
CORRENTE ELÉTRICA E CIRCUITO ELÉTRICO: ALGUMAS CONCEPÇÕES DO SENSO COMUM+*

*Jesuína L. A. Pacca*¹

Instituto de Física – USP

São Paulo – SP

*Ana Fukui*²

E. E. Pe. Manoel da Nóbrega

São Paulo – SP

Maria Christina F. Bueno

E. E. Dr. Felício Laurito

Ribeirão Pires – SP

Regina Helena P. Costa

E. E. Cap. Pedro Monteiro do Amaral

São Paulo – SP

Rosa M. Valério

E. E. Prof. Jácomo Stávale

São Paulo – SP

Sueli Mancini

E. E. Pe. Manoel da Nóbrega

São Paulo – SP

Resumo

O ensino de Física no Ensino Médio geralmente reserva para o conteúdo de eletricidade o estudo de alguns problemas de circuitos e outros de eletrostática, sem que seja aprofundada uma discussão sobre a relação entre os dois assuntos. Muitos dos termos utilizados para conceituar os elementos envolvidos nos fenômenos elétricos são conhecidos pelos alunos e utilizados na linguagem livre do senso comum, associados a concepções sobre átomo e corrente elétrica, construídas na vivência do cotidiano. Neste trabalho, procuramos estudar as concepções de corrente elétrica, de um

+ Electric current and electric circuit: some conceptions of everyday language

* *Recebido: dezembro de 2001.*

Aceito: março de 2003.

¹ Apoio parcial do CNPq

² Bolsista da FAPESP

ponto de vista da estrutura dos materiais e da geração dessa corrente elétrica. A pesquisa foi realizada com as informações obtidas por quatro professoras de Física com seus alunos do Ensino Médio, através de material escrito. Nem todas estavam ensinando eletricidade no momento em que os dados foram obtidos. O instrumento utilizado para obtê-los constou de duas questões sobre o tema; as respostas foram solicitadas em forma de desenho, com a possibilidade de texto verbal complementando ou explicando, mais detalhadamente, o desenho. Os resultados mostraram quatro características principais dessas concepções que podem constituir barreiras epistemológicas para a aprendizagem e pretendem ser subsídios para ensinar eletricidade a esse nível.

Palavras-chave: *Concepções em eletricidade, concepções de circuito dc, corrente elétrica, modelo atômico.*

Abstract

Electricity contents in secondary school Physics teaching usually deal with some problems related to circuits and others on electrostatics but a deep discussion relating both contents is generally absent. Many words that identify elements of electrical phenomena are frequently used in everyday language associated with conceptions of atoms and electric current. In this paper the conception of electric current is related to the material structure and to its generation. The research involved students of four secondary school teachers; they were not teaching electricity at that moment. Two questions on the selected content were used with the students and answers, presented as text or drawings were analysed. The results show four main categories of common sense conceptions and they were considered as epistemological barriers for learning.

Keywords: *Conceptions on electricity, dc circuits, electric current, atomic model.*

I. Introdução

O curso de Física no Ensino Médio costuma deixar para o último ano o conteúdo que trata a eletricidade e a Física moderna. Os professores, em geral, consideram que esse assunto é mais difícil, porém, como têm que apresentá-lo –pois irá se constituir em uma fração significativa das questões do vestibular– encontram um modo de abordá-lo, geralmente resolvendo

problemas de circuitos e outros de eletrostática, sem que seja aprofundada uma discussão sobre a relação entre os dois assuntos e sem que se dê oportunidade aos alunos de expressarem suas dificuldades em compatibilizar suas concepções sobre cargas elétricas e o estabelecimento de corrente elétrica no interior de um condutor (elemento essencial de um circuito).

Por outro lado, muitos dos termos utilizados para conceituar os elementos envolvidos nos fenômenos elétricos são conhecidos pelos alunos e utilizados na linguagem livre do senso comum, associados às suas concepções sobre átomo e corrente elétrica, construídas na vivência do cotidiano.

As pesquisas que se desenvolveram nos últimos vinte anos oferecem quantidade significativa de informações sobre essas concepções que são utilizadas em explicações do dia-a-dia, para situações específicas envolvendo a corrente elétrica (Hartel, 1982; Shipstone, 1984); algumas oferecem modelos parciais resultantes da organização das características encontradas.

O trabalho de Fredette e Clement (1981) com estudantes universitários teve, como principal objetivo, estudar as influências dessas concepções no laboratório didático, no qual se enfrentam problemas concretizados em experimentos específicos. Solomon tem se dedicado por vários anos a essa pesquisa, iniciada com alunos de 11 a 14 anos, partindo de questões como: O que é a eletricidade? Com que se parece?, e analisando respostas dadas sobre figuras nas quais se tenta localizar a eletricidade. Partindo dos resultados mais significativos sobre a origem dessas concepções, os autores (Solomon et al, 1985) partem para propostas de ensino através de analogias que seriam mais adequadas, analisando o modo pelo qual os alunos as utilizam e as interpretam.

Dupin e Joshua (1987) também propõem uma analogia especial com os fenômenos térmicos para ensinar e apresentam resultados positivos de aplicação em sala de aula. Outros autores (Hartel, 1982; Psillos e Koumaras, 1988) focalizam o ensino aproximando-se dos conceitos formais da Física oficial, com a introdução de corrente, tensão e resistência, de forma qualitativa e tomando como eixo a idéia de circuito dc; neste caso, as concepções são discutidas de forma ampla e sob diversos focos ao longo do trabalho na sala de aula.

Outras pesquisas preocupadas em subsidiar mais diretamente o professor oferecem elementos para o estabelecimento de pontes/analogias, facilitadores da mudança conceitual e aprendizagem da Física aceita (Driver, 1989; Viennot, 1991). Entretanto, a utilização desses resultados pelos professores ainda é pequena e as dificuldades que encontram com a compreensão do conteúdo parecem ser a principal causa da ausência desses elementos/recursos na sala de aula (Eylon, 1990) .

As investigações sobre as concepções dos estudantes intensificaram-se na década de 80 com a condução de trabalhos sistemáticos, baseados na análise de conteúdo presente nas expressões dos estudantes, quando resolviam questões científicas em sala de aula. Uma das autoras pioneiras (Viennot, 1979) mostrou que era possível construir uma “teoria” alternativa que dava conta das explicações dadas pelos indivíduos para os conceitos estabelecidos da mecânica elementar; posteriormente seu grupo desenvolveu esse tema para outros conteúdos da Física: calor, óptica, eletrocinética, etc.

Com essa referência no conteúdo aceito pela ciência clássica ou contemporânea, dependendo do nível de ensino focalizado, muitos outros autores continuaram pesquisando tais teorias alternativas, ou, de modo menos articulado, concepções presentes no senso comum em geral. Estas receberam diferentes denominações ao longo da década por diversos autores e seus pontos de vista (Caramazza et al, 1981 ; Driver, 1989; Tiberghien, 1983; Viennot, 1979, 1985).

A grande quantidade de publicações sobre o tema na maioria das revistas nacionais e internacionais permitiu construir um referencial de pesquisa a partir de uma metodologia definida no campo da análise do discurso (análise de conteúdo) e trabalhando com dados de natureza qualitativa. A obtenção desses dados levou os pesquisadores a desenvolverem instrumentos adequados com base nas feições e características do material que trazia o conteúdo, bem como na natureza, qualidade e especificidade do conteúdo e significado do produto esperado.

Nós trataremos de concepções de senso comum, ou simplesmente concepções dos estudantes, procurando significar de modo geral a forma particular pela qual o conteúdo científico em questão aparece na expressão de grande parte dos sujeitos, sem nos preocuparmos com a origem dessas concepções. Em especial, iremos tratar do conteúdo físico da corrente elétrica que se estabelece num circuito DC simples.

O conceito de corrente elétrica não costuma ocupar muito tempo de discussão em sala de aula, sendo apresentado e, a seguir, associado com circuitos e aplicação da lei de Ohm. As idéias de carga elétrica e modelo atômico que os alunos têm construído, principalmente no curso de Química, são aplicadas geralmente em problemas para analisar reações químicas e estruturas moleculares; nas aulas de Física, quando muito, para fenômenos simples de eletrostática, analisados superficialmente pelos efeitos aparentes de alguns fenômenos.

Neste trabalho, procuramos estudar as concepções para a corrente elétrica, de um ponto de vista da estrutura dos materiais e das fontes produtoras

dessa corrente elétrica: a ênfase estará na compreensão que os alunos têm sobre a sua natureza e das condições para sua condução, produzindo os efeitos observados. Procuraremos organizar e definir algumas características que compõem as concepções de senso comum; a intenção é também, em um próximo trabalho, ter informações adequadas para discutir a consistência entre um eventual modelo de corrente elétrica e um modelo atômico, representado pelos alunos.

II. A pesquisa e a natureza dos dados coletados

A pesquisa foi realizada com as informações obtidas por quatro professoras de Física com seus alunos de nível médio; no total foram envolvidos cerca de 200 alunos. As referidas professoras fazem parte do grupo de pesquisa e nem todas estavam ensinando eletricidade para esses alunos; para a 3ª série, esse assunto estava sendo iniciado. A tabela mostra a distribuição dos alunos pelas diferentes séries de cada professora A, B, C, D e indica se os alunos já estudaram esse conteúdo nas aulas de Física (F) e se já passaram pelo curso de Química (Q).

Prof ^a	Quantidade de alunos	Série	Já estudaram o assunto em Física?	Já estudaram o assunto em Química?
A	40	1 ^a	Não	não
A	46	2 ^a	Não	sim
B	20	2 ^a	Não	sim
D	20	2 ^a	Não	sim
A	45	3 ^a	início	sim
C	31	3 ^a	início	sim

O instrumento utilizado para obter os dados consta, basicamente, de duas questões sobre o tema cujas respostas são solicitadas em forma de desenho. De início, já se considerava que as respostas através dos desenhos dessem maior oportunidade de expressão para um conteúdo, cujo formalismo é visto mais tarde na escola e para o qual encontram-se muitas situações da vida diária dentro de fenômenos que envolvem corrente e cargas elétricas. Esse material foi recolhido e seu conteúdo constituiu-se na fonte dos dados da nossa pesquisa; porém, neste trabalho consideramos para a análise somente as informações dadas na segunda questão, relativas à corrente elétrica.

A primeira questão – *Desenhe um átomo, dispondo de lápis e canetas coloridas que desejar* – além da solicitação da representação de um ente físico,

pretendia estimular as respostas de Física, criando um ambiente favorável e descontraído. Recolhido o material, ocorreu uma discussão livre com a classe, na qual os alunos puderam comentar suas respostas e compará-las com as dos colegas. Essa oportunidade foi dada pelas professoras que, em seguida, convidaram os estudantes a observar um experimento que se consistiu de *uma pilha ligada por dois fios condutores, fazendo acender uma lâmpada*, e a dar explicações para o fenômeno.

O objetivo desse tratamento com a classe, entre a apresentação das duas questões, não foi registrar dados, mas criar um contexto em que átomos, cargas e correntes elétricas estivessem presentes; esperava-se que com essas atividades fosse construído um contexto de pensamento e de explicação de um fenômeno elétrico, preparando a resposta à segunda questão. Essas respostas agora forneceriam os dados necessários.

A segunda questão –*Desenhe a corrente elétrica num trecho dos fios do experimento apresentado*– procurava chamar a atenção para os elementos condutores da corrente elétrica e a sua estrutura.

A disposição para dar as respostas foi, em geral, muito boa; os indivíduos sentiram-se sempre capazes de dar alguma resposta e logo partiram para os desenhos. Algumas delas contêm texto completando a resposta e a explicação dos desenhos; o texto escrito também foi utilizado como fonte de informação para obtenção dos dados.

O material foi analisado procurando compreender e dar sentido às explicações e às concepções dos alunos, que estavam presentes na representação da corrente elétrica e nas eventuais justificativas escritas; para eles, tratava-se de explicar por que a lâmpada acende e, através de desenho e/ou texto escrito, representar aquilo que poderia indicar as condições para que isso ocorresse. A análise desse material apóia-se na análise do conteúdo implícito no discurso (aqui concretizado no texto ou no desenho) muito utilizada em pesquisas com dados qualitativos (Lüdke, 1983); não nos deteremos na descrição dessa metodologia já abundantemente apresentada em outros trabalhos, porém, deve ficar claro que entre o discurso explícito e as categorias de análise construídas na pesquisa estão hipóteses interpretativas dos autores. Portanto, as categorias foram criadas a partir de uma impregnação inicial nos dados e, ao longo da análise, reforçadas pela frequência das ocorrências e pela coerência global dos dados do discurso explícito.

As respostas, no conjunto, foram muito variadas e uma primeira vista das mesmas mostrou uma grande heterogeneidade. Se para o átomo havíamos encontrado respostas já bastante conhecidas e veiculadas no dia-a-dia e até mesmo no contexto didático e educacional para a corrente tivemos muitas

surpresas. Mesmo sem ter sido solicitado, a maioria dos alunos apresentou respostas escritas; talvez motivados pelo experimento apresentado sentiram necessidade de explicar a luz da lâmpada como efeito da eletricidade.

Nossa análise aqui irá restringir-se aos dados obtidos com a segunda questão e procuraremos interpretar os resultados com vistas a estabelecer características das concepções dos sujeitos estudados.

Com a leitura atenta das respostas, algumas começaram a chamar a nossa atenção; de forma aparentemente diferente, apresentavam uma certa regularidade, ao mesmo tempo em que se mostravam relevantes no contexto de uma explicação para o fenômeno/efeito observado. Porém, no conjunto estudado, nenhuma das explicações parecia coerente com o modelo científico, o que justificava a procura de concepções, alternativas ao conhecimento físico estabelecido e que pudessem eventualmente estar articuladas com um modelo.

Em algumas respostas, encontramos palavras utilizadas na Física, mas sem o correto significado científico; os termos: força, pólos positivo e negativo, energia, eletricidade, reação, átomos, moléculas, partículas, elétrons, curto-circuito, equilíbrio, apareceram distribuídos por todos os sujeitos. Com uma análise superficial poderíamos até pensar que eles tinham alguma idéia de corrente elétrica, constituída por cargas, deslocando-se sob certas condições, etc; mas, analisando as suas expressões com mais cuidado e detalhe, principalmente as trazidas pelos desenhos, percebemos que essa idéia de corrente elétrica e a sua representação estavam longe de ser a da Física estabelecida.

As concepções dos sujeitos inferidas das respostas, através do desenho ou da escrita, mostraram características incompatíveis com a concepção científica que puderam ser melhor identificadas ao serem interpretadas com categorias especialmente criadas. Tais categorias tinham referência no conteúdo latente das respostas (na forma de desenho ou verbal) representando a compreensão do fenômeno e eram capazes de significar falhas fundamentais no conteúdo essencial, do ponto de vista científico.

Os desenhos, em primeiro lugar, deram os exemplos mais sugestivos. A quantidade de detalhes, revelando características de um modo especial de pensar a microestrutura dos materiais foi surpreendente. Cada desenho dava conta amplamente dos diferentes atributos do conceito pesquisado: a origem da corrente elétrica, a composição, a natureza, o comportamento dentro da pilha e nos fios, o papel dos diferentes elementos do circuito, pilha, fios, lâmpada. Nesse material, detivemo-nos, por muito tempo, esboçando já algumas categorias para análise; em seguida, passamos às respostas verbais escritas para organizar as categorias mais definitivas.

Estabelecemos algumas categorias que parecem incluir e dar conta de grande parte das respostas e são passíveis de serem articuladas em uma concepção mais global para a corrente elétrica que se estabelece em um circuito simples.

Para maior clareza, embora não tenha sido essa a ordem de leitura dos dados, apresentaremos as categorias consideradas, compostas com as expressões escritas; posteriormente, incluiremos os elementos dos desenhos analisados nas principais informações, de acordo com suas características. Tais informações puderam ser incluídas nas categorias já definidas.

III. Categorias para uma conceituação do senso comum

III.1. Energia, carga, força e eletricidade

Os termos energia, carga, força e eletricidade são utilizados indistintamente, sem dar conta do processo nem apresentar características essenciais de corrente elétrica, tais como: fluir, ter uma direção de percurso, ser constituída de cargas. Essa energia não é associada com a origem e a natureza microscópica do material onde está presente –a pilha ou os condutores. Os alunos dizem que a energia é da pilha e está principalmente no pólo positivo e alguns também afirmam que é produto de uma reação química, sem mais explicações:

- Energia positiva é composta por moléculas de entrada, que são carregadas de eletricidade positiva. Energia negativa é a saída da corrente.

- ... carga negativa com positiva cria uma força, ou seja eletricidade “faísca”.

- A pilha tem energia; eletricidade passa através do fio para acender a lâmpada;

- Toda a eletricidade está somente na pilha, quando você envolve o fio na pilha para a lâmpada e com isso fará que a lâmpada se acenda, ou seja vai haver radiação.

A idéia da energia e da eletricidade é alguma coisa mágica que faz acender a lâmpada; sobre o processo a explicação é superficial:

- A lâmpada acende porque na pilha existem pólos (positivo/negativo) e quando ligamos os dois pólos cria-se uma força chamada Energia, que acende a lâmpada...

- Reação química faz eletricidade;

- Para acender a lâmpada não se precisa apenas de eletricidade, pode-se usar qualquer outra energia;

- A lâmpada acende porque existe eletricidade (energia) que é armazenada por substâncias químicas no interior da pilha....

III.2. Duas correntes que se opõem

Apesar de haverem conexões unindo todos os elementos num caminho fechado, não aparece a função de condutor da eletricidade ao longo de todo um circuito fechado. Os diferentes elementos em cada ramo que sai da pilha conduzem partes atômicas em diferentes sentidos de percurso, um positivo e outro negativo, e geralmente o filamento da lâmpada não faz parte do circuito, *“as forças se equilibram na molinha”*. O movimento de partículas, quaisquer que sejam elas, aparece interrompido quando encontra a lâmpada ou tem continuidade através do soquete metálico; refere-se à energia que chega até a base da lâmpada pelos dois caminhos e, que de algum modo, faz a lâmpada acender. Em explicações muito freqüentes, um fio leva da pilha a energia positiva, que pode ser excesso de átomos, excesso de partículas e o outro fio leva a energia negativa, que pode ser excesso de elétrons, ou eventualmente leva menos partículas, menos energia:

- Um fio contém energia positiva e outro contém energia negativa. As forças têm que ser diferentes. O negativo passa menos energia e o positivo mais energia.

- Tem que ter positivo e negativo, porque a força se equilibra. Só positivo queima a lâmpada. As forças se equilibram na molinha.

- Cargas positivas e negativas se movimentam pelo fio até a lâmpada. Ela nunca acenderá com apenas um pólo.

- O pólo positivo sobe pelo fio do lado esquerdo da lâmpada e o pólo negativo sobe através do fio de cobre, pelo lado direito do fio da lâmpada; as duas se equilibram na molinha da lâmpada, fazendo-a acender (pólo positivo - prótons, pólo negativo - elétrons).

As características de uma corrente elétrica não estão presentes, como o fluir com continuidade no caminho todo, incluindo o filamento. O desenho ou as explicações verbais não apresentam continuidade da corrente; ao contrário, no circuito dois sentidos entram em choque ao encontrar a lâmpada.

O circuito da corrente elétrica é apresentado através de uma linha saindo dos pólos e chegando à lâmpada. Parece existir um excesso de elétrons reunidos em um pólo e falta de elétrons no outro. Os pólos (+) e (-) dão a idéia de quantidades, às vezes mostrando uma igualdade entre eles.

De qualquer modo, fica descaracterizado um circuito elétrico fechado. O filamento aparece muitas vezes no desenho, sem revelar o que acontece dentro dele e a sua importância no circuito elétrico; é indicado por traços mais fracos e por pequeninas espirais. No texto, raramente é referido com o significado de condutor.

III.3. Quebra de circuito

Para esta categoria, os desenhos são ótima fonte de dados. A pilha é considerada como fonte de energia, pois serve para a produção de cargas negativas e positivas, e os fios servem como condutores dessa energia porém, sem se fecharem em um circuito que inclui o filamento da lâmpada; é o encontro das cargas que saem dos pólos de sinais opostos, que ocorre apenas no soquete, o qual faz a lâmpada acender.

Utilizam um sentido único para a “energia”, do positivo para o negativo; entretanto, mesmo considerando que o circuito fora da lâmpada apresenta o mesmo sentido de percurso para a eletricidade, o filamento fica sempre excluído na representação de partes atômicas que se movem, interrompendo o circuito elétrico. A energia pode ir do positivo para o negativo passando pelo filamento ou apenas na rosca da lâmpada e saindo pela base. Entretanto, o movimento global tem somente um sentido, sendo o fio apenas uma ponte para a energia ou a eletricidade chegar na lâmpada. De algum modo, aparece uma preferência no sentido do movimento e o resultado da composição pode estar no soquete ou mesmo no filamento (pouco comum):

- Porque quando o fio positivo leva a energia da pilha, aquecendo o tungstênio, acende a lâmpada, e o negativo traz a energia da pilha de novo.

- A lâmpada acende porque o lado positivo é como se fosse a força (a alimentação) e o negativo a Energia, que passa para o lado positivo fazendo com que a lâmpada acenda....

- Energias se juntam (+) e (-) geram força que se movimenta pela pilha, fio...

- Para acender a lâmpada, foi passada uma carga de 1,5v- e 1,5v+ e, com a união dessas duas forças, a lâmpada acende; a pilha serve para se obter energia.

- Dentro das pilhas tem energia igual à eletricidade. Se pegar dois fios e juntar as duas pilhas, a energia das pilhas passa pelos fios que chega até a base da lâmpada e ela acende.

III.4. Luz/faísca/curto-circuito

Nesta categoria aparecem intenções de explicar o aparecimento de luz no filamento. A explicação mais comum atribui a produção de luz à faísca, quando dois opostos se encontram. Algo que está armazenado nos extremos dos fios, na junção com a lâmpada, de repente explode. Também não há referência à idéia de circuito com continuidade: o positivo e o negativo (energia ou carga) se encontram na rosca ou no filamento da lâmpada e explodem, aí, então, morrem. De cada lado chega alguma coisa, que pode ser energia positiva e negativa que se equilibram, isto é, anulam-se ou completam-se, após ocorrer um curto-circuito ou uma reação.

O filamento da lâmpada não aparece como um fio condutor semelhante aos fios de ligação com a pilha; é o lugar em que, de algum modo, aparece luz; para isso, chegar “energia” ao soquete é suficiente para acender a lâmpada. A idéia da faísca supõe que a pilha possui pólos de sinais diferentes, cada um produzindo cargas positivas ou negativas; para gerar luz, estas cargas se deslocam por fios diferentes e quando se encontram no soquete da lâmpada, *acontece uma descarga que faz acender a lâmpada:*

- O positivo e o negativo, ao se encontrarem na lâmpada, causam um curto-circuito na molinha.

- Reação no filamento – encontro do positivo com o negativo.

- Energia até a lâmpada, com um pólo (-) e um (+) que, ao entrarem na lâmpada, se encontram e causam curto-circuito, que faz com que a molinha que existe dentro dela, que por sua vez transmite calor e brilho (luz).

Quando as polaridades se encontram, há um curto que ocasiona a energia luminosa.

Mesmo os que pensam em um movimento de corrente em um único sentido consideram que, no filamento, alguma coisa vai ser acumulada e, em um certo instante, gerar a luz. São exemplos disso as respostas que se referem a armazenar ou concentrar energia, como se fossem forças vindas da pilha com predomínio de um dos pólos:

- A passagem de elétrons é liberada pela pilha; estes conduzirão até a lâmpada, onde entrarão em “curto-circuito”.

- As forças (+) e (-), onde no lado (+) há algo a mais do que no (-), juntas provocam o calor para gerar a luz na lâmpada.

- ...a energia elétrica chega e queima a mola da lâmpada...

- Na lâmpada a energia elétrica que foi conduzida, até ela, entra em contato com o filamento, e vai se concentrando nele, com isso é possível que

ocorra energia luminosa.

- Ocorre atrito entre os elétrons passando corrente elétrica de um pólo para outro, gerando energia luminosa.

III.5. Expressões triviais sem significado aparente

Não existe uma precisão na linguagem dos alunos; utilizam palavras estranhas, vagas e usadas no dia-a-dia: molinha, curto-circuito, faísca, atrito das partículas, energia elétrica, queimar a molinha –termos que se misturam aos nomes dos conceitos físicos estabelecidos e aceitos cientificamente. As palavras *força*, *eletricidade* e *energia* estão presentes em todas as explicações, não transparecendo nenhuma distinção entre seus significados. Referindo-se à corrente elétrica, aparecem termos tais como: moléculas de energia ou corrente de energia. Utilizam energia (+), energia (-) ou até mesmo átomos para se referirem a elétrons. A palavra *força*, quando empregada, tem o mesmo sentido da mecânica, e parece que tenta explicar a própria diferença de potencial:

- Quando passa corrente, a lâmpada acende ou vai ocorrer uma radiação.

- Passa pelo fio “moléculas de energia”;

- Pelos fios passa “corrente de energia”;

- Energia (+)/Energia (-);

- Acender a lâmpada é a energia que sai da pilha, uma “força” que vem de dentro;

- É quando a energia negativa e a positiva se juntam, dão uma “descarga” na lâmpada e fazem com que ela acenda.

IV. Representação gráfica da corrente elétrica – os dados interpretados

Os textos escritos mostram as dificuldades dos indivíduos em conceber a estrutura dos materiais condutores (filamento, fios, elementos da pilha) e também em compreender o interior da pilha capaz de alimentar o circuito. A interpretação dos desenhos reforça esta dificuldade e acrescenta informação sobre a circulação da corrente elétrica.

Os desenhos mostraram-se férteis em caracterizar a concepção dos alunos nesse nível de ensino; o detalhe com que são apresentados permite inferir um modelo que procura explicar o fenômeno apresentado concretamente. À figura reproduzindo a situação são acrescentados símbolos e legendas que dão o caráter de explicação; assim, o desenho deixa de ser estático e revela concepções sobre a dinâmica do processo representado. Essa forma de expressão permitiu

obter mais informações de uma população ainda com pouco domínio do conteúdo formal sobre o tema de eletricidade.

Alguns dos desenhos exemplares estão reproduzidos nas figuras a seguir. Os elementos presentes nos desenhos de todos os alunos foram analisados incluindo-se nas categorias já descritas. Isto não significa entretanto que essas informações gráficas não tenham servido também para a elaboração desse conjunto de categorias. Os elementos mais significativos para análise e classificação estão sublinhados no texto que se segue, referindo-se a cada figura exemplificada no quadro apresentado.

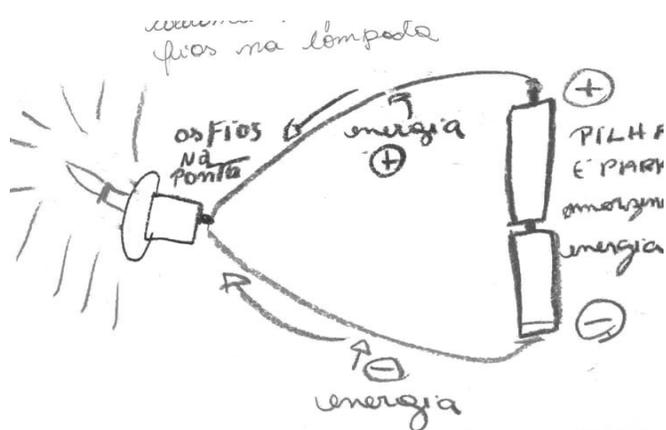


Fig. 1

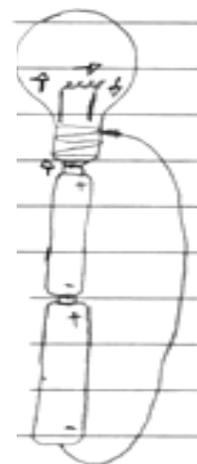


Fig. 2

A Fig. 1 tem vários elementos interessantes: fica caracterizada a corrente com dois sentidos, nomeada de energia, indicada por (+) e (-), em cada ramo do circuito. O filamento não é representado e o soquete da lâmpada aparece com destaque, parecendo dar continuidade às ligações concretas dos fios. A luz que aparece representada na lâmpada não tem relação aparente com os elementos representados no “circuito”; o filamento também não aparece deixando para a luz uma origem indefinida, talvez explicada por uma faísca ou um curto-circuito. Relacionando-se com as respostas verbais que se referem a “faísca” e “curto-circuito”, poderíamos dizer que na base está a idéia de dois caminhos para a corrente, ignorando a condução no filamento.

A Fig. 2 desloca toda a atenção para a lâmpada, com a corrente aparentemente percorrendo (?) o filamento; nota-se a ligação correta com a base do soquete, inclusive com a polaridade da pilha. Entretanto, o fio condutor externo não parece ter função na condução da eletricidade. Nota-se que o filamento não se conecta com o soquete, o que reforça a interpretação de que ele não faz parte de um circuito completo com a pilha, sendo também um exemplo da quebra de circuito, neste caso, com o fio condutor externo.

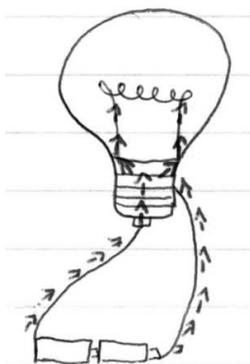


Fig. 3

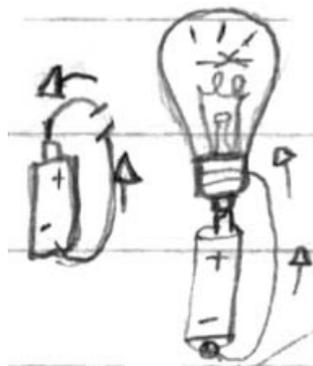


Fig. 4

A Fig. 3 mostra a corrente com dois sentidos chegando inclusive no filamento, mas não passando por ele; também não está clara a conexão dos extremos do filamento com a parte (central ou a externa) do soquete; é interessante notar que a parte do filamento em forma de espiral não tem nenhum elemento de circulação representado; ao contrário da Fig. 2, ele parece constituir uma quebra de circuito no filamento. Em alguns casos, esta situação atribui o acender da lâmpada ao “equilíbrio de forças”.

A Fig. 4 mostra a corrente (?) no condutor externo saindo do pólo negativo da pilha; o filamento não faz parte do circuito e parece não conduzir nada. A iluminação da lâmpada é representada por alguma coisa que ocorre no filamento; a explicação escrita comum nestes exemplos é que a energia armazenada produz o brilho. Ao lado da lâmpada, o detalhe permite interpretar o caso de um circuito quebrado pela introdução da lâmpada; a circulação não se completa.

V. Conclusões

Parece haver uma forte inconsistência entre as concepções de corrente elétrica e da estrutura dos condutores associada à concepção de átomo e de cargas elétricas que são estudadas na Química, certamente pelos alunos das 2^a e 3^a séries. O conceito de corrente elétrica é, sem dúvida, difícil de conceber e ser relacionado à estrutura atômica dos materiais; mesmo com a preparação em sala de aula de um contexto de pensamento com a evocação do átomo e da disponibilidade de expressão menos limitada pelo formalismo da linguagem verbal, as representações e explicações para a corrente elétrica não incluíram adequadamente ou claramente esses elementos sugeridos.

As categorias elaboradas, além de constituírem um fértil instrumento da pesquisa, parecem ser também uma contribuição fundamental para o professor enfrentar as dificuldades dos alunos e ajudá-los a construir a concepção da Física; elas mostram as falhas conceituais, especificamente localizadas e que são críticas na compreensão do modelo físico para a corrente elétrica e um circuito elétrico capaz de se constituir e de acender uma lâmpada.

Se considerarmos que a primeira atividade realizada pelos alunos evocava a representação de um átomo, surpreende-nos, de certo modo, que não houvesse a preocupação em compatibilizar essa representação com a da corrente elétrica na segunda atividade. Parece que o fio condutor não é constituído dos átomos e elétrons a que se referiam nas figuras, apesar de alguns dizerem que o fio de cobre é bom condutor de eletricidade.

Alguns chegam a afirmar que partículas e átomos estão na pilha, e que o fio transporta algo como carga elétrica, porém o processo parece não ser compreendido; junto à essa dificuldade, aparecem expressões do tipo: *“o pólo positivo manda energia positiva, ou manda mais energia”* e a palavra corrente desaparece nessa forma de explicar. Também o processo pelo qual a lâmpada acende, “brilha”, dificilmente é atribuído a um efeito atômico ou da corrente que percorre o filamento.

As categorias criadas nos permitem interpretar os resultados com foco na geração e na dinâmica da corrente elétrica; esses dois focos nos parecem significativos para referenciar as concepções dos estudantes, na medida em que oferecem interpretações úteis para localizar as barreiras conceituais e, ao mesmo tempo, podem ser também focalizados para analisar o conteúdo científico.

Os conceitos que focalizam a geração estão principalmente na primeira categoria; nesta, há uma tentativa de referência à estrutura, mas “cargas” e “reação química” são termos que aparecem indistintamente, como “energia” e “eletricidade”. Há um certo apelo ao conteúdo da Química, mostrando entretanto dificuldades em ligar a eletricidade a elementos da estrutura dos materiais: *Para acender a lâmpada não se precisa apenas de eletricidade, pode-se usar qualquer outra energia.*

As categorias 2 e 3 dão, principalmente, informação sobre a condução de cargas e constituição de corrente com características muito próprias do senso comum, que representam incompatibilidades consideráveis com o modelo científico de corrente elétrica e de circuito.

Consideramos aqui a existência de barreiras conceituais importantes na construção do conhecimento científico desse conteúdo: a questão

de duas correntes em oposição em um circuito e a do circuito “aberto”. Essas concepções são reforçadas com a explicação dada para a luminosidade da lâmpada.

Os resultados deste trabalho pretendem oferecer subsídios para o professor planejar seu curso, bem como encaminhar discussões em sala de aula. A atenção para as expressões dos alunos só pode auxiliar de fato na condução das aulas, com vistas à aprendizagem, se for possível interpretá-las e atribuir-lhes significado. Retomando a interpretação, construída a partir da análise das respostas sobre um problema de Física em eletricidade, concluímos que o modelo de corrente elétrica disponível para o senso comum tem características essenciais que se constituem em barreiras conceituais, impedindo a construção do modelo científico dentro de uma aprendizagem significativa.

Os atributos organizados em categorias permitem focalizar a atenção nos erros que os alunos cometem em situações particulares e tentar compreendê-los dentro de um modo de pensar alternativo mais global, que estaria presente na fundamentação dessas concepções errôneas. A compreensão dos erros permitiria ao professor encontrar situações didáticas que levassem o aluno ao conflito cognitivo necessário para a ocorrência de mudança conceitual e possibilidade de aprendizagem significativa. Isto é, as aparentes confusões entre os termos para designar conceitos e as explicações superficiais, incoerentes e incompletas são mais profundas do que parecem. A idéia de que a corrente elétrica se estabelece sem um circuito fechado, e que duas correntes, uma positiva e outra negativa, entram em choque, parece ser o ponto crucial na formação desse conceito; esse modo de entender torna sem sentido toda a conceituação da eletricidade, em particular o conceito de diferença de potencial e de energia armazenada na pilha.

Diante dessa dificuldade, uma recomendação para o professor proporia, de algum modo, criar situações para surgir a necessidade de “puxar” junto com a de “empurrar” cargas elétricas ou energia, para contradizer o senso comum na concepção de que a pilha (somente) “manda energia”, “as partículas saem da pilha” e os condutores são caminhos abertos para esse fluir; em consequência disso, o circuito não necessita ser fechado e a corrente elétrica não precisa passar pelo filamento para torná-lo incandescente.

Outro resultado interessante foi a constatação da riqueza da atividade com desenho para diagnosticar esses modelos pouco formalizados e oferecer material para discussão e confronto de idéias na sala de aula. Além disso, essa atividade é realizável independente da competência particular de cada um no domínio do assunto, o que torna os alunos mais espontâneos e dispostos a se expressarem.

A inconsistência entre o modelo atômico e o modelo de corrente elétrica deve ser motivo de estudo futuro e aprofundado, mas já sugere que a integração entre as disciplinas nesse nível de ensino pode ajudar na aprendizagem, se considerada como elemento para integrar a explicação e a solução dos problemas sobre fenômenos reais nesse campo. Parece inaceitável que, neste caso, a Química e a Física não se comuniquem.

VI. Referências bibliográficas

CARAMAZA, A.; McCLOSKEY, M.; GREEN, B. Naïve beliefs in sophisticated subjects: misconceptions about trajectories of objects. *Cognition*, v. 9, p.117-123, 1981.

DUPIN, J. J.; JOSHUA, S. Una analogía térmica para la enseñanza de la corriente continua en electricidad: descripción y evaluación. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 8 n. 2, p.119-126, 1989.

DRIVER, R. Students' conceptions and the learning of science. *International Journal of Science Education*, v. 11, n. 5, p.481-90, 1989.

EYLON, B. S.; GANIEL, U. Macro-micro relationships: the missing linking between electrostatics and electrodynamics. *International Journal of Science Education*, v. 12, n. 1, p.79-94, 1990.

FREDETTE, H.; CLEMENT, J. Student misconceptions of an electric circuit: What do they mean? *Journal of College Science Teaching*, v. 5, p.280-285, 1981.

HARTEL, H. The electric circuit as a system: a new approach. *European Journal of Science Education*, v. 4, n. 1, p.45-55, 1982.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. A. Pesquisa em Educação: Abordagens qualitativas. São Paulo: EPU, 1983.

PSILLOS, D.; KOUMARAS, P.; TIBERGHEN, A. Voltage presented as a primary concept in an introductory teaching sequence on d.c. circuits. *International Journal of Science Education*, v. 6, p.185-198, 1988.

SOLOMON, J.; BLACK, P.; OLDHAM, V.; STUART, H. The pupils view of electricity. *European Journal of Science Education*, v. 7, n. 3, p.281-294, 1985.

SOLOMON, J.; BLACK, P.; STUART, H. The pupil's view of electricity revisited: social development cognitive growth? *European Journal of Science*

Education, v. 9, n. 1, p.13-22, 1985.

TIBERGHIEU, A. Revue critique sur les recherches visant à élucider le sens des notions de circuits électriques pour les élèves de 8 à 20 ans. ATÉLIER INTERNATIONAL d'ÉTÉ: RECHERCHE EN DIDACTIQUE DE LA PHYSIQUE. La Londe les Maures, France, 1983.

VIENNOT, L. Spontaneous reasoning in elementary dynamics. European Journal of Science Education, v. 1, n. 2, p.205-221, 1979.

VIENNOT, L. Analysing students' reasoning: tendencies in interpretation. American Journal of Physics, v. 53, n. 5, p.432-436, 1985.

VIENNOT, L.; KAMINSKI, W. Participation des maîtres aux modes de raisonnement de leurs élèves. Enseñanza de las Ciencias, v. 9, n. 1, p.3-9, 1991.