, eu acho que se um gás recebe calor, e sua energia interna não varia, seu volume não aumenta obrigatoriamente. Acho que está errada, porque eu acho que para o volume variar ou qualquer coisa variar, a energia interna tem que variar também. Não me lembro exatamente do conceito.

Na questão 3.4 o aluno, retrocede mais uma vez no campo conceitual, pois se um gás receber energia, e não houver variação da energia interna, necessariamente o volume do gás deve aumentar, pois a energia recebida, deve ser utilizada na realização de trabalho pelo sistema aumentando assim seu volume. O aluno responde de forma incorreta que o volume não aumenta obrigatoriamente. Ele acredita que existe uma relação entre a variação do volume e a variação da energia interna. Aqui aparece também um problema de representação, o aluno não compreende o significado da variação do volume do sistema. Por isso, para Vergnaud (1993, p. 9), *um conceito é formado também por um conjunto de formas de linguagem que permite representar simbolicamente o conceito, suas propriedades, as situações e os procedimentos de tratamento (significante).* O aluno não domina os significantes do campo conceitual da Termodinâmica.

Entrevista com o aluno B:

Na questão 3.1, acho que uma maneira do aquecimento do café é a troca de calor com uma substância com uma temperatura mais elevada que ele. Através de uma troca de calor poderia se chegar ao aquecimento.

Assim como o aluno A, o aluno B também acredita que para aquecer o café é necessário um outro corpo com maior temperatura. Esta crença está

dentro do campo de evidências do estudante, o que ele percebe no cotidiano é o aumento de temperatura através de um corpo com temperatura mais elevada.

Nas questões 3.2, 3.3 e 3.4 eu não posso falar, porque eu não conheço os princípios básicos dos gases.

As questões 3.2, 3.3 e 3.4 não foram respondidas pelo estudante, mostrando, o que já foi comentado, que o desenvolvimento de um campo conceitual não é linear, há avanços e retrocessos.

Entrevista com a aluna C:

Na questão 3.1, a figura representa o aquecimento de uma xícara de café, a partir da figura 8 pede uma maneira de ir de B para A (aquecer o café). Acho que através da troca de calor. Ou colocando água quente no café frio vai alterar a temperatura e vai aquecer o café ou através da transferência de calor através do fogo. O fogo vai transferir calor para o café e o café vai aquecer, então as duas vão dar no mesmo. Todos os modos de aquecer o café seriam assim.

A aluna C também acredita que para aquecer o café é necessário um corpo de maior temperatura ou uma fonte. Não há nada de recurso intuitivo que permite tratar esta situação. É o que Vergnaud (2005, p. 93) chama em algumas situações de adição, *de contra-intuitivo*. Supor uma outra forma de aquecimento do café é contra-intuitivo para os estudantes.

A questão 3.2 pergunta se eu acho possível ceder energia a um gás, e a sua temperatura não sofrer variação. Não acho possível, mas eu não sei, se teria como trocar ou ceder calor a um gás, e ele não alterar sua temperatura. Acho que não.

Na resposta da questão 3.2, embora a aluna demonstre dúvida, ela afirma que não é possível para um gás receber energia e não sofrer variação de temperatura. Esta resposta está coerente com a resposta da questão 3.1, pois a aluna acredita que para aumentar a temperatura de um corpo é necessária uma "fonte de calor", logo para ela, se houver "fornecimento de calor" a um gás vai haver um aumento de temperatura. Como diz Vergnaud (2005, p.93), *existem situações relativamente simples que vão ser compreendidas por extensão de um invariante operatório, e existem outras que vão resistir por muito tempo*. Há evidências de que um invariante operatório resistente faz parte dos esquemas da estudante e, por conta deste invariante, ela acredita que só é possível variar a temperatura de um corpo através de uma "fonte de calor".

A questão 3.3, é possível fornecer energia a um gás e, apesar disto, sua temperatura diminuir? Também acho difícil porque está havendo troca de calor entre eles. Acho que não tem como fornecer calor e não aumentar a temperatura.

Há regularidade nas respostas da estudante e coerência entre elas, o invariante operatório que faz parte de seus esquemas atua em todas as questões. Ela responde de forma incorreta, mas há coerência entre suas respostas.

A questão 3.4: sempre que um gás recebe energia, a sua temperatura sofre um acréscimo. Acho que sim, porque está havendo troca de calor, e a tendência é que o gás vai se expandir, vai aumentar o volume.

E se um gás recebe calor a sua energia interna não varia, seu volume aumenta obrigatoriamente. Quando o gás recebe calor, não sei se a energia interna vai variar, talvez sim, mas o volume aumenta. Acho que sim, tem uma fonte, trocando calor com o gás, e se aumentar, e colocar energia, acho que vai expandir o gás.

Novamente, a aluna responde que sempre que um gás recebe energia, a sua temperatura sofre um acréscimo, responde incorretamente, mas em coerência com as respostas anteriores, pode-se inferir que a aluna utiliza o mesmo esquema, então o invariante operatório atua em todos os itens da questão três. A aluna relaciona o recebimento de energia com o aumento de volume. Ela não comenta, porque provavelmente não se dá conta que a não variação da energia interna, implica uma não variação de temperatura. Os conceitos do campo conceitual da Termodinâmica, para ela, não estão conectados. Ela acerta quando diz que obrigatoriamente, há um aumento de volume, mas a explicação não é adequada, o que evidencia a falta de domínio do campo conceitual da Termodinâmica. Para Vergnaud (2003, p.30), *campo conceitual é um conjunto vasto, porém organizado, a partir de um conjunto de situações. Para fazer face a essas situações, é preciso um conjunto de esquemas de conceitualizações e representações simbólicas. É também corrente tomar-se campo conceitual apenas como o conjunto de conceitos que permitem dar conta de uma situação ou de um conjunto de situações.* Os conceitos desse campo conceitual são conectados uns aos outros e tal campo envolve uma série de competências que permite ao estudante reorganizar seus esquemas de acordo com a situação que está enfrentando.

Entrevista com o aluno D:

Na questão 3.1, posso aquecer o café fornecendo calor.

Pesquisadora: Fornecendo energia (calor) é o que tu respondes, seria a única forma?

Acho que sim. Lembro que tinha os três: pressão, volume e temperatura. Quando o volume não varia, variam os outros dois, o volume não varia, então tem pressão e temperatura. Para aumentar a pressão diminui o volume. Pode diminuir o volume, além de fornecer calor. De acordo com o que eu lembro da teoria as moléculas, elas iam se atritar e gerar calor. Perguntou uma maneira, a maneira mais fácil é fornecendo calor.

O aluno inicialmente responde que "fornecendo calor", mas questionado pela pesquisadora, ele busca seus esquemas, relaciona os conceitos dentro desses esquemas e responde que pode diminuir o volume para aumentar a temperatura, além de "fornecer calor". O aluno relaciona a situação com o estudo dos gases. O problema é que para os líquidos, embora teoricamente possível, não seria, na prática, possível variar a pressão e obter um aumento ou diminuição de temperatura. O aluno buscou seus esquemas e, neles, encontrou a situação referente aos gases, então utilizou este esquema também para os líquidos.

Na questão 3.2: é possível fornecer energia a um gás e, apesar disso a sua temperatura não sofrer variação? O aluno responde que não, a variação da temperatura sempre ocorre quando um corpo "recebe ou cede calor", mas quando explica através da entrevista, ele se contradiz:

A questão 3.2 foi um pouco mais difícil de lembrar, quer dizer eu não lembrei. É possível ceder calor sem sofrer mudança (o aluno quer dizer variação de temperatura)? A temperatura é igual. Até teria, só que teria que variar ou pressão ou o volume, ou os dois.

O aluno não lembra exatamente, mas admite que seria possível "receber calor", e não variar a temperatura do corpo. Isso seria possível, se o sistema realizasse trabalho, uma vez que o sistema consumiria, na realização de trabalho, a energia fornecida através do processo denominado calor. Vergnaud (2003, p. 39) esclarece que *grande parte do procedimento de resolução de um problema não é explicitada. Isso tem a ver com toda a idéia de conhecimentos implícitos, com os conceitos de teoremas-em-ação ou de conhecimentos-em-ação*. O estudante, ao responder por escrito as questões, responde de forma incorreta, mas, ao ser entrevistado, ele busca seus invariantes e tenta explicitá-los e admite outras possibilidades. O aluno avança e retrocede no campo conceitual.

Na questão 3.3, quando o aluno é questionado se é possível transferir energia a um gás, e apesar disto, a sua temperatura diminuir, ele responde que não, quando um corpo "recebe calor", a sua temperatura aumenta. Mas, ao ser entrevistado, ele responde que é igual a anterior. Como no item anterior, ele admite que é possível "receber calor" sem variar a temperatura, e nesta ele admite "receber calor" e diminuir a temperatura do corpo.

Na questão 3.3 recebendo calor, diminui a temperatura. É igual a anterior.

Na questão 3.4a: sempre que um gás recebe energia, sua temperatura sofre um acréscimo. O estudante D responde que sim, quando entrevistado.

Pesquisadora: Tu achas que sempre que um gás recebe energia a sua temperatura aumenta?

Acho que não, pois poderia variar a pressão ou o volume.

Na questão 3.4b, se um gás recebe energia e sua energia interna não varia, seu volume aumenta obrigatoriamente. O estudante D responde corretamente que sim, pois é uma maneira de realizar trabalho e explica através da entrevista.

Temperatura igual, só que ao invés da temperatura, varia a pressão ou o volume.

O aluno percebe que a não variação da energia interna implica numa não variação de temperatura. É interessante observar as idas e vindas deste aluno em seus primeiros passos dentro do campo conceitual da Termodinâmica, porque exceto à questão 3.4b, ele responde às questões, por escrito de forma incorreta, mas ao explicitar seus significados através da entrevista, acaba percebendo que existem outras relações entre os conceitos do campo conceitual da Termodinâmica, então ele admite que o gás possa receber energia e a sua temperatura diminuir ou não variar.

Basta lembrar Vergnaud (2003, p. 40), *se o desenvolvimento do conhecimento não é linear, a organização das situações também não é estritamente linear*. Não há linearidade também nas respostas do aluno, parece que, inicialmente ele busca esquemas mais evidentes, mas, posteriormente, quando tem que verbalizar suas respostas, parece buscar outros esquemas ou reorganizá-los.

Conclusão

Este trabalho mostra como é tortuoso o caminho para o progresso dos alunos em um campo conceitual. De fato, sua trajetória não é linear, possui avanços e retrocessos, filiações e rupturas. O domínio do campo conceitual é diferente para os distintos alunos. Enquanto um avança corretamente no campo conceitual, o outro avança e retrocede e outro ainda dá suas respostas incorretas, mas com coerência entre elas. Cada aluno se desenvolve de maneira distinta dentro do campo conceitual. O que se pode observar em todos é a não linearidade, e os avanços e retrocessos. Vergnaud (2003, p. 50) também chama a atenção: *Uma flagrante complexidade didática deriva do fato que os alunos não se desenvolvem todos da mesma maneira. Há alunos que compreendem bem umas coisas e outros não*.

Outro fato evidenciado neste trabalho é a importância dos signos. O conceito, para Vergnaud, é constituído de três conjuntos: situações, invariantes operatórios e representações semióticas. Os estudantes mostram não compreender adequadamente o significado dos signos utilizados no campo conceitual da Termodinâmica. Essa não compreensão dos significados dos signos implica a não compreensão dos conceitos e na utilização de regras inadequadas ao analisar as situações dentro do domínio do campo conceitual da Termodinâmica. A passagem dos conhecimentos-em-ato em palavras é muito difícil. Grossi (2001, p. 15) explica que o ser humano não se relaciona de forma imediata com o outro e a realidade. Para essas relações é necessária a mediação simbólica ou representacional. O ser humano enfrenta as situações armado com suas representações.

Na questão um, as respostas dos alunos A e C, assim como no trabalho anterior (Grings, Caballero e Moreira, 2006b), evidenciam o invariante operatório: ocorre "transferência de calor" somente quando os corpos estão encostados.

Na questão 3.1, há evidências de um outro invariante operatório que também apareceu nesse mesmo trabalho (Grings, Caballero e Moreira, 2006b). Os alunos A, B e C acreditam que, para haver um aumento de temperatura, é necessário uma fonte de energia ou um corpo de maior temperatura, o que levaria ao seguinte invariante operatório: é sempre necessário uma "fonte de calor" para aumentar a temperatura de um corpo.

Finalmente, cabe chamar atenção para o fato de que os alunos embora sendo expostos, nas aulas de Física, aos significados contextualmente aceitos nessa disciplina continuam usando, implicitamente, a idéia de calor como algo que pode ser transferido, trocado, armazenado. Provavelmente, para que captem o significado de calor como energia em trânsito será necessário muito mais "negociação de significados".

Referências bibliográficas

- Bukhovtsev, B., Klimontovitch, I. e G. Miakichev (1982). *Física 3*. Moscou: Editora Mir Moscovo.
- Caballero, M.C. (2003). 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 PIDEDEC, v.5, pp.137-154.
- Greca, I. e M.A. Moreira (2003). Conceptos: naturaleza y adquisición. *Textos de Apoio do Programa Internacional de Doutorado em Ensino de Ciências da Universidade de Burgos/UFRGS*. Actas del PIDEDEC, v.5, pp. 3-77.
- Greca, I. e M.A. Moreira (2004). 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* (pp.33-56). Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS.
- Grings, E.T.O., Caballero, C. e M.A. Moreira (2006a). Significados atribuídos pelos estudantes a conceitos da Termodinâmica. In: V Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa, Madrid. Atas do V Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa, 2006.
- Grings, E.T.O., Caballero, C. e M.A. Moreira (2006b). Possíveis indicadores de invariantes operatórios apresentados por estudantes em conceitos da Termodinâmica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. São Paulo, 28, 463-471.
- Grossi, E.P. (2001). Esquemas de pensamento, campos conceituais, teoremas-em-ação: um espaço de problemas do pós-construtivismo. In: Seminário Internacional sobre Didática da Matemática. Gerard Vergnaud – O campo conceitual da multiplicação. Porto Alegre. set. 2001, pp. 15-17.
- Máximo, A. e B. Alvarenga (1998). *Curso de Física 2*. São Paulo: Editora Scipione.
- Moreira, M.A. (2004). 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* (pp.7-32). Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS.
- Moreira, M.A. e F. Ostermann (1999). Teorias construtivistas. Porto Alegre, Instituto de Física da UFRGS, *Textos de Apoio ao Professor de Física*, N° 10.
- Moreira, M.A. (1998). Energia, entropia e irreversibilidade. Porto Alegre, Instituto de Física da UFRGS, *Textos de Apoio ao Professor de Física*, N° 9.
- Palmero, M.L.R. e M.A. Moreira (2004). 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* (pp.7-39). Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS.
- Vergnaud, G. (2003). A gênese dos campos conceituais. In: Grossi, E. P. *Por que ainda há quem não aprende?* Petrópolis: Vozes.

Vergnaud, G. et al. (1990). 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.

Vergnaud, G. (2004). *Lev Vygotski: pedagogo e pensador do nosso tempo*. Porto Alegre: GEEMPA.

Vergnaud, G. (1997). The nature of mathematical concepts. In Nunes, T. & Bryant, P. (Eds.) *Learning and Teaching Mathematics, an International Perspective*. Hove (East Sussex), Psychology Press Ltd.

Vergnaud, G. e E.P. Grossi (2005). Esquemas operatórios de pensamento: uma conversa com Gérard Vergnaud. In: Grossi, E. P. *Ensinando que todos aprendem: fórum social pela aprendizagem* (pp.85-100). Porto Alegre: GEEMPA.

Vergnaud, G. (1993). Teoria dos campos conceituais. In Nasser, L. (Ed.) *Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro* (pp. 1-26).