
AS TRÊS FORMAS DA EQUILIBRAÇÃO: ANÁLISE DO MATERIAL DIDÁTICO DE UM CURSO DE ELETRICIDADE BÁSICA

Orlando Aguiar Jr.
Faculdade de Educação – UFMG
Belo Horizonte – MG

Resumo

As possibilidades de conduzirem o planejamento e a organização de materiais didáticos segundo uma orientação derivada do construtivismo piagetiano são exemplificadas na análise do material de um curso de eletricidade básica oferecido pelo CECIMIG a professores de Ciências da Rede Estadual de Ensino de MG. Identificamos níveis qualitativamente distintos no desenvolvimento dos conteúdos do ensino tendo como referência as etapas INTRA, INTER E TRANS propostas por Piaget e Garcia (1987) e as três formas de equilíbrio que regulam, em última instância tais ultrapassagens (Piaget, 1976). As atividades propostas pelo material utilizado nesse curso pretendem promover mudanças conceituais progressivas relativas aos níveis de entendimento assim identificados.

I. Introdução:

Um dos desafios colocados à formação e à prática docente tem sido a busca de convergência entre os elementos do ensino (planejamento, escolha de textos, condução de atividades) e as aprendizagens que pretendemos promover (que envolvem processos e mecanismos de regulação). Face ao acesso cada vez mais generalizado a editores de texto e serviços de fotocópias, a elaboração de materiais didáticos compatíveis com os dados fornecidos pela pesquisa em ensino de ciências constitui um novo campo de possibilidades e necessidades do professor na condução de seu trabalho pedagógico.

Nesse trabalho, pretendemos defender um ponto de vista segundo o qual a Teoria da Equilíbrio (Piaget, 1976) e as etapas de construção de conhecimento propostas por Piaget e Garcia(1987) constituem não apenas um referencial teórico importante para a compreensão do processo de mudanças conceituais em sala de aula

(Aguiar Jr., 1995), como também para a proposição de formas de planejar e organizar os conteúdos e atividades do ensino. Iremos exemplificar tais possibilidades a partir da análise do material didático de um curso de eletricidade básica.

O projeto central da epistemologia genética foi o de propor uma explicação para a construção do conhecimento científico. Ou seja, trata-se de considerar os mecanismos de passagem de estados iniciais e incompletos de conhecimento para estados considerados como sendo de maior validade. A Teoria da Equilibração consiste num modelo capaz de fornecer uma resposta a este problema. Parece-nos evidente a proximidade entre as questões formuladas por Piaget e aquelas com as quais se depara a educação em ciências. Isso não significa, entretanto, que possamos transpor diretamente os resultados de um domínio específico (a psicologia ou a epistemologia) para outro (a pesquisa pedagógica), nem tampouco que haja identidade entre os elementos do ensino e os processos de aprendizagem que se pretende, através dele, promover.

Piaget(1976) descreve três formas de equilíbrio, de complexidade variável, segundo os elementos envolvidos. Em "Psicogênese e História das Ciências", Piaget e Garcia (1987/1982) caracterizam etapas, denominadas INTRA, INTER e TRANS, que se sucedem, sempre nessa ordem, em todos os domínios do pensamento humano. As fases intra, inter e trans resultam de uma análise comparativa do conteúdo das aquisições quando postas em relação com as precedentes. Na fase intra predominam as propriedades e atributos, na fase inter as relações e transformações, e na fase trans, as totalidades, modelos ou teorias.

Segundo Piaget e Garcia (1987: 132) o que explica a generalidade dessa seqüência em todos os domínios do pensamento e em todos os níveis de formulação, são as condições que as leis gerais de assimilação e equilíbrio impõem a toda aquisição cognitiva. As formas de equilíbrio referem-se ao processo que conduz o sujeito a elaborar novos instrumentos (operatórios, práticos ou conceituais) em suas interações com o real. O termo equilíbrio resulta da atividade que conduz a um novo e mais favorável patamar de equilíbrio, como resultado da compensação de perturbações (novidades) identificadas pelo sujeito e que lhe parecem ameaçar a estabilidade e coerência de seu modo de compreender e agir sobre a realidade.

A primeira forma de equilíbrio, que conduz à fase **INTRA**, decorre da interação fundamental entre os esquemas do sujeito e os objetos a assimilar. Esta primeira forma de equilíbrio, identificada com a mais elementar forma de mudança conceitual, consiste numa fase prévia e necessária de análise de casos particulares não ainda, ou insuficientemente, ligados entre eles. Assim, ao abordar um domínio novo, o sujeito encontra-se de imediato na obrigação de assimilar os dados desse domínio aos seus próprios esquemas. Tais dados consistem geralmente em atributos do objeto a assimilar. Podemos identificar essa primeira forma de equilíbrio em situações apresentadas a sujeitos mais novos. Sua incapacidade de dissociar e coordenar os fatores em jogo os leva a fixar sua atenção num único atributo do objeto de cada vez, normalmente aquele que lhe parece mais evidente. Disso podem resultar juízos contraditórios entre si.

É preciso, entretanto, desfazer o equívoco de pôr em correspondência biunívoca essa primeira forma de equilíbrio e as reações próprias do pensamento pré-causal. Todos nós, adultos escolarizados, podemos ter uma relação com os objetos do conhecimento que nos conduza a uma equilíbrio de tipo "intra". Isso pode se dar tanto pela natureza do objeto com o qual interagimos (e as lacunas existentes para forjar uma compreensão mais articulada do mesmo), quanto por nosso envolvimento com o problema e o contexto no qual se apresenta, o que pode nos conduzir a elaborar respostas mais ou menos sofisticadas. Os limites dessa primeira forma de equilíbrio decorrem da ausência ou insuficiência das coordenações entre os esquemas (com diferenciação e integração). Entretanto, ela se constitui numa fase preliminar e necessária na abordagem de novos domínios, e constitui uma equilíbrio que poderíamos julgar "fraca" se considerarmos seus resultados.

Um segundo patamar de equilíbrio, que conduz à fase **INTER**, consiste na busca de equilíbrio entre os esquemas de assimilação que compõem o quadro conceitual do sujeito, a partir de um jogo de assimilações e acomodações recíprocas¹. Os esquemas constituídos na fase anterior não poderiam permanecer isolados e, cedo ou tarde, as exigências da equilíbrio imporão formas mais ou menos estáveis de coordenações e transformações. A segunda forma de equilíbrio pressupõe a diferenciação entre esquemas, sem a qual não é possível coordená-los entre si. Portanto, a ênfase se desloca de estados e atributos (fase intra) para transformações e relações (fase inter).

A terceira forma de equilíbrio implica, além disso, a integração dos subsistemas assim coordenados de forma a constituir uma nova totalidade, subordinando as transformações da fase anterior a grandes estruturas de conjunto. Nessa etapa (fase **TRANS**), a necessidade intrínseca do modelo se impõe aos novos observáveis construídos dedutivamente no decurso da fase anterior. Esta terceira forma de equilíbrio não se confunde com a segunda pois acrescenta uma hierarquia às simples relações colaterais. Ela consiste na relação das partes com o todo, posterior à relação entre as partes que caracteriza a forma precedente.

As etapas **INTRA**, **INTER** e **TRANS** comportam uma hierarquia claramente definida em termos de um poder explanatório crescente e categorias de análise cada vez mais abstratas. Uma equilíbrio majorante consiste numa reconstrução que provoca reorganizações mais ou menos importantes da estrutura conceitual em direção a uma complexidade crescente do sistema. Disso resulta uma extensão das possibilidades de compreensão e o aumento da sensibilidade da estrutura a eventuais perturbações. Por sua vez, a última etapa é a primeira de uma nova tríade, e assim cada etapa comporta em si própria subetapas que se seguem na mesma ordem e pelas mesmas razões.

¹Uma assimilação recíproca ocorre entre dois ou mais esquemas quando estes aplicarem-se aos mesmos objetos. Para que haja coordenação entre os sistemas a religar, e não apenas fusão deformante, ela pode fazer-se acompanhar de acomodações igualmente recíprocas.

Do ponto de vista do ensino de ciências, a importância da identificação das formas de equilíbrio enquanto patamares de mudança nos parece evidente: conhecendo os obstáculos e o modo de superação de que se valem nossos alunos, teremos ampliadas nossas possibilidades de intervenção no sentido de favorecer a mudança conceitual.

Adotar o construtivismo piagetiano como instrumento auxiliar no planejamento e organização do ensino implica em modificar as atitudes e representações que têm sido formuladas a propósito do conhecimento prévio dos estudantes. Numa perspectiva construtivista, as formas de entendimento dos estudantes não devem ser consideradas como problemas a serem removidos pelo ensino, mas antes como **condição necessária** para progressos posteriores. A existência mesmo das etapas de construção de conceitos num dado domínio evidencia a solidariedade entre continuidades e rupturas no processo de mudança conceitual (Teixeira, S.K. e Pacca, J.L.A., 1994; Aguiar Jr., O., 1995).

Pretendemos ilustrar o potencial destas idéias através da análise do material didático de um curso de Eletricidade Básica, oferecido pelo CECIMIG a professores de Ciências da Rede Estadual de Ensino de Minas Gerais. Não faremos aqui uma análise das mudanças ocorridas nas interações dos alunos-professores durante o curso, mas antes indicar uma estratégia de ensino, expressa na seqüência de atividades propostas, compatível com resultados das pesquisas e com uma visão piagetiana do processo de mudança conceitual. Assim, o texto básico do curso e as atividades que o acompanham serão objeto de nossa análise (Borges, O N. & Saraiva, J. F., 1995). Entretanto, é preciso dizer que, ao acompanhar as atividades propostas, na condição de membro da equipe de professores do CECIMIG, pude reconhecer os processos de construção por eles engendrados. A análise dessas interações e das respostas dos professores cursistas à atividade final de avaliação do curso será objeto de outro trabalho.

II. Análise do Material Didático do Curso "Aprendendo Eletricidade através de Experiências" a partir do modelo proposto:

Dentre outras iniciativas, o CECIMIG, através de convênio com a SEE-MG, vem desenvolvendo, desde 1992, atendimento aos professores de Ciências e Matemática da Rede Estadual na forma de Cursos de Aperfeiçoamento. O "Programa Permanente de Aperfeiçoamento de Professores de Ciências e Matemática", modelo adotado a partir de 1995², consiste numa seqüência de quatro cursos semestrais, de 45 ha cada, escolhidos por cada professor a partir de um catálogo com as respectivas ementas (CECIMIG/UFGM, 1995). O curso "Aprendendo Eletricidade através de

² Tal programa foi interrompida em 1997 face às novas Propostas Curriculares, forjadas no bojo de Projetos Piloto de Inovações Curriculares e Capacitação de Professores do Ensino Médio e Fundamental.

Experiências" faz parte deste programa, tendo sido freqüentado por cerca de 150 professores no período de dezembro de 1995 a agosto de 1996.

A idéia básica do eixo de intervenções didáticas do curso é forjar um caminho para o processo de construção e reconstrução de conceitos por parte dos alunos-professores, de modo que cada aquisição prepare e condicione as realizações seguintes. Planejar o ensino, nessa perspectiva, consiste em considerar não apenas a lógica de organização e estruturação dos conceitos no interior das teorias, mas ainda e sobretudo os processos de estruturação e construção de significados por parte do sujeito da aprendizagem. O planejamento do ensino pretende portanto, assumir a perspectiva do sujeito da aprendizagem, que interage com os objetos de seu conhecimento a partir de um conjunto de esquemas conceituais relativamente consolidados, sem com isso abandonar a perspectiva do conhecimento científico histórica e provisoriamente estruturado.

Os textos são curtos, contendo, cada um deles, um número não muito grande de informações e relações. A cada texto, corresponde uma atividade experimental e uma atividade de interpretação de texto. Nas atividades experimentais são apresentadas situações-problema, de forma a identificar as soluções propostas e promover uma discussão quanto à sua pertinência frente aos resultados encontrados, engendrando assim uma possível releitura dos observáveis. As atividades de interpretação de texto solicitam, dos alunos-professores, a elaboração de definições e generalizações apenas esboçadas no texto ou ainda o destaque das idéias consideradas mais relevantes (para exemplificar esta estrutura, reproduzimos no Anexo 1 um dos textos utilizados e as atividades que o acompanham).

Os quatro primeiros textos e as atividades correspondentes referem-se aos conhecimentos básicos a respeito da estrutura de uma lâmpada incandescente e as condições necessárias para acendê-la, separando os elementos essenciais e os acessórios em um circuito elétrico simples. Tais atividades foram concebidas a partir do resultado de pesquisas que indicam uma enorme lacuna em relação às partes que compõem a lâmpada elétrica incandescente e uma crença de que basta encostar a lâmpada em um dos pólos da pilha (geralmente o positivo) para que ela acenda (Shipstone, 1985; Arnold e Millar, 1987; Psillos, Koumaras e Tiberghien, 1988). A fonte é identificada como algo que fornece "eletricidade"³ à lâmpada que a consome produzindo luz. O terminal (+) da pilha é considerado como sendo aquele que efetivamente fornece eletricidade, da mesma forma que o fio fase e neutro de uma instalação residencial são identificados como sendo, respectivamente, os terminais (+) e (-).

A intenção de tais atividades é a de propiciar elementos para a promoção de um primeiro patamar de mudança que podemos identificar com a primeira forma de equilíbrio piagetiana. Dado o pequeno número de possibilidades de manipulação dos elementos de um circuito simples (fios, lâmpada e pilha), é bastante plausível que, após

³Os termos energia e corrente são também utilizados mas de maneira indiferenciada.

algumas tentativas frustradas, o sujeito venha a acender a lâmpada, mesmo tendo uma compreensão pouco articulada do problema. Espera-se então, que venha a generalizar a necessidade de um caminho fechado entre os dois pólos da fonte, passando pelo filamento da lâmpada, para que esta acenda. A compreensão da necessidade de conectar um dos fios à base da lâmpada e outro à rosca favorece, por sua vez, a identificação das partes que compõem a lâmpada e dos materiais que compõem a mesma, classificados enquanto condutores ou isolantes. Este é um conhecimento prático, relativo ao saber-fazer, de êxito precoce em relação à tomada de consciência dos elementos envolvidos na ação (Piaget, 1978/1974). Estando centrado em atributos dos objetos (pilha e lâmpada), ou seja, na configuração que permite uma ação bem sucedida quanto a seus resultados (mesmo que os meios sejam ainda desconhecidos), refere-se a um equilíbrio dos esquemas do sujeito e os observáveis do objeto.

Embora de resultados limitados, esta primeira forma de mudança abre ao sujeito a possibilidade de formular novos problemas: se existe um caminho fechado, conectando um terminal a outro da fonte, passando pelo filamento da lâmpada, então deve haver "algo" que passa por este circuito - a corrente elétrica. Pretende-se assim desencadear um novo e longo processo de mudança, consistindo essa na diferenciação e coordenação das grandezas envolvidas. A diferenciação e posterior integração entre os conceitos de energia e corrente elétrica constitui o foco das atividades seguinte e dos textos que as acompanham.

O texto 5 ("Por dentro dos fios") procura desenvolver o conceito de corrente elétrica enquanto fluxo de elétrons no interior da rede cristalina do metal. O objetivo é caracterizar a corrente elétrica enquanto veículo das transferências de energia entre a fonte e a lâmpada. Para isso foi necessário desenvolver algumas noções acerca da estrutura de um sólido do ponto de vista microscópico. Entretanto, o modelo clássico da corrente elétrica não poderia ainda ser desenvolvido, dado o pequeno número de observáveis e relações macroscópicas estabelecidas.

Tais atividades pretendem promover um segundo patamar de mudança conceitual, relativo à segunda forma de equilíbrio. Do ponto de vista das transformações e quantificações agora emergentes, cabe estabelecer a dupla conservação da carga elétrica e da energia. A medida da intensidade da corrente elétrica em diversos pontos do circuito é condição necessária mas de forma alguma suficiente para que o sujeito compreenda sua inesperada conservação. Os textos e atividades procuram desenvolver um conjunto de analogias, de modo a fornecer elementos para a compreensão do consumo de energia elétrica pela lâmpada e o não consumo da corrente que transporta esta energia: *"para se consumir energia não é necessário consumir o 'veículo' que a transporta"* (Borges e Saraiva, 1995, p.10). O que determina a possibilidade desta mudança não é o mero registro de observáveis (a leitura do amperímetro), nem tampouco o acordo entre tais observáveis e o conceito de corrente elétrica, tomado isoladamente. Pelo contrário, apenas na medida em que o conceito de corrente elétrica for coordenado com o conceito de energia elétrica (e para isto é preciso diferenciá-los) é que a experiência torna-se não apenas compreensível como ainda

necessária. Trata-se do equilíbrio entre assimilação e acomodação recíprocas, ou seja, de um acordo entre aquilo que constitui os dois conceitos complementares, porém irreduzíveis, que são a corrente e a energia elétrica. Uma assimilação recíproca consiste na exigência, por parte dos objetos a assimilar, da utilização coordenada de mais de um esquema de assimilação. Mas ela é possível apenas graças à acomodação recíproca destes dois esquemas (no nosso caso, os esquemas conceituais de transferência de energia e passagem de corrente elétrica no circuito). O conceito de corrente elétrica enriquece a significação do processo de transferência de energia da fonte ao filamento da lâmpada. Reciprocamente, a diferenciação entre a noção de transferência de energia e o transporte de cargas é condição para a conceituação da conservação da corrente elétrica.

O processo de diferenciação de conceitos se estende a partir do texto 10 (“Ligar ou acender lâmpadas”) que introduz, juntamente com as atividades que o acompanham, os conceitos de voltagem e potência. A voltagem é apresentada enquanto característica da fonte, significando uma relação constante entre duas grandezas: “*a voltagem de uma fonte indica a sua capacidade de fornecer energia, a cada segundo, à corrente elétrica que passa pelo seu interior*” (Borges e Saraiva, p. 13). O exercício desta nova etapa de construção em situações práticas diversas antecede a apresentação de um novo observável, apenas implicitamente considerado até então: a resistência elétrica. Mais uma vez, esta diferenciação é possível apenas coordenando as grandezas envolvidas, o que se faz mediante raciocínios de dependência funcional. Por exemplo, se aumentarmos a tensão da fonte, como a corrente se altera se a resistência do circuito permanecer inalterada? Ou ainda, se quisermos manter inalterada a intensidade da corrente elétrica que flui pelo circuito, que alterações devemos fazer na resistência do circuito quando a voltagem da fonte for aumentada? A compreensão destas relações permite assim formalizar as “duas regras de ouro” (Leis de Kirchhoff), insistentemente sugeridas ao longo das atividades experimentais. Fecha-se assim o ciclo das transformações característicos desta segunda forma de equilíbrio.

Entretanto, são estas mesmas realizações que introduzem todo um novo campo de possibilidades de compreensão do problema: trata-se de compreender o porquê das relações até então estabelecidas. Isto envolve o estudo dos mecanismos causais através dos quais a corrente elétrica se estabelece no circuito, ou seja, a compreensão articulada do modelo clássico da corrente elétrica, com a articulação entre variáveis macroscópicas (tensão, potência, corrente e resistência) e microscópicas (campo elétrico, energia elétrica, densidade de corrente e resistividade). Este novo patamar de mudança conceitual refere-se à terceira forma de equilíbrio, ou seja, da construção de um modelo físico capaz de acrescentar uma hierarquia às simples relações colaterais até então desenvolvidas.

Nos parece clara a dependência deste novo ciclo de equilíbrios majorantes em relação às realizações precedentes. Segundo Piaget (Inhelder, Garcia e Vonèche, 1976, p.156) “*um êxito é de fato, a todos os níveis, fonte de dois efeitos contrários: uma novidade criadora e, ao mesmo tempo uma lacuna virtual, que se*

tornará real se os poderes adquiridos não se prolongarem num exercício renovado. No contexto concreto de uma investigação científica, essa complementaridade das descobertas e das novas lacunas⁴ por elas, cedo ou tarde, engendradas é, no terreno das explicações, evidente: uma vez achadas as 'razões' B de um acontecimento A, elas levantam em seguida o problema das 'razões' C de B, ou D de C e assim sucessivamente." Por outro lado, esta expansão do conhecimento não se faz por meros acréscimos e, cedo ou tarde, o sujeito, ao se deparar com contradições, será obrigado a rever antigos esquemas, a reconsiderar os problemas, de forma a conservar a estrutura.

Podemos assim indicar a necessária diferenciação entre o ato de verificar as ligações no circuito (partindo do pólo positivo da fonte, passando pelo resistor R₁, ...) e a representação do movimento dos elétrons no interior do fio. Isso exige o abandono do "modelo seqüencial" da corrente elétrica (Shipstone, 1985), que consiste em supor que uma alteração em um ponto qualquer do circuito só vá provocar modificações na corrente e na distribuição de energia nos elementos colocados a partir daquele ponto. O modelo seqüencial é incompatível com a conservação da corrente elétrica, mas a tomada de consciência desta incompatibilidade é tardia, sendo comum respostas que mantenham a idéia primitiva em detrimento do esquema de conservação da corrente, ainda em construção.

O terceiro patamar de equilíbrio que se pretende promover consiste, portanto, na compreensão do circuito enquanto uma totalidade auto-regulável. As dificuldades adicionais que comporta são evidentes quando analisamos as respostas dadas à Atividade Experimental 24, utilizada enquanto atividade de avaliação do curso (anexo 2). Ela consiste numa adaptação de proposta contida em excelente artigo de Arons (1980). Mesmo sendo capazes de uma análise local do circuito elétrico, quase todos os professores-cursistas falharam ao prever as conseqüências na distribuição de energia e corrente elétrica quando acrescentamos um fio entre dois pontos do circuito. A atividade tinha por objetivo expandir esta análise local e seqüenciada por uma análise global do circuito (que, a nosso ver, demanda uma causalidade mais articulada).

III. Conclusões

A literatura em ensino de ciências tem, em geral, desconhecido a riqueza e o potencial da Teoria de Piaget para a análise e compreensão de seus resultados, bem como para alimentar as perguntas por ela formuladas nos contextos específicos da educação em ciências. Quando citado, Piaget é, com freqüência, mal compreendido. Assim, Dykstra (que se considera um piagetiano), afirma que *"a desequilíbrio pode*

⁴ Segundo Piaget (1976), uma lacuna se torna perturbação apenas quando é relativa a um esquema de assimilação já ativado, ou seja, quando se trata das condições de uma situação que seriam necessárias para concluir uma ação, ou ainda da carência de um conhecimento que seria indispensável para resolver um problema.

ocorrer quando as expectativas dos estudantes não são confirmadas, isto é, quando um efeito contraria as crenças dos estudantes "(1991,p. 51), definição restrita à primeira forma de equilíbrio. De maneira semelhante, Hashweh(1986) critica Piaget por ter tratado dos conflitos apenas enquanto conflito entre o “mundo das idéias” e o “mundo real”, não tendo considerado a possibilidade de conflito entre concepções.

Procuramos desenvolver apenas um aspecto da Teoria da Equilibração, o que já nos parece suficiente para argumentar quanto às novidades que acarreta na análise do processo de aprendizagem por mudança conceitual. A tradição consagrada na pesquisa é tributária do modelo proposto por Posner, Strike, Hewson e Gertzog (1982), que estabelece uma dicotomia entre “troca conceitual” e “captura conceitual”⁵. A “troca conceitual” implica no abandono de conceituações anteriores face a sua inadequação diante da experiência ou de compromissos epistemológicos do sujeito. Para esse tipo de mudança, o modelo PSHG privilegia as rupturas, pouco explorando as possibilidades de que o novo entendimento possa ter amparo em algumas conceituações de partida.

Em Piaget, continuidade e rupturas são pólos complementares de toda aprendizagem humana. A acomodação será sempre relativa a um processo de assimilação ativado pelo sujeito. Procuramos destacar a heurística deste modelo ao acompanhar a evolução das atividades propostas em um curso de eletricidade básica. Em lugar de propor uma inútil rota de colisão com os conhecimentos prévios do sujeito, procura-se aqui considerá-lo enquanto ponto de partida necessário, e sempre provisório, para novas aprendizagens.

A sucessão intra-inter-trans obedece a uma ordem necessária, uma vez que a elaboração de uma totalidade com propriedades (nível Trans) supõe a formação de algumas destas transformações em Inter, e estas, por sua vez, implicam o conhecimento das características analisadas em Intra. São, portanto, de natureza funcional e não estrutural, inerentes a toda construção e não ligadas a determinados níveis ou domínios do conhecimento. Evidentemente, isto não significa que a seqüência de atividades sugeridas pelo curso de Eletricidade Básica que analisamos seja a única possibilidade de formação de conceitos que obedeça a este processo de construção.

IV. Referências Bibliográficas

AGUIAR JR., O. (1995) - Mudança conceitual em sala de aula: o ensino de ciências numa perspectiva construtivista. Dissertação (mestrado), CEFET-MG.

⁵No artigo de Posner et al(1982)., o primeiro processo é denominado *assimilação* e o segundo *acomodação*. Hewson(1981) os denomina respectivamente *captura conceitual* e *troca conceitual*. A denominação de Hewson nos parece menos problemática, uma vez que os termos *assimilação* e *acomodação*, tomados de empréstimo da Epistemologia Genética, têm aqui outra conotação e os autores afirmam não ter qualquer compromisso com os trabalhos de Piaget.

- ARNOLD, M. & MILLAR, R. (1987) - Being constructive: an alternative approach to the teaching of introductory ideas in electricity. In: International Journal of Science Education, 9 (5): 553-563.
- ARONS, A.B. (1982) - Phenomenology and logical reasoning in introductory physics courses. In: American Journal of Physics, 50(1): 13-20.
- ASTOLFI, J.P. & DEVELAY, M. (1991) - A Didática das Ciências. Trad. Magda S.Fonseca, Campinas, Papirus, 2^a ed.
- BORGES, O.N. & SARAIVA, J.F. (1995) - Introdução à Eletricidade, CECIMIG-UFMG, Belo Horizonte.
- DYKSTRA, D.Jr. (1991) - Studying conceptual change: constructing new understandings. In: Duit, R. Goldeber, F. & Niedderer, H. (eds.) Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies - Proceedings of the International Workshop held at the University of Bremen, March, 1991, p. 40-58.
- HASHWEH, M. (1986) - Toward an explanation of conceptual change. In: European Journal of Science Education, 8(3): 229-249.
- HEWSON, P.W. (1981) - A conceptual change approach to learning science. In: European Journal of Science Education, 3(4):383-396.
- INHELDER, B. GARCIA, R. VONECHE, J. (1976) - Epistemologia Genética e Equilíbrio, Lisboa, Livros Horizonte.
- PIAGET, J. & GARCIA R. (1987) - Psicogênese e História das Ciências. Trad. Maria F.M.R. Jesuino. Lisboa, D. Quixote (original publicado em 1983).
- PIAGET, J. (1976) - Equilíbrio das Estruturas Cognitivas. Trad. Marion M.S. Penna. Rio de Janeiro, Zahar.
- PIAGET, J. (1978/1974) - A Tomada de Consciência. Trad. Edson Braga de Souza. Ed. Melhoramentos, São Paulo (original publicado em 1974).
- POSNER, G. STRIKE, K. HEWSON, P. & HERTZOG, W. (1982) - Accomodation of a Scientific conception: toward a Theory of Conceptual Change. In: Science Education, 66(2): 211-227.
- PSILLOS, D. KOUMARAS, P. & TIBERGHEN, A. (1988) - Voltage presented as a primary concept in a introductory teaching sequence on DC circuits. In: International Journal of Science Education, 10 (1): 29-43.

OGBORN, Jon (1988) - A map of sciece. Personal submission to the National Curriculum Working Group on Science Education.

SHIPSTONE, D. (1985) - Electricidad en circuitos sencillos. In: Driver, R. Guesne, E. & Tiberghien, A. (ed), Ideas científicas en la invancia y la adolescencia, Madrid, Ediciones Morata.

TEIXEIRA, S.K. & PACCA, J.S.L (1994) - O peso medido pela balança: ruptura e continuidade na construção do conceito. In: Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 13, n. 3, pp. 154-171.

Anexo 1

(Exemplar de Texto e Atividades - extraído de Borges, Oto N. e Saraiva, João F., 1995)

9 - A corrente elétrica não é consumida!

Se você montar um circuito com os dois amperímetros, como o mostrado na Fig. 1, notará que ambos indicam a mesma intensidade de corrente. Este fato notável mostra que a corrente elétrica não é consumida enquanto ela circula pelos fios. Entretanto, a energia elétrica fornecida pela fonte é consumida pela lâmpada.

Como é possível que a energia elétrica seja consumida e a corrente elétrica não seja consumida? A resposta é que a corrente elétrica é o “veículo” que transporta a energia elétrica: para se consumir energia não é necessário se consumir o “veículo” que a transporta. Em outras palavras, o fato dos amperímetros indicarem a mesma intensidade da corrente, antes e depois da lâmpada, significa que a cada segundo, o mesmo número de elétrons passa pelos dois pontos do fio. A corrente não é consumida porque não é possível consumir ou destruir os elétrons livres.

Algo semelhante ocorre quando você toma banho: a água passa pelo chuveiro e dele retira energia aquecendo-se. Em seguida escorre pelos furos, atinge seu corpo aquecendo-o, ou seja, cedendo-lhe energia. A água escorre pelo seu corpo e atinge o ralo. A quantidade de água que sai do chuveiro é praticamente igual à quantidade de água que sai pelo ralo: somente a água que fica retida na sua pele, molhando-o, é que não escorre pelo ralo. A água é o “veículo” que transporta a energia térmica até o seu corpo. A energia é consumida, ela aquece seu corpo, mas a água, que é o “veículo” que transporta a energia entre a fonte (chuveiro) e o consumidor de energia (seu corpo), não é consumida.

Você pode ter notado que parte da água ficou grudada no seu corpo. Algo deste tipo aconteceria na lâmpada: uma parte dos elétrons ficaria retida na lâmpada? Se isto acontecesse a intensidade da corrente antes da lâmpada seria diferente da intensidade da corrente depois da lâmpada. Neste aspecto as duas situações são diferentes, pois as forças envolvidas são muito diferentes em intensidade: no caso da água a força de adesão da gota à pele tem aproximadamente o mesmo valor que o peso da gota d'água. No caso dos elétrons livres no metal as forças envolvidas são forças de repulsão elétrica, que são muito maiores que o peso dos elétrons. Se elétrons se acumulassem na lâmpada eles exerceriam forças de repulsão sobre os demais elétrons livres, tanto dos que estivessem se aproximando quanto dos que estivessem se afastando da lâmpada, o que impediria a circulação da corrente elétrica.

Há um outro argumento para ajudá-lo a entender que a corrente não pode ser destruída. Pense em uma mangueira cheia de água. É possível que, a cada segundo, entre mais água na mangueira do que a quantidade de água que sai pela outra

extremidade? A resposta é não, e isto se deve ao fato de que a água praticamente não é compressível.

Um circuito elétrico é formado por um caminho metálico, cheio de elétrons livres, que interliga os dois terminais da fonte de energia elétrica. Quando a fonte é ligada ao circuito, seu terminal positivo exerce forças elétricas sobre os elétrons livres que estão próximos dele e retira-os do fio. Ao mesmo tempo, o terminal negativo injeta elétrons no fio que, para se moverem em direção ao terminal negativo, forçam todos os demais elétrons livres existentes no fio a se moverem no mesmo sentido. Por outro lado, os elétrons livres que são capturados pelo terminal positivo da fonte são transportados pelo interior da fonte até o terminal negativo. Neste trajeto eles ganham energia, que é fornecida pela fonte. Assim, a corrente elétrica circula simultaneamente em todos os pontos do circuito. Os elétrons livres formam uma espécie de gás de elétrons livres que não pode ser comprimido, da mesma forma que a água na mangueira.

Voltemos a analisar o que ocorre no circuito da Fig.2, mas agora em termos da corrente convencional. A corrente convencional faz o seguinte trajeto: sai do terminal positivo da fonte percorre o primeiro fio, atravessa pelo interior do primeiro medidor, percorre o segundo fio, penetra na lâmpada pela rosca metálica, circula pelo seu filamento, sai pelo terminal na base da lâmpada, percorre o terceiro fio, circula pelo interior do segundo medidor, percorre o quarto fio e penetra na fonte pelo seu terminal negativo. A corrente circula pelo interior da fonte, entrando pelo pólo negativo e saindo pelo pólo positivo, e enquanto circula pelo interior da fonte retira energia elétrica da fonte. A seguir a corrente flui pelo circuito externo à fonte. Ao passar por cada um dos fios e dos medidores a corrente deixa aí uma pequena parte da energia elétrica retirada da fonte, mas a maior parte desta energia é liberada ao atravessar a lâmpada. Se os fios utilizados nas conexões forem finos podemos perceber o aquecimento deles segurando-os na mão. Entretanto, nos circuitos bem projetados e instalados o aquecimento dos fios é muito pequeno e imperceptível só com o tato.

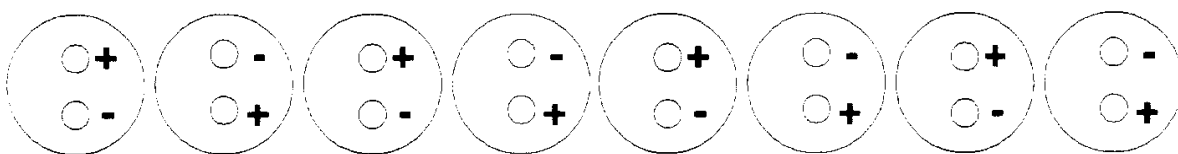


Fig. 1

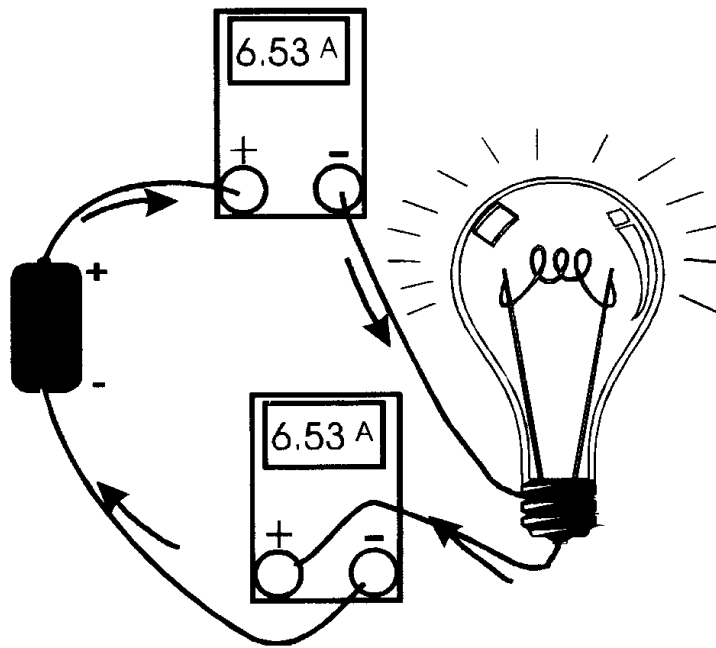


Fig. 2 – O sentido convencional de circulação da corrente está indicado pelas setas.

Anexo 1b

Folha de Atividade de Interpretação de Texto (FAIT 9)

A corrente elétrica não é consumida!

1. Leia a seção 9 do capítulo 1 do livro **Introdução à Eletricidade**. Faça uma lista com palavras incomuns ou cujo significado você não sabe. Converse com seus colegas de grupo sobre o significado de cada uma delas e, em caso de dúvida, procure seu significado no dicionário.

Palavra	Significado

2. Que evidência nos permite enunciar que a corrente elétrica não é consumida no circuito?

3. Por que não é possível consumir corrente elétrica?

4. Como você imagina que é possível que haja consumo de energia elétrica, sem que haja consumo equivalente de corrente elétrica?

5. Na analogia do chuveiro, o que é equivalente à corrente elétrica?

6. Ainda no exemplo do chuveiro: a água escorre pelo ralo! Então, como afirmar que ela não é consumida?

7. O texto afirma que a corrente elétrica circula simultaneamente em todo o circuito. Imagine você apertando um interruptor para acender uma lâmpada. Você diria que no exato instante em que você aperta o interruptor circulará corrente através dele e da lâmpada, situada alguns metros à frente? Como isto acontece?

8. O texto não menciona, mas os elétrons livres se deslocam com velocidades extremamente baixas nos fios: algo como $0,01 \text{ milímetro/segundo}$. As usinas do Triângulo mineiro estão a cerca de 500 km daqui. Quanto tempo um elétron gasta para sair de uma usina, situada a 50 km de distância, circular pelo filamento de uma lâmpada nesta sala e retornar à usina?

9. Reflita sobre o resultado da questão anterior. Como é possível conciliar este resultado com o fato de que a corrente circula simultaneamente em todos os pontos do circuito?

Anexo 1c

Folha de Atividade Experimental (FAE-8)

Três lâmpadas acendendo juntas!

Há quatro maneiras de se ligar três lâmpadas iguais juntas em um circuito. elas estão mostradas nas Fig.3(a)-(d).

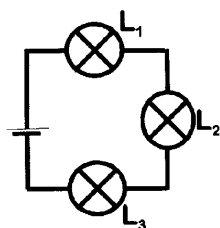


Fig.3 (a)

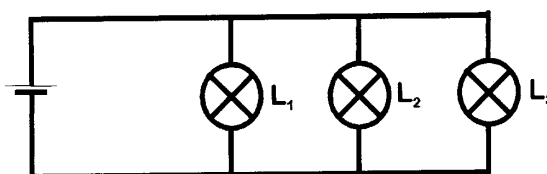


Fig.3 (b)

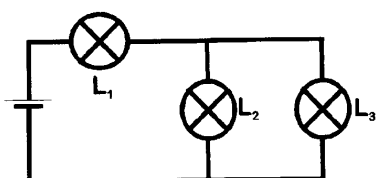


Fig.3 (c)

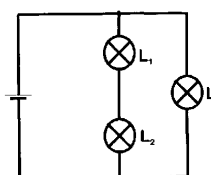


Fig.3 (d)

1. Monte o circuito da Fig. 3(a), meça a intensidade de corrente que chega e que sai de cada lâmpada e da fonte. Anote os resultados na tabela 1.

Tabela 1 - Resultados do circuito 3 (a)

Corrente que sai da fonte =	Corrente que chega à fonte =
Corrente que chega a L ₁ =	Corrente que sai a L ₁ =
Corrente que chega a L ₂ =	Corrente que sai a L ₂ =
Corrente que chega a L ₃ =	Corrente que sai a L ₃ =

2. Observe cuidadosamente os resultados acima, referente às medidas feitas no circuito da Fig.3(a).

- a) Seus dados indicam que há consumo de corrente nas lâmpadas?

- b) A corrente que entra na fonte é a mesma que sai?

- c) A corrente é a mesma em todos os pontos do circuito?

d) Você pode sustentar, com base nestes dados, que a corrente se conserva neste circuito?

3. Monte o circuito da Fig. 3 (b) meça a intensidade de corrente que chega e que sai de cada lâmpada, e da fonte. Anote os resultados na tabela 2.

Tabela 2 - Resultados do circuito (b)

Corrente que sai da fonte =	Corrente que chega à fonte =
Corrente que chega a L_1 =	Corrente que sai a L_1 =
Corrente que chega a L_2 =	Corrente que sai a L_2 =
Corrente que chega a L_3 =	Corrente que sai a L_3 =

4. Observe cuidadosamente os resultados acima, referente às medidas feitas no circuito da fig.3(b).

a) Seus dados indicam que há consumo de corrente nas lâmpadas?

b) A corrente que entra na fonte é a mesma que sai?

c) A corrente é a mesma em todos os pontos do circuito?

d) Nós são pontos do circuito onde estão interligados três ou mais fios. Neste circuito há 4 nós. Identifique-os. A soma das intensidades das correntes que chegam a cada nó é igual à soma das intensidades das correntes que saem do nó?

e) Você pode sustentar, com base nestes dados, que a corrente se conserva neste circuito?

5. Monte o circuito da Fig.3 (c), meça a intensidade de corrente que chega e que sai de cada lâmpada e da fonte. Anote os resultados na tabela 3.

Tabela 3 - Resultados do circuito (c)

Corrente que sai da fonte =	Corrente que chega à fonte =
Corrente que chega a L_1 =	Corrente que sai a L_1 =
Corrente que chega a L_2 =	Corrente que sai a L_2 =
Corrente que chega a L_3 =	Corrente que sai a L_3 =

6. Observe cuidadosamente os resultados acima, referente às medidas feitas no circuito da Fig.3 (c).

a) Seus dados indicam que há consumo de corrente nas lâmpadas?

b) A corrente que entra na fonte é a mesma que sai?

c) A corrente é a mesma em todos os pontos do circuito?

d) Quantos nós há neste circuito? Identifique-os. A soma das intensidades das correntes que chegam a cada nó é igual à soma das intensidades das correntes que saem do nó?

e) Você pode sustentar, com base nestes dados, que a corrente se conserva neste circuito?

7. Monte o circuito da Fig.3 (d) e meça a intensidade de corrente que chega e que sai de cada lâmpada e da fonte. Anote os resultados na tabela 4.

Tabela 4 - Resultados do circuito (d)

Corrente que sai da fonte =	Corrente que chega à fonte =
Corrente que chega a L_1 =	Corrente que sai a L_1 =
Corrente que chega a L_2 =	Corrente que sai a L_2 =
Corrente que chega a L_3 =	Corrente que sai a L_3 =

8. Observe cuidadosamente os resultados das medidas no circuito da Fig.3 (d).

a) Seus dados indicam que há consumo de corrente nas lâmpadas?

b) A corrente que entra na fonte é a mesma que sai?

c) A corrente é a mesma em todos os pontos do circuito?

d) Quantos nós há neste circuito? Identifique-os. A soma das intensidades das correntes que chegam a cada nó é igual à soma das intensidades das correntes que saem do nó?

- e) Você pode sustentar, com base nestes dados, que a corrente se conserva neste circuito?

Anexo 2

Atividade de avaliação 1

No circuito da Fig. 4 todas as resistências são iguais a 100Ω e a fonte é formada por duas pilhas comuns, grandes, ligadas em série. Vamos chamar de I_A à corrente que circula pelo ponto A, I_B a que circula pelo ponto B, etc. Vamos chamar de V_1 à voltagem medida nos terminais de R_1 , V_2 à voltagem em R_2 , etc, e V_f à voltagem da fonte.

Só Monte o circuito quando for ordenado explicitamente no enunciado. As demais questões devem ser respondidas antes de realizar medidas.

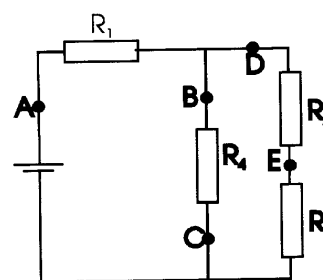


Fig. 4

1. Em que ponto(s) (A, B, C, D ou E) a corrente é maior? Em que ponto(s) é menor? Organize as correntes na ordem crescente de valor.

2. Em qual dos resistores a voltagem é maior? Por que?

3. Monte o circuito e confira suas previsões. Comente as que aceitou e tente explicar a razão do erro, se tiver errado alguma.

4. O que acontece à corrente no ponto em cada um dos pontos assinalados se ligamos um fio grosso entre B e E? Simultaneamente o que ocorre com as voltagens nos diversos resistores?

5. Monte o circuito e confira suas previsões. Comente as que aceitou e tente explicar a razão do erro, se tiver errado alguma.

6. O que acontece à corrente no ponto em cada um dos pontos assinalados se ligamos um fio grosso entre A e B? Simultaneamente o que ocorre com as voltagens nos diversos resistores?

7. Monte o circuito e confira suas previsões. Comente as que aceitou e tente explicar a razão do erro, se tiver errado alguma.

8. O que acontece à corrente no ponto em cada um dos pontos assinalados se ligamos um fio grosso entre B e C? Simultaneamente o que ocorre com as voltagens nos diversos resistores?

9. Monte o circuito e confira suas previsões. Comente as que aceitou e tente explicar a razão do erro, se tiver errado alguma.

10. O que acontece à corrente no ponto em cada um dos pontos assinalados se ligamos um fio grosso entre A e E ? Simultaneamente o que ocorre com as voltagens nos diversos resistores?

11. Monte o circuito e confira suas previsões. Comente as que aceitou e tente explicar a razão do erro, se tiver errado alguma.