

ANÁLISE DE UMA SITUAÇÃO DE RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE FÍSICA, EM SITUAÇÃO DE INTERLOCUÇÃO ENTRE UM ESPECIALISTA E UM NOVATO, À LUZ DA TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS DE VERGNAUD¹

(Analysis of a problem solving situation in physics, in an interlocution setting between a specialist and a novice, in the light of Vergnaud's conceptual fields theory)

Célia Maria Soares Gomes de Sousa [celia@fis.unb.br]

Instituto de Física – UnB

Maria Helena Fávero [mhfaver@unb.br]

Instituto de Psicologia – UnB

Resumo

Este trabalho faz parte de um estudo mais amplo cujo objeto é a resolução de problemas (RP) em Física, tratada do ponto de vista da Psicologia do Desenvolvimento Cognitivo e com vistas ao seu papel no ensino de Física. Neste trabalho, nos centramos, na proposta de um procedimento de estudo para a RP que privilegiasse as trocas verbais entre um especialista e um novato em situação de interação social, de modo que se evidenciassem as regulações cognitivas em relação a um campo conceitual particular. Foram investigados dois casos: dois alunos de um curso pré-vestibular. Cada um desses alunos foi submetido a cinco sessões individuais de resolução de problema, que se desenvolveram em torno de conceitos de Eletricidade. Os resultados das análises das sessões de interação frente à RP indicaram que: um dos sujeitos possuía mais esquemas de ação para dar sentido às situações dentro de campos conceituais da Eletricidade do que o outro; o papel do especialista na interação com o sujeito é muito importante na condução de tal interação; o domínio do especialista em relação aos campos conceituais abordados é imprescindível na situação de interlocução estabelecida nas sessões de interação; a teoria dos campos conceituais mostrou-se adequada para referenciar pesquisas sobre resolução de problemas em Física.

Palavras chave: resolução de problemas, situação de interlocução, campos conceituais, conceitos-em-ato, teoremas-em-ato.

Abstract

This paper is part of a larger study dealing with problem solving in physics, from the point of view of cognitive development psychology, aiming at its role in physics education. Our focus in this paper lies in a problem solving procedure that stresses verbal exchange between a specialist and a novice in a social interaction, in such a way that the cognitive regulations concerning a given conceptual field would be evidenced. Two cases were studied: two students from a precollege course participated in five individual problem solving sessions involving electric circuits. The analysis of these sessions suggested that: one of the subjects had more assimilation schemes than the other one to make sense of problematic situations in the conceptual field of electricity; that the role of the specialist in the proposed social interaction is very important and his/her mastery of the subject matter is essential; that the theory of conceptual fields is an adequate framework for research studies on problem solving in physics.

Key-words: problem solving, interlocution situation, conceptual fields, concepts-in-action, theorems-in-action.

¹ Versão preliminar desse trabalho foi apresentada no VIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (VIII EPEF), realizado no período de 5 a 8 de junho de 2002, em Águas de Lindóia, SP.

Introdução

Este trabalho faz parte de um estudo mais amplo (Sousa, 2001) cujo objeto é a resolução de problemas (RP) em Física, tratada do ponto de vista da Psicologia do Desenvolvimento Cognitivo e com vistas ao seu papel no ensino de Física. De nossa experiência sabemos que os alunos geralmente buscam “encontrar a fórmula adequada” para a resolução do problema o que evidencia, dentre outras coisas, uma prática de ensino que privilegia o procedimento, em si, em detrimento do campo conceitual em questão.

Por isso, nos centramos, de um lado, nas concepções dos professores de Física sobre a RP e, de outro, na proposta de um procedimento de estudo para a RP que privilegiasse as trocas verbais entre um especialista e um novato em situação de interação social, de modo que se evidenciassem as regulações cognitivas em relação a um campo conceitual particular. Em outro trabalho focalizamos apenas as concepções dos professores (Sousa & Fávero, 2001). Neste relataremos os resultados obtidos com o procedimento utilizado com os alunos.

Adotamos a proposta de Fávero (2000) segundo a qual, para avançar na pesquisa sobre resolução de problemas em Física com a pretensão de gerar dados que tenham implicações para a prática de ensino, é necessário levar em conta a situação de interação social que ela pressupõe e a relação dialética entre aquisição conceitual e a capacidade de resolução de problemas.

O nosso problema consistiu, portanto, em criar uma situação de interação segundo uma dimensão desenvolvimental, procurando intervir nas operações de regulação de tal forma que o processo de produção fosse revisto pelo sujeito, em função de um campo conceitual particular da Física e isso resultasse na reelaboração das ações e dos produtos, no processo de resolução de problemas.

O nosso procedimento pretendeu, então, estudar a resolução de problemas em Física em uma forma compatível com a proposta da teoria dos campos conceituais de Vergnaud (1990), desenvolvendo uma metodologia para o estudo da resolução de problemas de modo a tornar possível identificar a conceitualização que fundamentava os procedimentos do sujeito e a natureza dos erros que expressavam, além de intervir na própria elaboração do sujeito.

A tarefa principal relativa ao nosso problema foi a de estudar o processo de construção do saber em um conteúdo específico da Física Clássica, a Eletricidade, em um certo nível de complexidade (compatível com o nível médio do ensino formal), a partir de situações de resolução de problemas

Fundamentação Teórica

A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS DE VERGNAUD

A teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud é uma teoria psicológica de conceitos (Vergnaud, 1990, p. 147), uma teoria cognitivista do processo de conceitualização do real, como ele próprio diz (op. cit., p. 133). É uma teoria pragmática no sentido de que pressupõe que a aquisição do conhecimento é moldada por situações e problemas e ações do sujeito nessas situações (Vergnaud, 1994, p. 42). Quer dizer, é por meio de situações e problemas a resolver que um conceito adquire sentido para o aprendiz. É também uma teoria complexa, ou uma teoria da complexidade cognitiva, pois contempla o desenvolvimento de situações progressivamente dominadas, dos conceitos e teoremas necessários para operar eficientemente nessas situações e das

palavras e símbolos que podem eficazmente representar esses conceitos e operações para o indivíduo, dependendo de seu nível cognitivo (Vergnaud, 1994, p. 43).

O objetivo dessa teoria é o de fornecer um referencial que permita compreender as continuidades e rupturas entre conhecimentos, nos aprendizes, entendendo-se como conhecimentos tanto o saber fazer como o saber expresso (Vergnaud, 1990, p. 135). Em outras palavras, "a teoria dos campos conceituais visa à construção de princípios que permitam articular competências e concepções constituídas em situação, e os problemas práticos e teóricos em que essas competências e concepções se constituem" (Franchi, 1999, p. 164).

Em 1982, Vergnaud se referia a **campo conceitual** como

"... um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e provavelmente entrelaçados no processo de aquisição. Por exemplo, os conceitos de multiplicação, divisão, fração, razão, proporção, função linear, número racional, similaridade, espaço vetorial e análise dimensional pertencem todos a um grande campo conceitual que é o das estruturas multiplicativas." (p. 40)

Analogamente, ele acreditava que os conceitos de medida, adição, subtração, transformações temporal, comparação, deslocamento e abscissa em um eixo, e números naturais são também elementos de um outro grande campo conceitual, o das estruturas aditivas. (ibid.)

Embora o termo "estruturas" apareça na designação dos campos conceituais que mais interessam Vergnaud – o das estruturas multiplicativas e o das estruturas aditivas – a teoria dos campos conceituais não é uma psicologia cognitiva centrada em estruturas lógicas como a de Piaget. Sua teoria é, sobretudo, uma psicologia de conceitos (1990, p. 147) e decorre de sua crença de que não se pode evidenciar e analisar as dificuldades encontradas pelos alunos se não se levar em conta as especificidades dos conteúdos de conhecimento envolvidos e se não se levar a sério o *processo de conceitualização do real* no qual está engajado o sujeito (1983a, p. 392)

Vergnaud considera que um conceito é um tripé de três conjuntos (Vergnaud, 1983a, p. 393; 1990, p. 145; Franchi, 1999, p. 173):

S: conjunto de situações que dão sentido ao conceito (o *referente*);

I: conjunto de invariantes operatórios associados ao conceito (o *significado*);

L: conjunto de representações lingüísticas e não lingüísticas que permitem representar simbolicamente o conceito, suas propriedades, as situações às quais ele se aplica e os procedimentos que dele se nutrem (o *significante*).

Isso significa que uma definição pragmática de conceito como "conjunto de invariantes utilizáveis na ação" não é suficiente, pois a ação operatória não é tudo na conceitualização do real: a utilização de significantes explícitos é imprescindível (Vergnaud, 1990, p. 145).

Dessa definição decorrem três argumentos principais que levaram Vergnaud ao conceito de campo conceitual (1983 a, p. 393):

- 1) um conceito não se forma dentro de um único tipo de situações;
- 2) uma situação não se analisa com um único conceito;
- 3) a construção e apropriação de todas as propriedades de um conceito ou de todos os aspectos de uma situação é um processo de muito fôlego que se desenrola ao longo dos anos, às vezes uma

dezena de anos, com analogias e mal-entendidos entre situações, entre concepções, entre procedimentos, entre significantes.

Embora atribua muita importância aos conceitos, Vergnaud considera-os uma segunda entrada de um campo conceitual, sendo a primeira as *situações* (1990, p. 147). Isso fica claro em outra concepção de campo conceitual dada por ele, a de conjunto de situações:

- Campo conceitual é um conjunto de problemas e situações cujo tratamento necessita conceitos, procedimentos e representações de tipos distintos, porém estreitamente interconectados. (1983b, p. 127)
- Campo conceitual é um conjunto de situações cuja abordagem requer o domínio de vários conceitos de naturezas diferentes. (1988, p. 141)
- Campo conceitual pode ser considerado em primeiro lugar como um conjunto de situações. (1990, p. 146)

Para Vergnaud (1990, p. 146), *situação* tem um sentido muito mais próximo do de tarefa do que de situação didática, com o significado implícito de que toda *situação* complexa pode ser analisada como uma combinação de tarefas cuja natureza e dificuldades próprias é importante conhecer. A dificuldade de uma tarefa não é nem a soma nem o produto das dificuldades das distintas subtarefas, mas é claro que o revés em uma subtarefa tem como consequência o fracasso em toda a tarefa. (ibid.)

Segundo Franchi (1999, p. 158) a *situação* pode ser pensada como um dado complexo de objetos, propriedades e relações em um espaço e tempo determinados, envolvendo o sujeito e suas ações.

Vergnaud esclarece que o significado de *situação* em sua teoria está limitado ao sentido que esse conceito tem habitualmente em psicologia, ou seja, os processos cognitivos e respostas do sujeito são função das situações com as quais se defronta (1990, p. 150). Para ele, são as situações que dão sentido aos conceitos, mas o sentido não está nas situações em si. Um conceito torna-se significativo para o sujeito através de uma variedade de situações e diferentes aspectos de um mesmo conceito estão envolvidos em distintas situações. Ao mesmo tempo, uma situação não pode ser analisada através de um só conceito, vários deles são necessários. E esta é a razão pela qual deve-se estudar campos conceituais, não situações isoladas ou conceitos isolados (Vergnaud, 1994, p. 46).

Assim como o sentido dos conceitos não está nas situações em si, ele também não está nas palavras ou outras representações simbólicas. No entanto, diz-se que uma palavra, um símbolo matemático, um enunciado tem ou não tem sentido para um indivíduo, ou que tem vários sentidos. Diz-se também que uma situação tem ou não tem sentido. Afinal, o que é, então, o sentido para Vergnaud?

Sentido é uma relação do sujeito com as situações e com os significantes (Vergnaud, 1990, p. 158). Mais precisamente, são os *esquemas* evocados no sujeito por uma situação ou por um significante que constituem o sentido dessa situação ou desse significante para esse sujeito. Por exemplo, o sentido de adição para um determinado sujeito é o conjunto de *esquemas* que ele pode utilizar para lidar com situações com as quais depara e que implicam a idéia de adição. É também o conjunto de *esquemas* que ele pode usar para operar com símbolos numéricos, algébricos, gráficos e lingüísticos que representam a adição (ibid.). Contudo, uma dada situação ou um simbolismo particular não evocam no indivíduo todos os *esquemas* disponíveis. O sentido de uma situação particular de adição não é, portanto, o sentido de adição, da mesma forma que não o é um símbolo

particular. Quando se diz que uma palavra tem um certo sentido se está, de fato, falando de um subconjunto de *esquemas*, impondo-se assim uma restrição ao conjunto de *esquemas* possíveis.

Vergnaud define esquema como sendo uma organização invariante da conduta para uma determinada classe de situações (1990, p. 136; 1994, p. 53; 1996b, p. 201). Não é o comportamento que é invariante, mas sim a organização do comportamento. Portanto, um esquema é um universal eficiente para todo um espectro de situações e pode gerar diferentes seqüências de ações, procedimentos de coleta e controle de informações, dependendo das características de cada situação em particular (Vergnaud, 1998, p. 172).

Algoritmos, por exemplo, são esquemas, mas nem todos esquemas são algoritmos, apenas alguns o são. Quando algoritmos são usados repetidamente para lidar com as mesmas situações eles se convertem em esquemas ordinários, ou hábitos (op. cit., p. 176). Para Vergnaud, os esquemas necessariamente se referem a situações, ao ponto de considerar que é melhor falar em interação esquema-situação do que, como fazia Piaget, falar em interação sujeito- objeto e de sugerir que o desenvolvimento cognitivo consiste principalmente, e antes de tudo, no desenvolvimento de um vasto repertório de esquemas (1996b, p. 203). Os ingredientes de um esquema são:

- ? objetivos e antecipações;
- ? regras de ação do tipo "se ... então" que permitem gerar a seqüência de ações do sujeito; são regras de busca e controle da informação;
- ? invariantes operatórios ("teoremas-em-ato" e "conceitos-em-ato") que dirigem o reconhecimento, de parte do sujeito, dos elementos pertinentes à situação e a categoria da informação sobre tal situação;
- ? possibilidades de inferência (ou raciocínios) que permitem "calcular" as regras e antecipações a partir das informações e invariantes operatórios de que dispõe o sujeito.

Destes ingredientes, os invariantes operatórios, cujas categorias principais são *teoremas-em-ato* e *conceitos-em-ato*, constituem a base conceitual implícita, ou explícita, que permite obter a informação pertinente e, a partir dela e dos objetivos a alcançar, inferir as regras de ação mais pertinentes (Vergnaud, 1996b, p. 201).

O principal interesse teórico do conceito de esquema é o de proporcionar o imprescindível vínculo entre a conduta e a representação (e, conseqüentemente, a conceitualização). Mas são os *invariantes operatórios* que articulam teoria e prática, ou seja, eles é que fazem a articulação essencial, já que a percepção, a busca e a seleção da informação baseiam-se inteiramente no sistema de *conceitos-em-ato* disponíveis no sujeito (objetos, atributos, relações, condições, circunstâncias, ...) e nos *teoremas-em-ato* subjacentes a sua conduta (op. cit., p. 202).

Um teorema-em-ato é uma proposição considerada como verdadeira sobre o real; um conceito-em-ato é uma categoria de pensamento considerada como pertinente. (Vergnaud 1996a, p. 202)

O conhecimento intuitivo contido na conduta é constituído essencialmente de invariantes operatórios, ou seja, de teoremas-em-ato e conceitos-em-ato. Eles são a parte "conceitual" dos esquemas, independente de serem implícitos ou explícitos, conscientes ou inconscientes. Se um esquema se aplica a uma classe de situações, ele deve conter invariantes operatórios relevantes a toda a classe (Vergnaud, 1994, p. 54).

Conceitos-em-ato são ingredientes necessários dos teoremas-em-ato, mas não são a mesma coisa. Proposições podem ser verdadeiras ou falsas, porém conceitos só podem ser relevantes ou irrelevantes. Contudo, não há proposições sem conceitos. Há, portanto, uma relação dialógica entre

conceitos-em-ato e teoremas-em-ato, uma vez que conceitos são ingredientes de teoremas e teoremas são proposições que dão aos conceitos seu conteúdo, mas seria errado confundí-los (Vergnaud, 1998, p. 174).

É preciso, no entanto, esclarecer ainda que um conceito-em-ato não é, de fato, um conceito, assim como um teorema-em-ato não é, na verdade, um teorema. Na ciência, conceitos e teoremas são explícitos e pode-se discutir sua pertinência e sua veracidade, porém não é esse o caso dos invariantes operatórios. Conceitos e teoremas explícitos não são mais do que a parte visível do “iceberg” da conceitualização: sem a parte escondida formada pelos invariantes operatórios essa parte visível não seria nada. Reciprocamente, não se pode falar de invariantes operatórios integrados nos esquemas senão com a ajuda do conhecimento explícito. (1990, p. 145).

Por outro lado, conceitos-em-ato e teoremas-em-ato podem, progressivamente, tornarem-se verdadeiros conceitos e teoremas científicos. Conceitos-em-ação e teoremas-em-ação geralmente têm pequeno âmbito de relevância e validade e podem estar pobremente relacionados um aos outros, porém podem evoluir para conceitos e teoremas explícitos válidos em domínios amplos em sistemas fortemente integrados. O ensino deve tentar contribuir para que essa evolução de fato ocorra.

Embora a teoria de Vergnaud não seja uma teoria didática, ela seguramente tem implicações didáticas. A principal delas é o papel mediador do professor. Sua parte consiste principalmente em ajudar os alunos a desenvolver seus repertórios de esquemas. Desenvolvendo seus esquemas, os estudantes tornam-se mais hábeis para enfrentar situações cada vez mais complexas (geralmente tarefas e problemas). Novos esquemas não podem ser desenvolvidos sem novos invariantes operatórios (conceitos-em-ato e teoremas-em-ato) adequados. A linguagem e os símbolos são importantes, sem dúvida. Professores usam palavras e sentenças para explicar, formular questões, etc... No entanto, sua função mediadora mais importante é a de prover situações frutíferas. Quer dizer, em que pese o fato de que as situações referidas na teoria dos campos conceituais não sejam situações didáticas, a principal ação mediadora do professor é a de prover situações frutíferas para aumentar o repertório de esquemas dos alunos, i.e., para ajudar em seu desenvolvimento cognitivo (Vergnaud, 1998, p. 186).

O próprio conceito de campo conceitual como conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de conteúdo – rejeitando visões reducionistas que concentram-se apenas em operações lógicas gerais, ou em operações puramente lingüísticas, ou na reprodução social, ou na emergência de estruturas inatas, ou no modelo de processamento de informação – sinaliza para a necessidade de o professor ver a aprendizagem do aluno desde a perspectiva da complexidade, da diversidade, da evolução, muitas vezes lenta, do repertório de esquemas do aprendiz. Essa perspectiva implica novas abordagens ao ensino, ao currículo e à avaliação.

Embora Vergnaud tenha desenvolvido essa teoria tendo em conta seu interesse, explícito, nos campos conceituais das estruturas aditivas e multiplicativas, a mesma não se restringe à Matemática. Na Física, por exemplo, há muitos campos conceituais que não podem ser ensinados, de imediato, como sistemas de conceitos nem como conceitos isolados. O estudo da aprendizagem da Mecânica, da Eletricidade ou da Termodinâmica requer o estudo psicogenético do domínio progressivo, de parte do aluno, dos campos, ou subcampos, conceituais correspondentes. Por exemplo, o campo conceitual mais amplo que é o da Eletricidade, o qual, por sua vez, integra o campo conceitual da Física Clássica. Nosso interesse nesta pesquisa refere-se aos campos conceituais dos circuitos elétricos simples e da força e campo elétricos. Para investigar como os alunos chegam a dominá-los temos que, inicialmente, identificar os conceitos-em-ato (categorias de pensamento pertinentes) e teoremas-em-ato (proposições tidas como válidas) que os estudantes

usam para abordar situações envolvendo esses campos conceituais. Posteriormente, delinear novas situações que permitam o desenvolvimento de novos conceitos-em-ato e teoremas-em-ato que, progressivamente, levem ao desenvolvimento de conceitos e teoremas físicos adequados ao tratamento desse tipo de problemas (situações). *Trata-se de um processo que pode levar muito tempo, anos talvez. Por isso, nossa pesquisa restringe-se a uma pequena porção do ciclo de pesquisa da abordagem canônica ao estudo de um campo conceitual: a identificação de teoremas-em-ato e conceitos-em-ato que os alunos usam para abordar situações específicas relativas a circuitos elétrico simples e forças elétricas.*

Vergnaud (1990) não vê sua proposta sobre os campos conceituais como uma teoria didática, mas considera-a de extremo interesse para esse campo porque permite a análise da relação dialética presente na educação, entre a ação na situação prática/experimental e a verbalização teórica. Por isso mesmo estamos recorrendo a ele.

Uma vez que o autor defende que o saber se constrói a partir de problemas a resolver, o prioritário para a didática seria, então, a investigação de situações-problema significativas e funcionais à elaboração dos conceitos, o que sugere o uso de variedade de problemas e de relações.

A TOMADA DE CONSCIÊNCIA E A SITUAÇÃO DE INTERLOCUÇÃO

Como as concepções dos alunos só serão alteradas se entrarem em conflito com situações às quais não se aplicam, cabe ao professor não apenas oferecer-lhes situações de ativação de esquemas já disponíveis mas, sobretudo, as que os levem à acomodação daqueles esquemas prévios, reconstruindo-os em termos de novas relações diante de dados novos (Vergnaud, 1990).

Isto significa, como defende Fávero (2000), que embora a ação direta e indireta do professor aconteça sempre em um contexto de interação com os alunos da classe e seus efeitos reguladores sejam sempre mediados pela rede de interações entre os alunos, é preciso lembrar que o impacto destas regulações sobre a aprendizagem de um aluno só ocorrerá na medida que elas se integrem ao processo de auto-regulação próprio ao indivíduo. Isso quer dizer que embora as regulações em situação escolar se situem sempre em uma dinâmica sócio-cognitiva, devemos considerar seu papel na aprendizagem, do ponto de vista das construções cognitivas elaboradas e exploradas por cada indivíduo nesta situação. Em outras palavras, a autora propõe a recuperação da importância da auto-regulação no funcionamento cognitivo de cada sujeito no contexto interacional.

Portanto, do ponto de vista da pesquisa sobre a RP, isto significa a proposta de um método que integre à análise das regulações cognitivas uma análise dos processos comunicacionais das interações. Em outros termos, estamos defendendo que um método para o estudo da RP que gere subsídios para a prática de ensino da Física deve considerar a análise das regulações cognitivas de sujeitos em situação de RP, em função de um campo conceitual específico - no caso, um campo da Física - conforme a abordagem de Vergnaud (1990), em uma situação de interação social, de modo a se viabilizar a análise destas regulações, a partir dos processos comunicacionais desta interação.

Como sabemos, uma das abordagens privilegiadas para o estudo das regulações tem sido a *metacognição*.

Quem primeiro fez uso do termo “metacognição” foi Flavell (1976), definindo que

“a metacognição se refere ao conhecimento do sujeito de seus próprios processos cognitivos, de seus produtos e de tudo que se relaciona a isto... A metacognição diz respeito ao controle (monitoramento) ativo

e à resultante regulação ou orquestração destes processos em função dos objetos cognitivos ou dos dados sobre os quais eles se referem, habitualmente, para alcançar um objetivo concreto” (p. 232)

O consenso entre os autores que estudam a metacognição é o de que as relações entre metacognição e cognição são complexas e as fronteiras entre elas não são fáceis de definir. Os conhecimentos e experiências metacognitivos não são considerados, na sua “natureza fundamental”, como qualitativamente diferentes das intenções e ações cognitivas do sujeito.

Outro consenso é que os conhecimentos “conceituais” (ou cognitivos) e os conhecimentos “metacognitivos” se diferenciam por seus objetos, mas os dois corpos de conhecimento estão em interação contínua, resultado de uma instância comum de *construção* (Alexander, Schaller & Hare, 1991, citados por Fávero, 2000).

Segundo Fávero (2000), hoje alguns pesquisadores, como é o caso de Linda Allal e Madelon Saada-Robert (1992), da Universidade de Genebra, têm proposto uma reflexão sobre a metacognição, a partir de três conceitos - chave defendidos por Piaget e seus colaboradores: *a tomada de consciência, a abstração refletida e as regulações*.

De acordo com a análise de Allal & Saada-Robert (1992) é o conceito de *regulação*, que permite considerar a metacognição sob um novo ângulo, e isto porque:

1) as regulações desempenham um papel importante na ultrapassagem das estruturas, ou seja, na possibilidade de o sujeito construir novos observáveis sobre os objetos, isto é, de tomar consciência e de identificar as lacunas, perturbações ou contradições possíveis;

2) o caráter fundamentalmente construtivo das regulações em psicologia genética deveria permitir considerar a metacognição como um *mecanismo duplo de construção*: aquele que assegura a formação de operações de controle (tais como as operações de antecipação, de controle e de ajustamento) e aquele que regula a construção de formas explícitas das representações a partir de suas formas implícitas.

A tese central de Allal & Saada-Robert (1992) é a de que Piaget, em sua análise estrutural do desenvolvimento, trata dos mecanismos da metacognição, uma vez que trata de tomada da consciência e das regulações, e considera-os como *organizadores internos* relativos ao fechamento das estruturas, ao seu caráter de estado final, e ao seu componente conceitual (Fávero & Sousa, 2001).

Assim, Fávero (2000) retoma os três componentes identificados por Allal & Saada-Robert (1992) no que diz respeito às operações de regulação que intervêm no funcionamento cognitivo do sujeito em um determinado “espaço de trabalho”, ou situação problema: as representações, as operações de regulação, os processos de produção. Nesta linha de pensamento, tais componentes, não apenas interagem entre si, como interagem com o conhecimento prévio do sujeito, em referência a um campo conceitual (Vergnaud, 1990).

As representações, ou rede de representações, são vistas como elaboradas pelo sujeito por meio da relação que ele estabelece entre as características externas da tarefa (instrução, material colocado à disposição, condições de trabalho, etc.) com os conhecimentos já adquiridos (conhecimentos ou “know-how” potencialmente pertinentes), o que lhe permite uma certa organização para o conjunto de sua atividade face à tarefa ou problema.

Neste sentido, são os processos de produção, isto é, a elaboração de seqüências de passos organizados em procedimentos que asseguram a realização efetiva da tarefa. A natureza dos processos de produção é, evidentemente, variável de acordo com o campo de conhecimento específico e de acordo com a estrutura e a complexidade da tarefa. Para Allal & Saada-Robert (1992) as operações de regulação *se situam como uma espécie de interface entre as representações e os processos de produção, articulando-as*.

Considerando este referencial teórico e considerando a situação interacional que pressupõe uma sala de aula, defendemos que para que se possa gerar subsídios para a prática de ensino da Física pelo estudo da resolução de problemas, este deve ser desenvolvido segundo um método que ultrapasse a idéia de transmissão nos processos comunicacionais da situação de sala de aula, para adotar a idéia de interlocução, o que implica, portanto, que seja centrado em uma situação de interação social de modo a evidenciar as regulações cognitivas dos sujeitos e sua tomada de consciência em função de um campo conceitual particular da Física e a análise destes processos, a partir da produção e dos processos comunicacionais desenvolvidos nesta interação.

Materiais e Métodos

Participaram deste estudo dois estudantes em nível de ensino médio. O critério para a escolha desses estudantes consistiu em anunciar entre os alunos de um determinado curso pré-universitário em Brasília,DF, que estavam sendo solicitados, para participação em um estudo, alunos que se julgassem com dificuldades no desempenho em Física, principalmente em atividade de resolução de problemas, em conteúdos de Eletricidade. A nossa experiência com a formação de professores de Física para o ensino médio, indica ser este um dos tópicos em relação ao qual os alunos deste nível apresentam grandes dificuldades de aprendizagem. Por isso, esses conteúdos foram estabelecidos por nós.

Os dois primeiros alunos que se apresentaram foram tomados como sujeitos. Um deles, de sexo masculino, com 20 anos de idade e tendo cursado o nível médio em escola pública do Distrito Federal, havia feito dois anos de curso pré-universitário e tinha ingressado recentemente na universidade, estando prestes a iniciar seu primeiro semestre letivo nessa instituição. O outro, também de sexo masculino, com 21 anos de idade, tendo cursado o nível médio, em nível técnico, em escola pública do Rio de Janeiro, já havia tentado o vestibular em três oportunidades e se encontrava freqüentando um curso pré-universitário.

Ambos se dispuseram a participar do estudo em cinco sessões individuais, nas quais se abordou uma situação de resolução de problemas em Física, no conteúdo de Eletricidade.

Cada um dos dois alunos foi submetido a cinco sessões individuais de resolução de problema. A primeira sessão de cada aluno centrou-se na identificação da dificuldade que o aluno tinha neste tópico. Solicitou-se que ele traduzisse essa dificuldade em termos de um problema que ele não foi capaz de resolver em situação escolar.

As sessões seguintes se desenvolveram em torno de conceitos de Eletricidade através de um procedimento embasado na mediação desses conceitos: “partiu-se sempre da noção que o sujeito considerava ter algum conhecimento, do registro escrito desse conhecimento, a partir do qual um problema era colocado, seguido da solicitação ao sujeito de nos fornecer uma justificação ou explicação, esperando que isto pudesse alimentar a reestruturação dos processos de pensamento que ele empregava para chegar à solução do problema apresentado” (Fávero & Carneiro Soares, 2000, p.26).

Todas as sessões individuais, com tempo médio de duração de 70 minutos, foram registradas em áudio e transcritas na íntegra; os materiais escritos dos alunos, em cada uma delas, foi anexado.

As sessões individuais de resolução de problemas em Física, pelos alunos, com conteúdo centrado em Eletricidade e transcritas na íntegra, foram analisadas segundo a teoria dos campos conceituais conforme proposta por Vergnaud (1990), que permite o exame, de forma coordenada, dos conceitos envolvidos na compreensão de várias categorias de problemas, bem como seus procedimentos de simbolismo representativo e a análise dos erros.

Após a transcrição integral das sessões, fizemos a seleção dos trechos mais significativos de acordo com os objetivos previamente definidos, em termos da explicitação dos componentes do campo conceitual envolvido e o tipo de interação predominante.

Também fizeram parte dessa análise os materiais escritos produzidos pelos alunos em cada sessão correspondente de RP.

Resultados e discussão

A transcrição das sessões individuais de resolução de problemas pelos alunos forneceu farto material para análise, do qual selecionamos fragmentos das sessões de interação entre a pesquisadora (E_1) e cada um dos sujeitos (S_1 e S_2) para serem aqui apresentados, os quais, na nossa opinião, são bastante representativos das questões abordadas neste estudo. Apresentamos seis fragmentos para cada um dos sujeitos. Optamos por apresentar, após cada um desses fragmentos, uma discussão do seu significado em termos do campo conceitual envolvido. Chamamos a atenção que as inferências feitas nas discussões estão baseadas, em parte, em trechos das entrevistas não transcritos neste trabalho pois nos pareceu inadequada, uma transcrição completa das entrevistas.

Sujeito 1

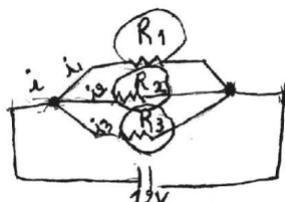
Fragmento 1.1

E_1 : “Então é o seguinte: você não teve problema pra achar a resistência equivalente porque a mesma corrente que passa aqui passa aqui né? Então, o que acontece? A resistência equivalente desse trecho aqui é a soma das resistências. Aí você fica com uma aqui e outra aqui em paralelo. Por que elas estão em paralelo? Você já falou isso. A corrente chega aqui e faz o quê?”

S_1 : Se divide

E_1 : Ela se divide. Ela se divide em quantidades iguais?

S_1 : Não.



E_1 : O que define a intensidade da corrente que vai pra um lado e pro outro?

S_1 : O que define a intensidade da corrente?

E_1 : O que define assim. Não pense em definição, daquele jeito que você vê nos livros. Eu estou perguntando assim: o que faz com que a corrente tenha um valor maior pra um lado do que pro outro. Ela não divide na metade, nesse caso. O que faz com que ela divida em valores diferentes?

S_1 : Eu acho que é a resistência

E_1 : O valor da resistência?

S_1 : Sim.

E_1 : Pra onde você acha que tem corrente maior e menor? Onde está a maior e a menor aqui? Essa resistência aqui é de 2? essa aqui é de 4? .

S_1 : Isso eu lembro... Eu percebia isso muito por aquela fórmula $V = Ri$. Se a gente tem uma d d p de 12V por exemplo, isso aqui...

E_1 : d d p onde?

S_1 : Aqui, nessa fonte. Então se a gente tem uma resistência de 4? e essa aqui que a gente está tratando. Então, que corrente seria essa aqui? 3 ampères. Se a gente tiver tratando com a resistência de 2? , que corrente seria essa? de 6 ampères.

S_1 : Então isso é lógico porque se você tem uma resistência menor vai poder passar mais corrente. Se você tiver uma resistência maior vai poder passar menos corrente.

E_1 : Tá, então a quantidade maior vai pra onde ela tem menos resistência pra passar...

S_1 : É”.

Como podemos observar, E_1 conduz o sujeito no estabelecimento do percurso da corrente elétrica no circuito, relacionando intensidade de corrente e valor da resistência.

Em termos do campo conceitual dos circuitos simples de associação de resistores temos aqui o teorema-em-ato: “A intensidade da corrente será maior no trecho do circuito que oferece menor resistência à sua passagem (caminho mais fácil)”. Os conceitos-em-ato presentes na compreensão dessa situação são, por exemplo, variação da corrente, divisão da corrente, associação de resistores.

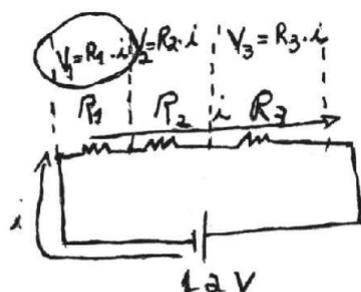
Esses invariantes operatórios (conceitos-em-ato e teorema-em-ato) fazem parte da situação da determinação das intensidades das correntes, dentro do campo conceitual dos circuitos elétricos simples.

Esse trecho mostra que é possível, a partir de uma situação problema, levar o sujeito a trabalhar com os invariantes operatórios de um dado campo conceitual, sem fornecer a informação a priori, desde que, de alguma forma, tais invariantes estejam presentes em seu conhecimento prévio, ainda que alternativos em relação aos invariantes cientificamente aceitos.

Mesmo considerando que S_1 já tinha um certo conhecimento, a evidência era de que esse conhecimento não estava relacionado em termos do campo conceitual em questão.

 Fragmento 1.2

- E_1 : “É. Porque ddp não é uma diferença de potencial entre os terminais de um resistor, percorrido por uma corrente i , pela lei de Ohm? Qual é então a ddp que passa entre estes pontos aqui? É um V que não é esse V .”
 S_1 : É, não é esse aqui não. Seria o valor de R_1 multiplicado por essa corrente i que não muda.
 E_1 : Então põe aí $V = R \cdot i$. Então seria um V_1 . Agora coloca quais seriam as ddp nos terminais dos outros resistores... Dá pra você inferir alguma coisa daí?



$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$\frac{V_{eq}}{i} = \frac{V_1}{i} + \frac{V_2}{i} + \frac{V_3}{i}$$

$$V_{eq} = V_1 + V_2 + V_3$$

- S_1 : É que em série a ddp seria diferente do que nas resistências em paralelo porque como a gente tem valores diferentes nas resistências, a corrente vai ser a mesma nesse circuito todo. No circuito em paralelo, as correntes estão se dividindo e depois elas vão se juntar. Então na associação em paralelo, nos terminais o valor da ddp vai ser a mesma. Então eu calculando a resistência equivalente eu acharia o valor da corrente. Aqui elas estão em série então a corrente não vai se dividir, ela vai ser a mesma durante todo o trecho. Então eu vou ter valores de ddp diferentes em R_1 , R_2 e R_3 .
 E_1 : E como a gente acharia e justificaria, com base nessas informações, a expressão para a resistência equivalente?
 S_1 : A resistência equivalente nesse circuito em série seria a soma dos resistores R_1 , R_2 e R_3 .
 E_1 : Tá. Então, a resistência equivalente seria igual a V/i , então põe em termos de V e i .
 S_1 : $V_{equivalente}/i = V_1/i + V_2/i + V_3/i$ então $V_{equivalente} = V_1 + V_2 + V_3$.
 E_1 : Tá, saiu a informação que eu quero. Então quando eu tenho uma associação de resistência em série o que muda é que nos terminais eu tenho uma ddp diferente. Portanto, como é que fica a expressão para R equivalente?
 S_1 : Substituindo dá $R_{equivalente} = R_1 + R_2 + R_3$.
 E_1 : Tá bom. Tem alguma dúvida nisso? Ficou alguma dúvida?
 S_1 : Não”.

Conduzido por E_1 , S_1 deduz a expressão para a resistência equivalente de uma associação em série de resistores, a expressão ou a “fórmula” ele já conhecia mas não sabia o seu significado.

Esse procedimento apresenta três estágios muito significativos em termos do trato com o campo conceitual envolvido.

No primeiro estágio, E_1 chama a atenção para a identificação dos diferentes valores de ddp entre os terminais das resistências em série, ao que S_1 concorda e identifica a representação para a ddp em um dos trechos, aplicando a lei de Ohm ao resistor R_1 .

No segundo estágio, ao ser solicitado por E_1 , S_1 deduz que haverá diferentes valores de d e p entre os terminais de cada uma das diferentes resistências em questão. Ele faz isso justificando em termos da relação entre a divisão ou não da corrente nos tipos diferentes de associações de resistores.

No terceiro estágio, conduzido por E_1 , S_1 deduz a expressão para a resistência equivalente da associação em série se utilizando, sem dificuldades, da expressão da lei de Ohm.

Nesse procedimento estão envolvidos dois teoremas-em-ato importantes:

- 1) “Na associação em série de resistores a corrente não se divide, os valores de d e p são diferentes para cada resistor e a resistência equivalente é a soma das resistências que compõem a associação”.
- 2) “Na associação em paralelo de resistores a corrente se divide, tem o mesmo valor de d e p nos terminais das resistências e o inverso da resistência equivalente é igual a soma dos inversos das resistências que compõem a associação”.

Os conceitos-em-ato importantes envolvidos no procedimento são: divisão e não divisão da corrente elétrica, resistência equivalente, associação de resistores.

Ao ser conduzido por E_1 no processo de dedução ilustrado acima, S_1 não apresenta dificuldades significativas que pudessem comprometer o desenvolvimento do procedimento de dedução. Isso sugere que ele possui os invariantes operatórios do esquema referente a associações de resistores no campo conceitual dos circuitos elétricos simples.

Fragmento 1.3

E_1 : “Dá pra você me falar um tipo de problema que você não consegue resolver, com esse conceito de força elétrica?”

S_1 : Posso até estar enganado, mas tem um problema que eu nunca consegui acertar que é aqueles que tem umas cargas, pede para calcular alguma coisa aqui, vai ter vetor. Vai ter repulsão entre essas duas cargas negativas aqui e ele pedia pra calcular coisas como o valor dessas cargas...

E_1 : Bom, então vamos aproveitar esse problema que você propôs, de cargas elétricas nas extremidades de um triângulo. Vamos considerar que esse triângulo é equilátero, e lados \square e que em cada vértice do triângulo a gente tem uma carga de mesmo valor e são todas positivas. Mas antes de considerar isso aqui, vamos ver uma coisa: imagine que você tenha uma situação problema onde tenha apenas uma carga. Tem sentido falar em força elétrica se eu tenho uma situação problema onde eu tenho uma carga só?

S_1 : Não. Pra existir uma força elétrica eu tenho que ter pelo menos duas cargas. Elas vão estar interagindo uma com a outra e criando uma força. Vão estar se atraindo ou se repelindo.

E_1 : E em que caso elas vão estar se atraindo?

S_1 : Quando elas têm sinais diferentes.

E_1 : E em que caso elas vão estar se repelindo?

S_1 : Quando elas têm o mesmo sinal”.

S_1 propõe uma distribuição de cargas em uma configuração que caracteriza os vértices de um triângulo. Essa configuração é muito comum nos livros de texto do nível médio.

Ao representar o problema S_1 já estabelece os sinais das cargas elétricas e mostra que sabe que está lidando com grandezas vetoriais, sem identificá-las (“vai ter vetor...”).

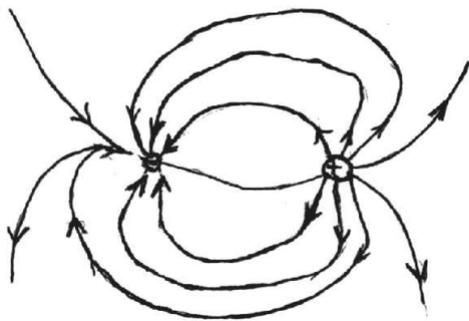
E_1 mantém a configuração proposta por S_1 para o problema e estabelece algumas condições para ele, identificando as grandezas envolvidas, com o intuito de deixar o problema “manejável”.

E_1 pergunta se tem sentido falar em força elétrica quando se tem apenas uma carga, ao que S_1 responde que não, demonstrando com uma justificativa que possui a idéia de força elétrica como força de interação à distância. E_1 também tem estabelecidas as idéias de forças elétricas de atração e de repulsão relativamente aos sinais das cargas envolvidas.

Com isso S_1 demonstra conhecer alguns elementos importantes das situações que caracterizam o campo conceitual da Eletrostática.

Fragmento 1.4

- E₁: “... você se lembra como é que foi definido campo elétrico, como foi introduzida essa grandeza campo elétrico?”
 S₁: Olha, o que eu lembro é que a gente tem uma carga, que pode ser positiva ou negativa e tem as linhas de força.
 E₁: Certo. É uma carga sozinha ou precisa de mais uma?
 S₁: Não, ela está sozinha.
 E₁: Está sozinha. Qual que está sozinha, essa aqui ou essa aqui?
 S₁: As duas podem estar sozinhas. Aí eu não sei se entra e sai... As linhas de força chegam e saem. Aí também, estando elas duas, a que sai vem pra cá, entra aqui assim.



- S₁: Aí ela ficaria assim, só saindo.
 E₁: Radialmente?
 S₁: É radial. Ela não faz curvinha não. Ela é radial mesmo”.

- E₁: Isso aí são as linhas de força... que indicam, então, o que? Essas linhas de força estão definidas para indicar o que? O campo?
 S₁: O sentido do campo elétrico.
 E₁: O sentido do campo elétrico? Onde? Ao longo delas?
 S₁: Ao longo desse espaço aqui.
 E₁: Ao longo desse espaço aqui. Mas, exatamente a linha de força serve pra que? Por que inventaram isso aí? Isso aqui é um auxílio, pra gente visualizar o fenômeno, não é? Então, a linha de força realmente foi definida para representar o vetor campo elétrico em qualquer ponto nessa região. Nesse caso que você desenhou. As linhas de força você falou que não lembra se saíam ou se entravam na carga. Ele, por definição, sai sempre de cargas positivas e chega nas cargas negativas. Mas como é que ficariam as linhas de força pra uma carga só? Sem ser uma perto da outra. Imagine uma carga positiva só. Como é que fica, você se lembra?

Ao recordar de como é definido o campo elétrico S_1 se apoia nas “linhas de força”. Por ser um poderoso instrumento da representação do campo elétrico, E_1 conduz a discussão nesse tema, para verificar se S_1 sabia o seu significado e o utilizava corretamente. Aparentemente, S_1 não tem dificuldades em relação ao significado e a utilidade dessa representação, nas situações apresentadas.

A idéia de “linhas de força” faz parte do significativo do conceito de campo elétrico, sendo uma das suas representações mais fortes. Faz parte também do significado pois pelo menos dois importantes teoremas-em-ato deveriam ser manejados pelo aprendiz: o vetor campo é sempre tangente às linhas de força e a intensidade do vetor campo é proporcional à proximidade (na verdade, o número de linhas por unidade de área) das linhas de força.

Fragmento 1.5

- E₁: “... Porque o que seria essa força elétrica F então? Não seria a força elétrica entre essa carga aqui e essa carga de prova?”
 S₁: Seria.
 E₁: Então vamos trabalhar isso matematicamente. Ache a expressão para o módulo do campo por essa expressão, essa primeira definição. Agora, como você vai trabalhar só com o módulo...
 S₁: ... Aí, o que aconteceu foi o seguinte: utilizando a expressão para a força elétrica sobre a carga de prova, aí fui desenvolvendo matematicamente até chegar a expressão que o campo elétrico é igual constante do meio vezes essa carga que está provocando essa alteração no meio sobre o quadrado da distância que existe entre essa carga e a carga de prova.
 E₁: Tá. Então agora, lembra da explicação que você me deu, ou que tentou dar a respeito dessa expressão aqui? Você já viu que essa expressão é igual a essa. Só que aqui você usou um Q , que na verdade você falou que era uma carga de prova. Que Q é esse?
 S₁: É o Q que provoca o campo elétrico.
 E₁: Tá. Então agora dá pra explicar a expressão do campo elétrico. Então, a expressão que traduz o campo elétrico, significa o quê? Qual é o significado físico dela? A intensidade do campo é igual ao quê?
 S₁: A intensidade do campo é igual ao valor dessa carga...
 E₁: Que carga?
 S₁: Que está provocando o campo elétrico, multiplicado por essa constante do meio onde esta carga está, sobre a distância entre essa carga que provoca o campo elétrico e uma carga de prova que existe nesse meio.
 E₁: A distância entre a carga que está provocando o campo e...
 S₁: A carga de prova.
 E₁: Mas não tem carga de prova aqui. Porque na verdade, no nosso trabalho matemático ela sumiu. Lembra?
 S₁: Sim.
 E₁: Então nessa expressão aqui, você não pode falar em carga de prova porque ela não está aí, não é? Então o que acaba nos dando esse tratamento com as grandezas envolvidas? O campo elétrico gerado por uma carga Q é igual a K , que é constante, vezes Q , a carga que gera o campo sobre a distância ao quadrado do ponto onde eu estou calculando o campo. Então, na verdade, tem sentido falar assim: o campo elétrico provocado por uma carga pontual Q num ponto a uma distância d da carga...
 S₁: Ah, sei!

E₁: ... Então, fisicamente é isso: o campo elétrico provocado por uma carga Q em um ponto a uma distância d da carga é igual a essa expressão aqui. É diretamente proporcional a carga e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre a carga e o ponto onde eu quero saber o valor do campo. Você tem que saber de onde vem porque senão fica essa estória dessa carga de prova aí que na hora que você tem que usar a expressão, você não sabe o que é o que vai aí, não é? Não sabe quem é quem”.

E₁ conduz S₁ através de um longo procedimento de dedução da expressão do campo gerado por uma carga Q, solicitando explicação, a cada passo dado por S₁, e identificando cada um dos termos nas expressões intermediárias. Ao final da dedução e, então, esclarecido que aquela carga Q na expressão era a que gerava o campo e não a carga de prova a qual S₁ se referia sempre.

Na verdade, a utilização da carga de prova para a dedução dessa expressão é um fato, mas quando tal procedimento não é compreendido fisicamente ocorre esse tipo de confusão. Ou seja, S₁ sabe a expressão, aplica-a mecanicamente, mas não domina o seu significado físico na totalidade e suas implicações. S₁ não domina o campo conceitual da grandeza força elétrica.

Fragmento 1.6

E₁: “Então vamos imaginar que eu tenho um quadrado e eu tenha aqui uma carga q₁ e aqui uma carga q₂. Eu quero saber o valor do campo elétrico num outro vértice do quadrado. Imagine que o quadrado tenha um lado de tamanho l. Você poderia me dar a expressão e me dizer como é que se trabalha para determinar a grandeza campo elétrico aqui?”

S₁: Aqui é uma carga também?

E₁: É. Eu tenho um quadrado com cargas fixas aqui e aqui.

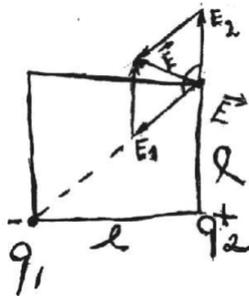
S₁: São cargas fixas, né?

E₁: São cargas fixas aqui e aqui e eu quero saber o campo provocado por essas cargas nesse vértice do quadrado. Como é que você faria?

S₁: ...

E₁: Lembra que é uma grandeza vetorial, não é?

L₁: ...”



S₁: “Então teria que fazer associação de vetores aqui.

E₁: Tá. Digamos que uma carga seja negativa e que a outra seja positiva. Como você faria.

S₁: ...

E₁: Lembra das linhas de força. As linhas de força dão a direção e o sentido do campo elétrico, tá? Então essa carga negativa aqui provoca um campo elétrico aqui que está sempre na linha que une (outra coisa importante), na direção da linha que une o centro da carga ao ponto. Agora, pra onde aponta o vetor é dado pela linha de força. Você sabe que, de uma carga positiva, as setinhas saem. O vetor que representa o campo, é radial pra fora na carga positiva. E da negativa ele entra. Então começa desenhando o campo elétrico nesse campo produzido por cada uma das cargas. Desenha...

S₁: Aqui nesse positivo, como o vetor está saindo, seria assim.

E₁: Isso, põe a setinha.

S₁: Aqui, nesse negativo, como ele estaria entrando, então seria pra lá.

E₁: Apontando pra onde?

S₁: Para carga negativa.

E₁: Isso. Então como é que é? Como você vai fazer apontando pra carga negativa aí?

S₁: Então tem que ser pra cá, né?

E₁: Isso! É na linha que une o ponto à carga. Isso, é aí mesmo. Coloca F₁ e F₂. F₁ devido a carga 1 e F₂ devido a carga 2. Certo?

S₁: Certo”.

⋮

E₁: “(dando instruções sobre o desenho). Olha aí. Onde cruzou é a ponta da seta do vetor. Qual é então o vetor resultante?”

S₁: Seria do ponto E até aqui.

E₁: Isso. Então desenha. Esse é o vetor resultante. É o campo então.

S₁: É o vetor campo elétrico.

E₁: Exatamente. É o campo sobre essa carga. Tudo bem. E agora? Isso aí tem módulo, direção e sentido. Direção e sentido está desenhado aqui; e o módulo? Lembre-se que é uma grandeza vetorial, igual aquela que nós já calculamos lá atrás. Você lembra que nós calculamos força resultante sobre uma carga, lembra que tinha aquela expressão que tinha raiz quadrada...”

⋮

E_1 coloca o problema a ser resolvido, S_1 apresenta-se bastante inseguro e demora para dar início ao processo de resolução propriamente dita. Mais uma vez constatamos que a maior dificuldade está na natureza vetorial da grandeza envolvida. S_1 tem dificuldade com o tratamento vetorial do campo elétrico.

E_1 conduz então o procedimento de resolução, fornecendo (lembrando) informações importantes para cada passo subsequente. Note-se que quando se trata da representação gráfica do conceito em si, com as convenções associadas, S_1 não tem dificuldades com o procedimento, chegando ao final da resolução, respondendo acertadamente aos questionamentos de E_1 .

Aparentemente, a maior dificuldade de S_1 com o campo conceitual da força elétrica está relacionada à falta de esquemas eficazes para o trato matemático no campo conceitual do campo elétrico. Mas não só, porque demonstrou dificuldade também com a idéia de ação à distância

Sujeito 2

Fragmento 2.1

- E_1 : “Você disse que o seu problema é calcular o quê? Quando tem que somar... Como é? É a resistência equivalente?”
 S_2 : Isso, eu não consigo. Isso pra mim eu fico totalmente perdido.
 E_1 : Você disse o seguinte: tem um negócio que ela vai pelo caminho mais fácil. Quando que ela vai pelo caminho mais fácil? Por exemplo, essa corrente vem aqui, passa por aqui, é a corrente total do circuito não é? É o i . Ela saiu daqui da fonte, vem, passa inteira por esse resistor e aí ela chega aqui. O que acontece com ela aqui nesse ponto?
 S_2 : Eu acho que ela iria direto.
 E_1 : Por que?
 S_2 : Então a força poderia se dividir?
 E_1 : Força?
 S_2 : A energia...
 E_1 : Que energia? A corrente.
 S_2 : A corrente, a corrente.
 E_1 : Então, a corrente, quando chega aqui, o que você acha? Ela dividiria ou não?
 S_2 : Eu acho que ela iria para um lugar só.
 E_1 : Então eu estou perguntando. Por que você acha que ela iria pra um lugar só?
 S_2 : É agora que ela iria pelo lugar mais fácil? É agora?
 E_1 : Não sei...”

Como podemos observar, S_2 não apresenta sequer “rudimentos” do campo conceitual de circuitos elétricos simples. Isso foi constatado ao longo de toda sessão de interação da qual foi retirado esse fragmento.

Fragmento 2.2

- E_1 : “Olha bem a situação e vê se tem algum motivo, alguma outra coisa no circuito que faça com que a corrente se divida.
 S_2 : Não. Ela vai passar, mas ela não vai passar com a mesma... ela vai perdendo, não vai? Ou vai passar igual em todas?
 E_1 : Então, eu quero saber. Você acha que ela vai perdendo ou ela vai passar...
 S_2 : Acho que ela vai perdendo.
 E_1 : Vai perdendo. Por que? Ela gasta quando passa pelo resistor?
 S_2 : Eu acho que sim.
 E_1 : Então vamos para essa situação aqui. O que acontece com ela aqui?
 S_2 : Aí ela se divide.
 E_1 : Então aqui ela tem um valor, aqui ela tem outro e aqui ela tem outro. Põe aí i_1 , i_2 , i_3 , só para gente não se perder.
 S_2 : Tá. (identificando as correntes).
 E_1 : Tá. Então o que acontece? Ela chega aqui e se divide em valores diferentes dependendo dos valores das resistências como você já me disse. O i_1 passa por R_1 , o i_2 passa por R_2 e o i_3 passar por R_3 . e aí chega aqui e elas juntam. Ou não?
 S_2 : Juntam.
 E_1 : Juntam. E qual é o valor da corrente que sai aqui?
 S_2 : Vai ser menor do que a que entrou.
 E_1 : Vai ser menor do que é?
 S_2 : Vai.
 E_1 : Por que? Porque ela gasta quando passa pelos resistores?
 S_2 : É”.

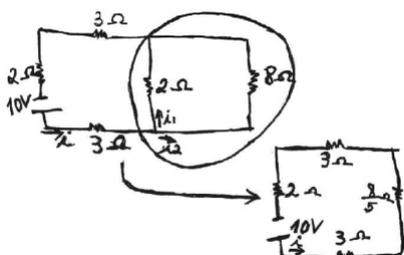
Através de uma discussão, no contexto das associações de resistores em questão, é identificada a dificuldade de S_2 em relação à intensidade da corrente após passar por resistores, no seu percurso através do circuito.

S_2 diz que a intensidade da corrente é menor depois que ela passa por resistores porque ao fazer isso, ela “gasta”. Provavelmente essa sua crença está relacionada com a informação, que ele deve ter, sobre a elevação da temperatura do resistor, quando ele é percorrido por uma corrente. Isso ocorre porque parte da energia elétrica da corrente se transforma em calor e, portanto, a corrente gasta. O sujeito não tem clara a função da fonte no circuito.

Podemos inferir daqui que a posse de um teorema-em-ato (“quando uma corrente passa através de um resistor, parte da sua energia elétrica se transforma em calor”), quando não conectado aos outros componentes do esquema relacionado à corrente elétrica, dentro do campo conceitual dos circuitos elétricos simples, pode dificultar ainda mais o desenvolvimento de outros esquemas que o compõem.

E_1 segue conduzindo S_2 na dedução das expressões em um procedimento dificultado pela grande dificuldade de S_2 com o campo conceitual dos circuitos elétricos simples

Fragmento 2.3



E_1 : “Então, o que nós temos aqui agora? Nós estamos em uma outra fase da resolução de problemas. Desenha como fica esse circuito agora. É como se a gente tivesse essa parte e aí aqui vem uma outra resistência que é essa e essa aqui.

S_2 : (desenhando). Ficaria valendo 8/5.

E_1 : Tá. E os outros valores? Aí não tem mais nada... Por que essa já é a R equivalente a esse conjunto aqui? Você está entendendo esse procedimento?

S_2 : Estou”.

Aqui a pesquisadora leva o sujeito a desenvolver um procedimento importante no processo de resolução de circuitos de associações de resistores: a transformação de uma configuração complexa do circuito em outra mais simples, procurando simplificar a representação para efeito de cálculos.

Trata-se do seguinte teorema-em-ato: “o circuito deve ser simplificado” que corresponde à regra física “o circuito deve ser reduzido a um outro mais simples, através de reduções nas associações dos resistores”, que compõe o esquema da solução desse tipo de circuito.

Fragmento 2.4

E_1 : “Você entendeu exatamente o que a gente fez aqui?

S_2 : Entendi.

E_1 : E o conceito de corrente elétrica está claro para você? Na verdade não é apenas o conceito. É como funciona essa grandeza, como é que eu trabalho com a grandeza corrente elétrica em um circuito onde eu tenha associação de resistores, ficou claro para você?

S_2 : Mais ou menos. Tem que lembrar...

E_1 : E por que o mais ou menos? Está claro essa coisa que eu digo pra você que nesse trecho aqui eu tenho i total e chega aqui ela divide em dois valores. Aí você falou assim: essa é o dobro dessa. Porque você falou isso?

S_2 : Porque eu confundi mesmo. Eu pensei que tinha dividido igual. Não foi o dobro, eu falei que foi a metade...

E_1 : É a metade. Essa é a metade daquela. É.

S_2 : Porque eu pensei que ela se dividiu em partes iguais, mas não foi.

E_1 : Mas por que você imaginou isso?

S_2 : Eu pensei que elas iriam se encontrar e aqui ela passou mais do que aqui...

E_1 : Passou mais o quê?

S_2 : Mais resistores.

E_1 : Então, o valor da corrente, quando ela divide, vai depender dos resistores que ela vai atravessar?

S_2 : É.

E_1 : Vai depender do quê dos resistores?

S_2 : Do valor.

E_1 : Do valor, não da distribuição deles”.

Após a resolução do problema do circuito, a pesquisadora volta a tratar dos procedimentos relacionados à corrente com o intuito de descobrir o motivo de uma informação incorreta do sujeito (sobre a corrente) durante a resolução do problema. A pesquisadora procura o fundamento do erro, o que sustentou o erro, porque este erro poderia ser a parte visível de dificuldades ainda relacionada aos algoritmos que relacionam corrente e associações de resistores deduzidos na sessão anterior.

Neste trecho a pesquisadora avaliou o conhecimento assimilado pelo sujeito em relação a esses algoritmos.

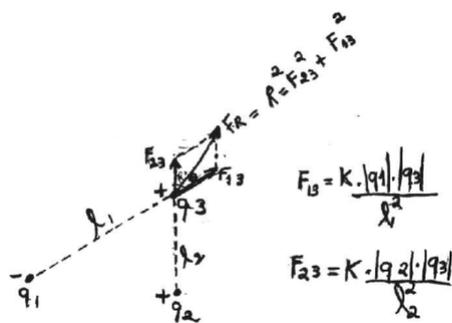
 Fragmento 2.5

- E₁: “Considerando isso que a gente viu, o que eu falei para você, as definições vistas, tem alguma coisa que ainda está obscura e que você quer perguntar?
 S₂: A linguagem de Física de vez em quando confunde, sabe?
 E₁: Me dá um exemplo.
 S₂: Eu não estou acostumado para poder gravar a linguagem de Física, aí fica difícil. A senhora acaba de falar e de repente eu pergunto: o que ela falou?
 E₁: Ah! Sei. Você não lembra de um exemplo?
 S₂: Me lembro quando a senhora falou da energia elétrica nesse ponto aqui e aí passa pra cá. A senhora falou um negócio lá que eu já esqueci.
 E₁: Então ainda tem a dificuldade de você não lembrar ou de você não ter entendido coisas que eu te disse por causa do vocabulário que eu estou usando...
 S₂: É. É muito difícil”.

S₂ tenta explicitar a sua dificuldade atendendo à solicitação de E₁, dizendo que se confunde com a linguagem da Física tendo dificuldades de mantê-la na memória.

Mais uma vez fica evidente a dificuldade do sujeito com a lógica do sistema de representação da Física, o que compromete a construção e a utilização do conjunto de esquemas que darão sentido às situações que compõem os campos conceituais com os quais o sujeito irá se deparar ao estudar essa disciplina.

 Fragmento 2.6



- E₁: “Você já tem tudo aqui. O que você tem que fazer é somar as forças F₁₃ e F₂₃
 S₂: Ah! Tá.
 E₁: Como se faz isso?
 S₂: F₁₃ mais F₂₃...
 E₁: Qual é o módulo de F₁₃? Digamos que a distância entre q₁ e q₃ seja \square_1 e essa aqui, entre q₂ e q₃ seja \square_2 . Escreva a expressão da força entre q₁ e q₃. O módulo, tá?
 S₂: Sim. Seria a constante, a carga q₁ vezes a carga q₃, dividido pela distância \square_1 ao quadrado.

- E₁: Isso, é a F₂₃?
 S₂: F₂₃ seria a constante, a carga q₂ vezes q₃, dividido pela distancia \square_2 ao quadrado.
 E₁: Certo. Essas são as intensidades, os módulos. Porque não é uma grandeza vetorial?
 S₂: É.
 E₁: Tem módulo, direção e sentido. Como é que você acha a força resultante então?
 S₂: ... Teria que multiplicar esse por esse primeiro...
 E₁: Isso aí já é a expressão. Eu quero saber o seguinte: a força resultante, como você obtém? Você soma esses valores?
 S₂: Ah! Tá. Somo os valores. Somo esse com esse...
 E₁: E te dá a força resultante aqui?
 S₂: É.
 E₁: Tá. Não é assim.
 S₂: Não?
 E₁: Não. Por que? Porque isso aqui é o módulo dessa grandeza: só que essa grandeza é uma grandeza vetorial. É uma soma de vetores isso aqui. Você aprendeu a fazer soma de vetores?
 S₂: Aprendi.

- E₁: Então. Então, aqui você tem que fazer uma soma de vetores. Eu dei uma distribuição bem geral... Como é que se soma esses vetores? Os dois vetores não estão saindo da mesma origem?
- S₂: Estão.
- E₁: Como é o procedimento de soma de vetores? Não é uma coisa assim?
- S₂: É.
- E₁: E onde está o vetor resultante?
- S₂: No meio.
- E₁: É isso aqui?
- S₂: É.
- E₁: Tá. Então faz”.

O procedimento de solução do problema pelo sujeito é conduzido pela pesquisadora que intervém no ponto do cálculo do módulo da força resultante quando o sujeito não considera o caráter vetorial da força, procedimento decisivo para resolver o problema.

Apesar de já ter discutido anteriormente nesta sessão sobre o caráter vetorial da força e de admitir que já aprendeu a somar vetores, o sujeito não utiliza esse conhecimento no procedimento de solução do problema, tratando a força, inicialmente, como uma grandeza escalar.

Os conceitos-em-ato importantes envolvidos na compreensão dessa situação são: vetor, força eletrostática, carga elétrica, distribuição de cargas, vetor resultante, interação elétrica, carga parada.

Um teorema-em-ato importante aqui seria: “as cargas elétricas interagem à distância”. Outro, seria: “a intensidade da interação depende da distância”.

A resolução do problema segue sempre com a pesquisadora tutorando o sujeito, tal como está exemplificado no trecho já transcrito.

A parte final dessa sessão se constitui de um diálogo entre pesquisadora e sujeito sobre as dificuldades que este último tem com os conteúdos da área da Física. O sujeito aponta a falta de mais prática com os cálculos envolvidos, com o domínio do conteúdo, com a linguagem dessa área de conhecimento, com o significado de cada grandeza física envolvida nas “fórmulas” e termina dizendo como se sentia, no momento, em relação à Física, como ilustra o trecho abaixo.

- E₁: Pode ser. E você está lembrado de mais alguma coisa, além disso, que seja realmente importante e interfira no processo de resolução de problemas, para você?
- S₂: Pra mim. Como eu já coloquei uma barreira que não gosto de Física então eu não tenho interesse em estudar Física por isso, por essas coisas...
- E₁: Tem a parte da motivação. Você não tem motivação.
- S₂: Não tenho. Agora, quando eu chego em casa, depois dessa entrevista me dá vontade de estudar.
- E₁: Sei. Por que?
- S₂: Porque eu entendi e eu não quero esquecer...”

A colocação da questão da motivação em relação à área de conhecimento como fator importante relacionado às suas dificuldades em Física e que, depois da entrevista “dá vontade de estudar porque não quer esquecer...”, nos indica o peso da motivação inerente à própria aprendizagem. Ou seja, quando o sujeito avalia que aprendeu algo, que conseguiu concluir uma tarefa com algum sucesso, sente-se “motivado” a estudar mais, a trabalhar mais com aquele conteúdo. Então, quando ele toma consciência de alguns elementos do campo conceitual e da sua própria compreensão, mesmo que parcial sobre eles, ele se sente “motivado”. Isso indica, portanto, que o domínio do campo conceitual é progressivo e que o sujeito estava desmotivado porque não havia dominado sequer alguns teoremas-em-ato e conceitos-em-ato iniciais que lhe permitissem “entrar” no campo conceitual dos circuitos simples. Sua aparente motivação ao término das situações de interlocução sugere que aprendeu algo e que a pesquisadora teve um papel mediador importante que em uma situação de ensino em sala de aula corresponderia ao do professor.

Comparando as duas instâncias de interlocução, observou-se claramente que o sujeito 1 tinha mais esquemas de ação para dar sentido às situações propostas dentro dos campos conceituais da Eletricidade, do que o sujeito 2. Lembremos que, para Vergnaud (1990), são os esquemas de ação que dão sentido às situações e que os invariantes operatórios (teoremas-em-ato e conceitos-em-ato) são ingredientes essenciais dos esquemas e constituem sua base conceitual implícita ou explícita. Isso significa que podemos dizer que o sujeito 1 tinha mais invariantes operatórios e mais próximos da conceitualização científica do que o sujeito 2, para trabalhar nos campos conceituais enfocados. Por exemplo, o sujeito 1 tinha um invariante operatório importante que é o da divisão da corrente proporcionalmente às resistências elétricas enquanto que o sujeito 2 tinha um invariante operatório inadequado que é o de que a corrente “escolhe” o caminho da menor resistência (o caminho mais fácil). Ainda como exemplo, o sujeito 2 parecia não ter consciência da pertinência de conceitos-em-ato como divisão da corrente, variação da corrente, e resistência equivalente às associações propostas.

Como já dissemos, nosso problema consistiu, então, em criar situações de interação segundo uma dimensão desenvolvimental, à luz da teoria de Vergnaud, procurando intervir nas operações de regulação cognitiva do sujeito, de tal forma que revisasse seu próprio processo de produção, em um campo conceitual particular da Física, de modo a resultar na reelaboração das ações e dos produtos no processo de RP.

Creemos que é igualmente pertinente estudar a RP em uma situação de intervenção e interação social, como meio adequado para explicitar as regulações cognitivas e, portanto, os processos de construção durante uma situação de RP. Na prática, na sala de aula, o aluno aprende a resolver problemas em situação de intervenção e interação social. Portanto, nada mais natural do que pesquisar RP em condições semelhantes.

Todavia, tanto o professor como o aluno podem não estar plenamente conscientes da situação de intervenção e interação presente na RP, de modo que a proposta de Fávero passa a ter implicação didática, uma vez que requer tomada de consciência e interação social na qual o professor deve atuar como mediador do conhecimento

Em nossa opinião, tomada de consciência se refere tanto a ter consciência da intervenção como do papel de cada sujeito (professor e aluno) na interação social. Refere-se também a tomada de consciência do aprendiz em relação a sua própria cognição no processo de RP.

A proposta de Fávero (2000) está intimamente relacionada com a idéia de construção do conhecimento, Ou seja, a RP é uma construção cognitiva e, como tal, pode ser facilitada. A tomada de consciência e o papel mediador do professor certamente são elementos facilitadores dessa construção.

No que se refere à pesquisa, houve evidência de que a proposta da situação de interlocução e tomada de consciência, pode contribuir para gerar dados que fundamentem ações para a melhoria do ensino de RP em sala de aula. Portanto, é importante continuar utilizando esta proposta em novos estudos, inclusive em situação de sala de aula.

Ainda no âmbito da pesquisa, a teoria dos campos conceituais mostrou-se adequada para referenciar pesquisas na área de ensino de Física. A perspectiva de Vergnaud mostrou-se, portanto, apropriada para fundamentar pesquisas sobre a aprendizagem de campos complexos como, por exemplo, os da Física. Até agora observamos que tal teoria tem sido utilizada principalmente em pesquisas em Educação Matemática.

Quanto às implicações para o ensino, vale a pena insistir na ação mediadora do professor na RP em sala de aula. A ação da pesquisadora na interlocução da pesquisa realizada nesse trabalho foi análoga à do professor em uma interlocução didática, deixando claro que essa mediação é indispensável no desenvolvimento do processo de RP.

Outra implicação é a de que, na perspectiva dos campos conceituais de Vergnaud, que fundamenta esta pesquisa, a aprendizagem significativa de um campo conceitual como, por exemplo, o dos circuitos elétricos simples, é progressiva e demanda tempo. Na verdade, o domínio de alguns campos conceituais da Física pode levar vários anos para ser efetivado. Portanto, é natural que o aluno apresente muitas dificuldades iniciais no tratamento com certos campos conceituais e o professor deve ajudá-lo, mediando o conhecimento, a superar progressivamente tais dificuldades. É nessa perspectiva de complexidade, progressividade e continuidade/ruptura que, acreditamos, devem ser encarados a aprendizagem e o ensino de certas áreas da Física.

Subjacente a tais implicações para o ensino há outra: o domínio dos campos conceituais por parte do professor. Ainda que venha a perceber melhor o papel da RP na aprendizagem da Física, ainda que venha a se conscientizar que a trajetória do aluno em um campo conceitual é tortuosa e demorada, ele não poderá exercer um papel mediador de maneira adequada se não dominar amplamente esse campo conceitual.

Referências

- Allal, L. & Saada- Robert, M. (1992). La métacognition: Cadre conceptuel pour l'étude des régulations em situation scolaire. *Archives de Psychologie*, 60,265-296.
- Fávero, M. H. & Carneiro Soares, M. T. (2000). Initiation scolaire et notation numérique: une question pour l'étude du development cognitive adult. Colloque "Construtivismes: usages et perspectives en education", Genève, 4-8 septembre 2000, Resumés, p. 26, Université de Genève, Suisse.
- Fávero, M. H. & Sousa, C. M. S. G. (2001). Resolução de problemas em Física: revisão de pesquisa, análise psicológica e proposta metodológica. *Investigação em Ensino de Ciências*, 6 (2).
- Fávero, M. H. (2000) Regulações cognitivas e metacognitivas do professor de primeiro grau: uma questão para a articulação entre a psicologia do desenvolvimento e a psicologia da educação matemática. Em: XXX Reunião da Sociedade Brasileira de Psicologia, Resumos de Comunicações Científicas. Brasília, DF: Prática Gráfica e Editora Ltda., p. 11-12.
- Flavell, J.H. (1976). Metacognitive aspects of problem solving. In: L.B. Resnick (Ed) *The nature of intelligence* (pp 231-235). Hildale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Franchi, A. (1999). Considerações sobre a teoria dos conceituais. In Alcântra Machado, S.D. et al. (1999). *Educação Matemática: uma introdução*. São Paulo: EDUC. pp. 155-195.
- Sousa, C. M. S. G. (2001). A Resolução de Problemas e o Ensino de Física: Uma Análise Psicológica. Tese de Doutorado. Instituto de Psicologia, Universidade de Brasília

- Sousa, C. M. S. G. & Fávero, M. H. (2001). Concepções de Professores de Física sobre Resolução de Problemas e o Ensino de Física. Painel apresentado no III Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Atibaia, SP, 7 a 10 de novembro de 2001.
- Vergnaud, G. (1983a). Quelques problèmes théoriques de la didactique a propos d'un exemple: les structures additives. *Atelier International d'Eté: Recherche em Didactique de la Phyque*. La Londe les Maures, França, 26 de junho a 13 de julho.
- Vergnaud, G. (1983b). Multiplicative structures. In Resh, R. and Landau, M. (Eds.) *Aquisition of Mathematics Concepts and Processes*. New York: Academic Press Inc. pp.127-174.
- Vergnaud, G. (1988). Multiplicative structures. In Hilbert, J. and Behr, M. (Eds). *Research Agenda in Mathematics Education. Number, Concepts and Operations in the Middle Grades*. Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum. Pp. 141-161.
- Vergnaud, G. (1990) La théorie des champs conceptuels. *Recherches em Didactique des Mathématiques*, 10 (23): 133-170.
- Vergnaud, G. (1994). Multiplicative conceptual field: what and why? In Guershon, H. and Confrey, J. (1994). (Eds) *The development of multiplicative reasoning in the leaning of mathematics*. Albany, N.Y.: State University of New York Press. pp. 41-59.
- Vergnaud, G. (1996a). A trama dos campos conceituais na construção dos conhecimentos. *Revista do GEMPA*, Porto Alegre, nº4: 9-19.
- Vergnaud, G. (1996b) Algunas ideas fundamentales de Piaget em torno a la didáctica. *Perspectivas*, 26(1): 195-207.
- Vergnaud, G. (1998) A comprehensive theory of representation for mathematics education. *Journal of Mathematical Behavior*, 17(2): 167-181.

Recebido em 15.02.2002

Aceito em 02.08.2002