

Circuitos Elementares de Corrente Contínua: Dificuldades de Aprendizagem e Formas de as Superar (*)

ANTÓNIO J. NETO (1)

Departamento de Pedagogia e Educação, Universidade de Évora

MARIANA VALENTE (1)

Departamento de Física, Universidade de Évora

MARIA ODETE VALENTE (1)

Departamento de Educação, Faculdade de Ciências de Lisboa

1. Introdução

A generalidade dos alunos considera a electricidade um assunto difícil; tem dela uma imagem negativa que, na maior parte dos casos, persiste para além da idade escolar.

A elevada exigência conceptual que caracteriza esta área de conteúdos não consegue, só por si, justificar o rótulo de *matéria complicada* que os alunos lhe atribuem. Como explicar, então, essa imagem particularmente negativa que, no âmbito da Física, talvez seja apenas suplantado pela Mecânica?

Este trabalho pretende encontrar respostas para a questão anterior e, simultaneamente, derivar alguns contributos metodológicos susceptíveis de ajudarem o aluno a superar, com êxito, os obstáculos de aprendizagem que uma tal imagem negativa necessariamente implica.

A estrutura do trabalho é a seguinte:

— Apresenta-se um *Referencial Científico* considerado fundamental para a explicação formal dos circuitos eléctricos elementares de corrente contínua em regime estacionário.

— Identificam-se possíveis *Factores de Insucesso* no estudo desses circuitos, a partir da análise e discussão de situações problemáticas extraídas da literatura e apresentadas em *Anexo*.

— Esboça-se, por fim, um *Referencial Didáctico* que, tendo em conta os factores que condicionam a aprendizagem da electricidade,

seja capaz de ajudar o aluno a caminhar para a adopção progressiva do referencial científico formal.

2. Referencial científico básico para o estudo dos circuitos elementares de corrente contínua

2.1. O circuito eléctrico como sistema físico

Um circuito eléctrico é um sistema físico que permite trocas de energia com o exterior mas não permite trocas de matéria. Dentro do próprio sistema, verifica-se quer transporte de energia (*energia eléctrica*) quer transporte de matéria (*corrente eléctrica*).

O sistema é constituído por duas partes essenciais que desempenham funções profundamente distintas: o *gerador*, que funciona como *fonte* de energia eléctrica, e a parte exterior ao gerador, que funciona como *receptor*.

A corrente (fluxo estatisticamente orientado de *portadores de carga eléctrica*) é o «veículo» que conduz a energia eléctrica desde o gerador, onde é «produzida», para a parte exterior ao gerador, onde vai ser «consumida». Trata-se,

(*) Este trabalho foi parcialmente apresentado num *workshop* dinamizado pelos autores no 2.º Encontro Nacional de Didácticas e Metodologias de Ensino, realizado em Aveiro de 6 a 8 de Fevereiro de 1991.

(1) Bolseiros do INIC.

porém, de um «veículo especial»: o «transportado» (energia eléctrica) circula muito mais depressa do que o próprio «transportador» (corrente eléctrica). Na verdade, e deixando agora a imagem metafórica, sabe-se que o valor da *velocidade de corrente* (velocidade estatística média de arrastamento dos portadores de carga) é *muito inferior* ao valor da *velocidade de condução da energia eléctrica* (velocidade de propagação das ondas electromagnéticas nos meios materiais que constituem o circuito; este valor, apesar de ser bastante inferior ao da velocidade da luz no vácuo, é, ainda assim, suficientemente elevado para que se fique com a ideia de uma propagação praticamente instantânea).

2.2. O circuito eléctrico de corrente contínua em regime estacionário

Os circuitos eléctricos que iremos considerar são os que cumprem, cumulativamente, as seguintes condições:

- a *intensidade da corrente é invariável* no decurso do tempo (corrente estacionária) e é *igual em todos os pontos do circuito* que estejam ligados em série;
- o *sentido do movimento estatístico global dos portadores de carga é sempre o mesmo*.

É necessário clarificar esta última condição lembrando que, nos *condutores sólidos*, os portadores de carga (*electrões livres*) se movem, estatisticamente, num único sentido: de pontos e potenciais menos elevados para pontos a potenciais mais elevados. Nos *condutores líquidos* existem, na realidade, dois sentidos para o movimento global dos portadores de carga (*iões*): os iões negativos, à semelhança dos electrões livres, movem-se no sentido dos potenciais decrescentes.

2.3. A lei de Ohm generalizada como referencial quantitativo fundamental

Aquela forma da lei de Ohm constitui um referencial quantitativo apropriado ao estudo

dos circuitos elementares de corrente contínua. Ela pode ser representada através da seguinte expressão analítica:

$$V_{AB} = I \Sigma R - \Sigma e$$

em que,

$V_{AB} = V_A - V_B$: diferença de potencial entre os extremos de uma secção AB do circuito.

I: intensidade da corrente que percorre essa secção AB.

ΣR : soma dos valores de todas as resistências existentes entre os pontos A e B (inclui-se as resistências internas dos geradores e dos receptores lá inseridos).

Σe : soma algébrica dos valores das forças electromotrizes inseridas na secção AB.

CONVENÇÕES:

- 1—É útil fazer coincidir o sentido A-B com o sentido de corrente (sentido convencional).
- 2—Nessas condições, a *força electromotriz é*:
 - *positiva*, quando a corrente entra pelo pólo negativo e sai pelo positivo (*caso dos geradores*);
 - *negativa*, quando a corrente entra pelo pólo positivo e sai pelo negativo (*caso dos receptores*).

2.4. O papel do gerador no circuito

Um gerador de corrente contínua em regime estacionário é um dispositivo que, em boas condições de funcionamento, consegue manter, nos seus terminais, uma diferença de potencial constante, desde que a parte do circuito a que se encontra ligado não varie.

Se, para além disso, a sua resistência interna (R_i) for desprezável (*gerador ideal*), aquela diferença de potencial será invariável quaisquer que sejam os restantes componentes do circuito e qualquer que seja a intensidade da corrente debitada. É o que facilmente se conclui se aplicarmos a lei de Ohm generalizada à secção de circuito constituído apenas pelo próprio gerador. Nesse caso, obter-se-á uma expressão

do tipo: $V_{AB} = I R_i - e$, a qual, para $R_i = 0$, assume a forma $V_{AB} = -e = \text{constante}$.

O acumulador é o gerador de corrente contínua que mais se aproxima das condições de gerador ideal, em virtude de ter uma resistência interna relativamente reduzida. Por essa razão, muitas das experiências com circuitos elementares de corrente contínua devem ser realizadas com acumuladores ou com associações de acumuladores (baterias). É por isso que, daqui por diante, iremos, quase sempre, utilizar o termo «bateria» como um *exemplo* de «gerador ideal».

Qualquer alteração (*estímulo*) verificada numa dada região do circuito tem, como efeito, a alteração (*resposta*) do valor da intensidade da corrente fornecida pelo gerador. O *circuito reage como um todo* a modificações operadas em qualquer das suas partes constituintes. Se, por exemplo, variarmos o valor da resistência de uma dessas partes, alteramos, imediatamente, a intensidade da corrente em todo o circuito. Isto porque toda a transformação pontual que se efective vai desencadear o aparecimento de ondas electromagnéticas que «levam rapidamente a informação do ocorrido» a todo o restante circuito. Como consequência, este passa de um estado de equilíbrio, caracterizado por valores bem determinados das diferenças de potencial e das intensidades de corrente, a um novo estado de equilíbrio que corresponde à rápida estabilização daquelas grandezas em novos valores.

2.5. A diferença de potencial como causa da corrente

Cada elemento de circuito só será percorrido por corrente se existir, entre os seus extremos, uma diferença de potencial e, obviamente, se a corrente o puder atravessar. A corrente surge, assim, como um efeito cuja causa é a diferença de potencial.

Contudo, a verificação da causa não é, só por si, condição suficiente para que o efeito se produza: *pode existir diferença de potencial sem existir corrente*. É o que acontece, por exemplo, quando se tem um gerador em circuito aberto: existe diferença de potencial nos seus

extremos (cumpre-se a causa) mas o gerador não é atravessado por qualquer corrente macroscópica (não se verifica o efeito).

3. Factores de insucesso no estudo dos circuitos eléctricos elementares de corrente contínua

Qualquer tentativa de inventariação das causas responsáveis pela atribuição à electricidade do rótulo de *matéria complicada* passa, necessariamente, pelos seguintes pontos:

- Ser a electricidade uma área onde proliferam conceitos abstractos cuja compreensão ultrapassa as reais capacidades da maioria dos alunos.
- Existirem modelos conceptuais alternativos, construídos a partir da interacção dos alunos com o seu meio sócio-cultural.
- Ter o ensino de electricidade provocado a assimilação de noções incorrectas, devido à utilização de estratégias incapazes de auxiliar o aluno a estabelecer a ponte entre o seu referencial intuitivo e o referencial formal.
- Ser a electricidade um fenómeno natural que, apesar do papel insubstituível que desempenha no mundo de hoje, aparece, com frequência, associado a «mitos», «medos» e «fantasmas», tantas vezes infundados (OLDHAM *et al.*, 1986).

Muitos autores insistem no efeito decisivo que os modelos intuitivos provocam na aprendizagem das concepções científicas. Não admira, desse modo, que essa seja, hoje em dia, uma das áreas de maior pujança no campo da investigação em didáctica das ciências. À diversidade de trabalhos divulgados corresponde diversidade idêntica de designações utilizadas para referenciar as ideias próprias que os alunos constroem sobre o mundo que os rodeia, antes, durante ou após o ensino formal. De facto, e segundo GUIDONI (1985), essas ideias têm sido designadas por expressões tão diversas como: *referenciais alternativos, representações mentais, concepções alternativas, ciência dos alunos, conhecimento de senso-comum, esquemas de pensamento, etc.*

Por constituírem paradigma para muitos dos estudos desenvolvidos, cabe aqui referência especial aos trabalhos de DRIVER (1978, 1983)

alicerçados, epistemologicamente, numa perspectiva construtivista da aprendizagem. Esta perspectiva concebe a aprendizagem como um processo em que o indivíduo participa activamente na construção do seu próprio conhecimento, estabelecendo relações significativas entre a informação que recebe e o seu referencial idiossincrático prévio. A assimilação de novos conhecimentos é, assim, fortemente condicionada pelos conhecimentos previamente adquiridos e pelas experiências previamente vividas.

Alguns dos modelos alternativos parecem não resistir por muito tempo à acção de um ensino formal *adequado*. É o que sucede, por exemplo, com a ideia sustentada por muitos alunos de que basta um único fio de ligação para fazer acender uma lâmpada por acção de uma bateria. Ao contrário, modelos há que resistem, com vigor, à sua substituição total ou parcial pelas concepções científicas correspondentes (VIENNOT, 1979).

Os modelos alternativos dependem, como é óbvio, do contexto sócio-educativo em que emergem e se consolidam. No entanto, estudos levados a cabo em países tão diversos como a Nova Zelândia, Inglaterra, França e Portugal, permitiram concluir que existe alguma uniformidade, sobretudo no que se refere aos aspectos que tipicamente mais se opõem à acção da escola.

3.1. A multiplicidade das representações que os alunos constroem de um circuito eléctrico

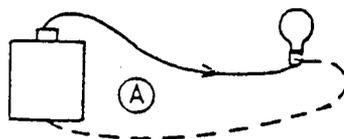
O referencial científico básico para este tipo de circuitos admite, como princípio fundamental, a ideia de *circuito eléctrico* encarado como um *sistema físico* cujas partes constituintes estão *em permanente interacção global*. A assimilação desse princípio é absolutamente essencial para a compreensão efectiva dos fenómenos que ocorrem nesse sistema.

Contudo, em vez dessa imagem interactiva global, muitos alunos têm do circuito uma *imagem sequenciada*, a qual traz implícita a ideia de que um dado dispositivo influencia apenas os dispositivos que se lhe seguem,

numa ordem que está relacionada com o sentido que atribuem à corrente (CLOSSET, 1983).

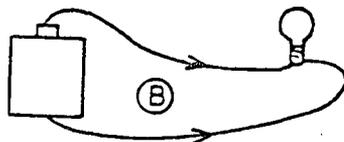
Porém, essa representação, para além de não ser única tem, ela própria, algumas variantes. Assim, de acordo com TASKER e OSBORNE (1987), os modelos de circuito eléctrico elementar mais vulgarizados nos alunos são os que a seguir se apresentam (reproduzem-se as designações e diagramas utilizados por aqueles autores).

Modelo A — Conforme o diagrama da figura deixa perceber, este modelo pressupõe que basta um único fio condutor para *levar a corrente à lâmpada*.



O segundo fio (a tracejado) é considerado dispensável; desempenha, na perspectiva dos alunos que perfilham o modelo, um papel de simples acessório ou de segurança.

Modelo B — Uma parte significativa dos alunos que começam por adoptar o modelo A evolui, após algum tempo de escolarização formal, para este outro modelo.

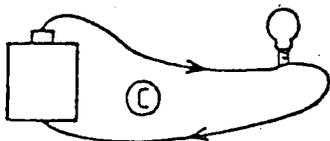


Neste caso, já se julga imprescindível a existência de dois fios de ligação; as correntes que os atravessam são, no entanto, encaradas como autónomas e circulam, ambas, da bateria para a lâmpada. Tudo se passa como se as duas correntes fossem colidir na lâmpada e produzissem nela «*uma faísca da qual resulta a luz*».

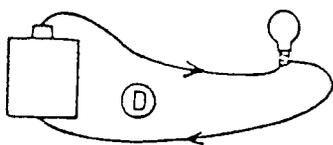
Modelo C — Este modelo tem de comum com o anterior o facto de considerar necessária a existência dos dois fios condutores. Diverge

dele ao admitir que a corrente flui, em ambos os fios, num só sentido.

Para além disso, o modelo pressupõe que a corrente se vai enfraquecendo à medida que progride no circuito.



Modelo D — Esta representação corresponde ao *modelo científico formal*: a corrente eléctrica circula num só sentido e tem a mesma intensidade em todos os pontos do circuito.



O modelo científico só muito raramente é sugerido pelos alunos antes da aprendizagem formal de electricidade. Numa investigação conduzida por OSBORNE (1983) e que envolveu crianças dos 8 aos 12 anos, concluiu-se que quase todas elas, ao serem entrevistadas, não só o não referiam como o rejeitavam quando o investigador o propunha. Reproduzimos, por a considerarmos particularmente sugestiva, parte da argumentação utilizada por uma dessas crianças:

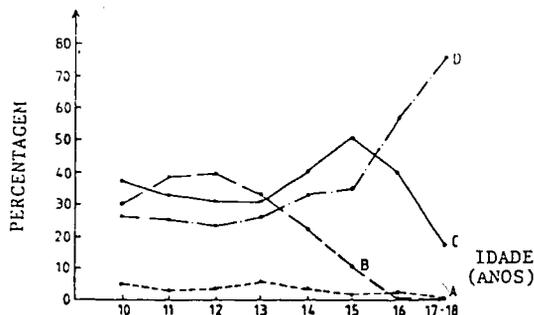
«Para mim, essa explicação não tem sentido... alguma electricidade terá de ser gasta... Se não a lâmpada não dava luz!»

Conclui-se, assim, que o modelo científico, por ser menos intuitivo que os modelos alternativos, cria dificuldades de aprendizagem, por vezes inesperadas. A afirmação que a seguir transcrevemos, proferida por um aluno universitário, é disso um bom exemplo:

«... Não, não aceito esse modelo. Não é possível obter algo (luz) a partir do nada. ... Terá de haver, forçosamente, algum enfraquecimento da corrente que entrou na lâmpada...» (TASKER e OSBORNE, 1987).

3.2. A popularidade dos modelos mais significativos

Num estudo efectuado na Nova Zelândia por OSBORNE (1983) procurou o autor recolher informações sobre o grau de adesão suscitado pelos quatro modelos anteriormente referidos, numa faixa que se estendia dos 10-11 anos de idade (correspondente ao 2.º ciclo português) até aos 17-18 anos (correspondente, em Portugal, ao final do ensino secundário). Os resultados obtidos por OSBORNE, confirmados posteriormente por SHIPSTONE, em Inglaterra, encontram-se sintetizados no gráfico seguinte, extraído de TASKER e OSBORNE (1987):



Por análise do gráfico é possível extrair, entre outras, as seguintes conclusões:

- Nos escalões etários mais jovens, relacionados com níveis de ensino em que este assunto não é abordado formalmente, é possível encontrar os diversos modelos; compreensivelmente, o modelo científico é dos que menos se manifestam nessas idades.
- A adesão dos alunos ao modelo A mantém-se sempre a um nível reduzido.
- É notório o efeito da escola sobre as concepções de circuito tipificadas pelo modelo B. A partir da altura em que os alunos são iniciados no estudo escolar da electricidade (12-13 anos), o modelo B vai sendo progressivamente abandonado até que a sua influência deixa praticamente de se fazer sentir.
- Com o modelo C passa-se algo de singular: ao contrário do que acontecia com o modelo anterior, cresce a adesão a este modelo a partir da altura em que os alunos começam a estudar formalmente electricidade. Verifica-se um máximo por volta dos 15 anos e, a partir daí, a sua influência começa nitidamente a decrescer.
- Cerca de 30% dos alunos de 17 anos argumentam, ainda, na base de modelos que não têm subjacente o princípio de conservação da corrente eléctrica.

—Como seria de esperar, os resultados obtidos apontam para uma preponderância das concepções formais nos últimos anos da faixa etária analisada.

3.3. A confusão entre corrente eléctrica e energia eléctrica

A distinção efectiva entre os conceitos de corrente eléctrica e de energia eléctrica não é tarefa fácil. Na verdade, muitos alunos utilizam indistintamente as expressões «corrente eléctrica» e «energia eléctrica», e também o termo «electricidade», com significados equivalentes: aparecem associados a «uma qualquer entidade física» susceptível de ser «transportada», «consumida» e «armazenada» (PSILLOS e KOUMARAS, 1988). É evidente que essa entidade tem muito mais a ver com o conceito científico de energia eléctrica do que com o de corrente eléctrica.

3.4. O gerador como «reservatório de corrente»

A corrente que um gerador fornece no circuito em que está inserido depende, decisi- vamente, da resistência total desse circuito. O gerador não pode, por isso, ser caracterizado em função da corrente que debita.

No entanto, um dos modelos alternativos mais difundidos nos alunos é aquele que admite que o débito de corrente que um dado gerador permite é invariável, quaisquer que sejam os dispositivos a que esteja ligado: é como se o gerador fosse um *reservatório de corrente*.

A solidez deste modelo pode ser bem evidenciada através dos resultados de uma investigação realizada em França por DUPIN (1987). A amostra utilizada por esse autor envolveu alunos não-universitários e alunos universitários (cursos de ciências físico-naturais). Verificou-se que cerca de 45% dos alunos não-universitários raciocinavam na base daquele modelo alternativo; verificou-se, ainda, que o mesmo modelo se manifestava, vivamente, em cerca de 30% dos alunos universitários (1.º e 2.º ano).

3.5. A troca do efeito pela causa: «A diferença de potencial como consequência da corrente»

A diferença de potencial é reconhecida como uma das grandezas eléctricas conceptualmente mais exigentes. Por outro lado, à designação «diferença de potencial» atribuem os alunos significados que, por vezes, são profundamente distintos.

Os primeiros contactos com esse conceito estabelecem-se quando a criança começa a utilizar dispositivos a que se associa a palavra «volt» (ou, em linguagem corrente, «os volts»). Concebidos, inicialmente, como simples rótulo, *os volts* adquirem, posteriormente, algum significado: forma de exprimir a quantidade de «algo» que existe nas pilhas e que é consumido nas lâmpadas das lanternas de bolso, nos rádios ou nos mecanismos dos brinquedos eléctricos.

À diversidade de significados conferidos à noção de diferença de potencial corresponde diversidade idêntica de confusões, muitas delas provocadas ou alimentadas pelas estratégias escolares. Essas confusões não são um exclusivo dos alunos mais novos (COHEN, 1983); aparecem, também, em alunos que foram submetidos a vários anos de ensino formal de electricidade.

Alguns deles não percebem bem onde reside a necessidade de utilizar dois conceitos diferentes (diferença de potencial e corrente eléctrica) para interpretar os fenómenos eléctricos. Daí serem levados a conceber a diferença de potencial como uma propriedade da corrente, relacionada com a «força» ou a «potência» desta; noutros casos, pura e simplesmente as não diferenciam.

Quando essas duas grandezas são encaradas como distintas, raramente os alunos adoptam, para caracterizar a relação entre elas, os pressupostos do referencial científico formal: diferença de potencial a causa que tem a corrente como efeito. Em vez disso, consideram a primeira uma consequência da segunda.

Por outro lado, frequentemente se atribui à diferença de potencial um carácter pontual: associa-se essa grandeza a um ponto singular do circuito em vez de a associar às proprie-

dades eléctricas de um par ordenado de pontos desse mesmo circuito.

3.6. Alguns bloqueamentos sócio-afectivos

A electricidade desempenha, no mundo de hoje, um papel insubstituível. É por isso que, desde muito cedo, a criança é levada a incorporar aquele termo ou outros afins no seu código de linguagem. Mas, desde logo, também ela começa a ser alertada para os perigos da electricidade e é reprimida no que diz respeito à manipulação dos dispositivos eléctricos que tem em casa. Este comportamento do meio sócio-familiar acaba por induzir na criança «medos» e «fantasmas» associados a este fenómeno físico. Ela habitua-se, nomeadamente, a identificar electricidade com «choques» e a considerá-la algo de misterioso.

Esta situação tem, muitas vezes, reflexos na idade adulta. Na verdade, muitos adultos, mesmo os que estudaram electricidade na escola, relacionam, com frequência, electricidade com choque, independentemente da situação em causa, ou seja, independentemente da diferença de potencial envolvida.

As consequências pedagógicas do «medo» assim criado são imediatas: o medo afecta a aprendizagem na medida em que bloqueia, totalmente ou em parte, os mecanismos da motivação para aprender. Não é, talvez, por acaso que as raparigas revelam, em geral, menor entusiasmo para o estudo da electricidade, relativamente ao que se passa com os rapazes. Entre outras razões, há que pensar que, lá em casa, é o pai e não a mãe quem, com mais frequência, resolve os *problemas eléctricos* domésticos.

O meio familiar, como o comprovam os estudos de OLDHAM (1986) em Inglaterra, procede por forma a que os rapazes comecem mais cedo do que as raparigas a afastar os «fantasmas» que, de algum modo, lhes foram inculcados.

Em geral, esses «medos» e «fantasmas» decrescem com a idade como consequência do desenvolvimento do aluno, da acção da escola e da descompressão sócio-afectiva que se vai

verificando à medida que o mesmo aluno vai tendo permissão progressiva de manipular os aparelhos eléctricos existentes em casa ou na escola.

4. Referencial didáctico básico para o estudo dos circuitos elementares de corrente contínua

A eficácia do ensino formal de electricidade será muito reduzida *se não se tiverem em conta os modelos conceptuais alternativos previamente assimilados pelos alunos* (HARTEL, 1982). O não cumprimento desta condição pode levar os alunos a adoptarem duas concepções distintas: uma aplicável à vida quotidiana e outra aplicável à sala de aula.

Para reduzir a probabilidade de uma tal situação ocorrer, o professor deverá:

- Ter ideias claras e seguras relativamente não só à ciência que pretende ensinar («ciência dos cientistas») mas também à «ciência dos alunos».
- Ter consciência de que não é tarefa fácil levar os alunos a abdicarem da «sua ciência» em favor da «ciência dos cientistas».
- Desenvolver estratégias que os incentivem a exteriorizar as suas próprias ideias acerca dos fenómenos em estudo.
- Discutir com eles essas concepções, levando-os a formular previsões com base nelas.
- Incutir-lhes a necessidade de testar experimentalmente essas previsões.
- Explorar devidamente os conflitos cognitivos resultantes do confronto dos modelos dos alunos com a prova experimental, fazendo sentir a necessidade de adoptar um modelo explicativo que seja mais eficaz.
- «Gastar» algum tempo na consolidação dos conceitos básicos, criando, assim, condições para que a desejada mudança conceptual se possa realmente processar.

4.1. Superação do modelo sequenciado de circuito eléctrico

A estratégia mais vulgarizada para a abordagem dos circuitos eléctricos elementares é a que vai apresentando os conceitos um a um

(estratégia linear) para culminar, por fim, no estudo de circuitos completos. Esta estratégia tem, entre outros, o inconveniente de poder contribuir para reforçar nos alunos perspectivas favoráveis ao desenvolvimento do *modelo sequenciado*.

Julga-se, assim, que qualquer estudo elemtar de electricidade deve contemplar, logo de início, a análise de circuitos completos. Essa análise terá de ser desenvolvida por forma a que esteja sempre presente a ideia de que o circuito eléctrico é um sistema físico constituído por sub-sistemas que, apesar de desempenharem funções diferenciadas, se interinfluenciam constantemente.

4.2. Diferenciação entre energia eléctrica e corrente eléctrica

É provável que, ao iniciar o estudo da electricidade, o aluno já conheça as designações «corrente eléctrica» e «energia eléctrica». É menos provável, contudo, que lhes atribua significados completamente distintos. Desse modo, é legítimo colocar a seguinte questão, cuja pertinência nos parece inquestionável: *Qual desses dois conceitos deve ser desenvolvido em primeiro lugar?*

Se se adoptar a «regra de ouro» que consiste em partir do ponto em que o aluno se encontra para o conduzir à meta que para ele se definiu, ter-se-á necessariamente de concluir que a resposta à questão anterior aponta no sentido de ser dada prioridade ao conceito de energia eléctrica. Na verdade, como já se frisou, os alunos partem de uma ideia (ainda que vaga e difusa) de algo que se «consume» e que, por se «consumir», faz acender lâmpadas, mover motores, etc. É óbvio que essa ideia tem muito mais a ver com a noção de energia eléctrica do que com a de corrente.

Identificado o ponto de partida, cabe agora ao professor pôr em prática estratégias que ajudem o aluno a atingir a meta, ou seja, que o auxiliem a estabelecer a ponte entre a «ideia vaga e difusa» que possui e a concepção científica formal de energia eléctrica.

Aquelas estratégias deverão ser implementadas com base na montagem de circuitos eléctricos apropriados, nos quais os alunos facilmente possam identificar as fontes e os «consumidores» de energia existentes, as transformações e as transferências de energia ocorridas.

Convém levantar questões relacionadas com a produção e o transporte de energia eléctrica, incutindo nos alunos a ideia de que é possível haver transporte e «consumo» de energia sem, todavia, haver «consumo» de matéria.

É possível, nesta altura, começar a desenvolver a noção formal de corrente eléctrica, tendo o cuidado de reforçar o papel que ela desempenha no transporte da energia ao longo do circuito. Para relevar a enorme diferença que existe entre os valores das velocidades de propagação da energia e da corrente, sugere-se a seguinte analogia: numa colisão de automóveis em cadeia, a propagação dos choques sucessivos faz-se muito mais rapidamente do que se «movem» os automóveis envolvidos.

É necessário estar preparado para fornecer argumentos convincentes a objecções que os alunos possam levantar do tipo das que a seguir se exemplificam (SHIPSTONE, 1985):

«Não percebo como é que a lâmpada poderia brilhar se não consumisse nada!»

«Mas se é assim, se diz que a corrente se conserva, como é que explica, então, que a bateria se gaste ao fim de certo tempo?!»

4.3. Clarificação do papel do gerador no circuito

A função do gerador suscita, por vezes, dúvidas como as seguintes (SHIPSTONE, 1985):

«Como é que o gerador sabe que se ligou ou desligou o interruptor?»

«Como é que a bateria decide qual a intensidade de corrente que deve lançar no circuito?»

A pertinência destas questões é inegável. Elas servem para alertar o professor para os cuidados que deve ter na explicação do papel desempenhado pelo gerador. Como se infere, esse papel não é facilmente compreendido.

Para além disso, há que ter sempre em conta que o gerador é encarado por muitos alunos como um *reservatório de corrente*. Neste sentido, o professor terá de conceber situações de conflito que levem, por um lado, o aluno a manifestar qual o modelo de gerador que perfilha e, por outro, o ajudem a alterar (se for esse o caso) esse modelo.

4.4. Distinção entre a causa e o efeito: a corrente como possível consequência da diferença de potencial

Pode afirmar-se que está por encontrar a melhor estratégia para introduzir e desenvolver a noção de diferença de potencial, concebendo-a como um conceito primário. A estratégia ideal seria aquela que conseguisse levar o aluno a:

- diferenciar claramente os conceitos de diferença de potencial e corrente, por um lado, e diferença de potencial e energia eléctrica, por outro;
- perceber que a diferença de potencial é a causa que tem a corrente como possível efeito;
- compreender que a diferença de potencial não é uma grandeza pontual mas bipontual;
- perceber que, ao contrário do que acontece com a corrente, a diferença de potencial não flui pelo circuito.

Ao aplicar essa estratégia, o professor deverá utilizar uma linguagem que deixe bem vincada a ideia de que a diferença de potencial é a causa da corrente e não o seu efeito. Infelizmente, as fontes onde o professor vai colher a informação de que necessita nem sempre o ajudam a cumprir, com sucesso, aquela tarefa. Na verdade, uma grande parte dessas fontes (programas, documentos de apoio oficiais e manuais didácticos) utiliza expressões que, por considerarem a diferença de potencial uma variável dependente (um efeito), acabam por confundir o professor e, por arrastamento, os alunos.

Ao longo do trabalho, tem-se utilizado sempre a designação «diferença de potencial» em vez de outras designações que habitualmente se associam a esta grandeza, como é o caso do termo «tensão». Esta opção tem, a nosso ver,

a vantagem de destacar melhor o facto de que a diferença de potencial é uma grandeza bipontual, isto é, uma grandeza que está relacionada com as propriedades eléctricas de um par ordenado de pontos do circuito e não com as de um único ponto isolado.

4.5. A abordagem didáctica do conceito de resistência eléctrica

O conceito de resistência eléctrica tem uma dimensão intuitiva que os alunos apreendem com facilidade. Ele deve, por isso, começar a ser desenvolvido logo de início, utilizando um percurso didáctico que atinja o formal e abstracto a partir do intuitivo e concreto.

Procedendo assim, tem-se a garantia de que, ao invés do que vulgarmente sucede, a resistência não aparece aos olhos dos alunos como uma variável puramente matemática.

É necessário ter alguns cuidados no que diz respeito à introdução da definição matemática de resistência eléctrica. A experiência nos diz que muitos alunos não diferenciam a equação matemática que configura essa definição daquela que traduz quantitativamente a lei de Ohm aplicada a resistores puros.

A confusão assenta no facto de se considerarem equivalentes duas equações que apresentam domínios de validade profundamente distintos: a expressão geral de definição de resistência eléctrica, $R = V_{AB}/I$, é válida para todo e qualquer ponto de funcionamento, tratando-se, por isso, de uma *condição universal*; a expressão $V_{AB}/I = \text{constante}$ é válida apenas para condutores homogêneos, lineares e isotropos e a temperatura constante (constitui, dessa forma, uma *condição particular*). Ora, como é sabido, não existe equivalência lógica entre uma condição universal e uma condição particular.

4.6. Uma estratégia para o estabelecimento da lei de Ohm aplicada a resistores metálicos

A fim de se poder tirar partido do potencial formativo que a introdução da lei de Ohm pode constituir, sugere-se a seguinte *estratégia geral*:

A — *Percurso intuitivo/qualitativo*

Utilizando sempre circuitos completos e tendo em conta a perspectiva interactiva global de circuito, conduzir os alunos sucessivamente às seguintes ideias, abordadas a um nível qualitativo (ou semi-quantitativo):

A1 — A variação da diferença de potencial (d.d.p.) aplicada a um dado resistor metálico tem por efeito a variação da intensidade da corrente que o atravessa. Os sentidos de variação são iguais: quando a d.d.p. aumenta, a intensidade aumenta; quando a d.d.p. diminui, a intensidade também diminui.

A2 — Para um *mesmo* resistor metálico, quando a d.d.p. se mantém constante o mesmo acontece à intensidade da corrente que o percorre; no entanto, se se mantiver a d.d.p. mas se o resistor for aquecido, a intensidade da corrente decresce em geral (o resistor aquecido oferece, em geral, maior dificuldade à circulação da corrente).

A3 — Aplicando igual d.d.p. a resistores do mesmo metal e de igual espessura mas de *comprimentos diferentes*, eles serão percorridos por correntes de intensidade diferente: mais elevada para o de menor comprimento e mais reduzida para o de maior comprimento.

A4 — Aplicando igual d.d.p. a resistores do mesmo metal e de igual comprimento mas de *espessuras diferentes*, eles serão percorridos por correntes de intensidade diferente: mais elevada para o mais espesso e mais reduzida para o menos espesso.

A5 — Aplicando igual d.d.p. a resistores de igual comprimento e espessura mas de *metais diferentes*, eles serão, em geral, percorridos por correntes de intensidade diferente.

No final desta sequência didáctica, o aluno deve ficar consciente de que *a igual diferença de potencial não corresponde necessariamente igual valor da intensidade de corrente*. Esta grandeza, para além de ser decisivamente

influenciada pela d.d.p. é, ainda, influenciada por outros factores importantes: *temperatura, comprimento, espessura dos condutores e tipo de metal* de que são feitos.

Dado que se pretende estudar experimentalmente a relação quantitativa existente entre a diferença de potencial e a intensidade da corrente, vai haver, por isso, a necessidade de se proceder a um *controlo de variáveis*. O professor deve ter presente que se trata de uma operação cognitiva difícil para a maioria dos alunos — em condições normais, ela só alcança um desenvolvimento satisfatório quando o aluno atinge o estágio piagetiano do pensamento formal. Ciente disso, cabe ao professor ajudar o aluno a sentir a necessidade desse controlo e a ter a percepção de quais as variáveis a controlar.

B — *Percurso quantitativo*

B1 — Tendo em conta os passos anteriormente desenvolvidos, levar os alunos a admitirem como *hipótese* legítima e plausível a que aponta para a existência de *proporcionalidade directa* entre a d.d.p. aplicada aos extremos de um condutor metálico e a intensidade da corrente que, em consequência, o percorre.

B2 — Tendo essa hipótese como *guia de trabalho*, fazer sentir a necessidade de a testar experimentalmente, tendo em conta as considerações anteriormente discutidas, particularmente as que dizem respeito ao referido e imprescindível controlo de variáveis.

B3 — Concluir da validade da hipótese formulada, passando esta a assumir o estatuto de *lei*. Frisar que se trata de uma lei particular na medida em que foi obtida a partir de condições particulares (resistor metálico, homogéneo, a temperatura constante).

B4 — Enunciar a lei estabelecida e apresentar a equação matemática que a representa, escrevendo, junto a ela, as suas condições de validade.

B5 — Apresentar a equação geral de definição de resistência eléctrica; relacionar esta grandeza com a constante de proporcionalidade presente na equação matemática da lei de Ohm; distinguir inequivocamente os limites de validade dessas duas relações quantitativas.

B6 — Discutir com os alunos situações em que a lei de Ohm não seja aplicável; explicar-lhes que, apesar da intensidade da corrente não ser, agora, directamente proporcional à diferença de potencial aplicada, continua a ser possível calcular valores da resistência que o condutor não-ohmico em causa oferece à passagem da corrente; explicar que para condutores destes não tem, assim, cabimento a expressão «resistência do condutor a uma dada temperatura» (essa resistência depende agora da d.d.p. aplicada).

As *Linhas de Força* da estratégia anterior foram, em síntese, as seguintes:

- Chegar ao quantitativo a partir do intuitivo e passando pelo qualitativo.
- Fazer sentir, progressivamente, a necessidade de se proceder a um controlo das variáveis envolvidas no estudo.
- Desenvolver estratégias e realizar experiências tendo em vista um objectivo: testar uma hipótese previamente admitida como plausível. Evita-se, assim, «agir por agir».
- Distinguir claramente condições universais de condições particulares.
- Apresentar a relação de proporcionalidade directa como uma situação particular e excepcional. Recusa-se, assim, induzir os alunos no mito de que a natureza funciona na base de relações tão simples como são as de proporcionalidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CLOSSET, J. L. — «Le raisonnement séquentiel en électrocinetique». *Thèse 3^e Cycle*. Paris, France (1983).
- COHEN, R. *et al.* — «Potential difference and current in simple electric circuits: a study of student's concepts». *American Journal of Physics*, Vol. 51, 407-412 (1983).
- DRIVER, R.; EASLEY, J. — «Pupils and paradigms: a review of the literature related to concept

development in adolescent science students». *Studies in Science Education*, Vol. 6, 61-84 (1978).

- DRIVER, R.; ERICKSON, G. — «Theories in action: some theoretical and empirical issues in the study of student's conceptual frameworks in science». *Studies in Science Education*, Vol. 10, 37-60 (1983).
- PUPIN, J. J.; JOSHUA, S. — «Conceptions of French pupils concerning electric circuits: structure and evolution». *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 24, N.º 9, 791-806 (1987).
- HARTEL, H. — «The electrical circuit as a system: a new approach». *European Journal of Science Education*, Vol. 4 N.º 1, 45-55 (1982).
- OLDHAM, V. *et al.* — «A study of pupil's views on the dangers of electricity». *European Journal of Science Education*, Vol. 8, N.º 2, 179-185 (1986).
- OSBORNE, R. J. — «Towards modifying children's ideas about electric current». *Research in Science and Technological Education*, Vol. 1, 73-82 (1983).
- PSILLOS, D.; KOUMARAS, P. — «Voltage presented as a primary concept in an introductory teaching on DC circuits». *International Journal of Science Education*, Vol. 10, N.º 1, 29-43 (1988).
- SHIPSTONE, D. M. — «A study of children's understanding of electricity in simple DC circuits». *European Journal of Science Education*, Vol. 6, N.º 2, 185-198 (1984).
- SHIPSTONE, D. M. — «Electricity in simple circuits». In R. DRIVER (Ed.), *Children's Ideas in Science*. Open University Press (1985).
- SOLOMON, J.; STUART, H. — «The pupil's view of electricity». *European Journal of Science Education*, Vol. 7, N.º 3, 281-297 (1985).
- TASKER, R.; OSBORNE, R. J. — «Science teaching and science learning». In R. DRIVER (Ed.), *Learning in Science: the Implications of Children's Science*. Auckland, Heinemann (1987).
- VIENNOT, L. — «Spontaneous learning in elementary dynamics». *European Journal of Science Education*, Vol. 1, N.º 2, 205-221 (1979).

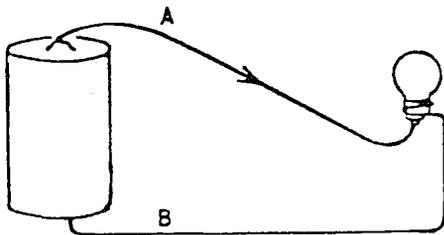
ANEXO

Apresentam-se alguns exemplos de situações problemáticas susceptíveis de auxiliar o professor na tarefa dupla de:

- diagnosticar quais as ideias que os alunos efectivamente possuem relativamente aos conceitos elementares de electricidade;
- provocar nos alunos o conflito cognitivo necessário à efectivação da mudança conceptual pretendida.

I. A multiplicidade de representações relacionadas com o circuito eléctrico

1. Considera o circuito representado na figura. Supõe que no fio A passa corrente e que ela circula no sentido indicado pela seta.



1.1. Assinala a opção que te parece melhor traduzir o que acontece em B.

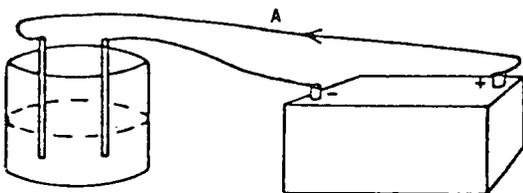
- a) Não existe corrente em B.
- b) Existe corrente em B mas é mais fraca do que em A.
- c) Existe corrente em B e tem intensidade igual à de A.
- d) Existe corrente em B mas é mais forte do que em A.

1.2. Assinala a opção que julgares apropriada relativamente ao sentido da corrente que (eventualmente) passa em B.

- a) A corrente em B circula no sentido da pilha para a lâmpada.
- b) A corrente em B circula no sentido da lâmpada para a pilha.
- c) Não existe corrente em B.

(TASKER e OSBORNE, 1987)

2. No circuito a seguir representado existem duas barras metálicas mergulhadas num líquido e ligadas a uma bateria. No fio A passa corrente no sentido indicado pela seta.



Assinala a resposta que julgares adequada para a questão: *Haverá corrente no líquido?*

- a) Depende de que líquido se tratar.
- b) Tem de haver, forçosamente, corrente no líquido.
- c) Não há corrente através do líquido.

(TASKER e OSBORNE, 1987)

II. A confusão entre corrente eléctrica e energia eléctrica

Considera o circuito esquematizado na figura, em que se supõe que a lâmpada incluída está a brilhar. Discute, agora, a validade das seguintes frases:

- a) A lâmpada consome parte da energia eléctrica transportada pela corrente.
- b) A lâmpada consome parte da corrente eléctrica que nela entra.

(DUPIN e JOSHUA, 1987)

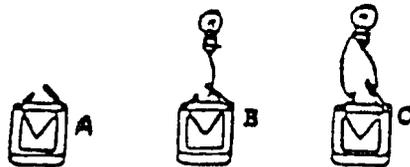


III. «A diferença de potencial como consequência da corrente»

1. A bateria de um automóvel foi recentemente carregada mas ainda não está colocada no lugar a que se destina. Encontra-se na garagem, fora de qualquer circuito. *Haverá corrente nessa bateria?*

(DUPIN e JOSHUA, 1987)

2. Observa as figuras A, B e C.



Assinala agora a opção ou opções que julgares adequada(s) a cada um das seguintes situações:

- a) A lâmpada brilha na(s) figura(s)

A C B
.....

- b) Existe corrente em ...

A C B
.....

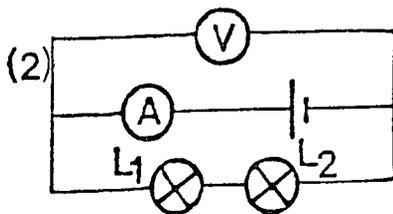
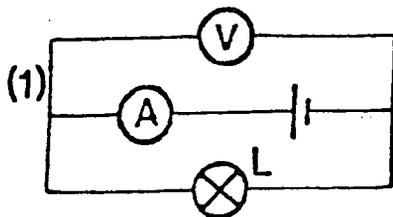
- c) Existe d.d.p. em ...

A C B
.....

(DUPIN e JOSHUA, 1987)

IV. O gerador como «reservatório de corrente»

1. Observa com atenção os circuitos representados nas figuras (1) e (2). Supõe-se que as características dos componentes neles inseridos são idênticas, para cada tipo de componente.

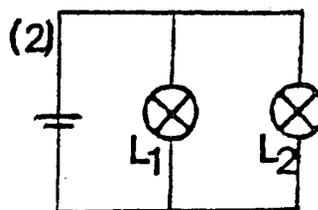
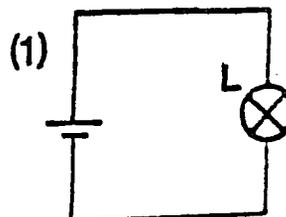


Indica a tua opinião acerca da validade das seguintes afirmações:

- O voltímetro marca um valor mais elevado em (1) do que em (2).
- A lâmpada L_2 brilha menos do que L_1 .
- A lâmpada L brilha mais do que L_1 ou L_2 .
- A intensidade da corrente é mais elevada em (1) do que em (2).

(DUPIN e JOSHUA, 1987)

2. Observa, desta vez, os circuitos representados nas figuras (1) e (2) desta pergunta. Supõe-se, igualmente, que as características dos componentes neles inseridos são idênticas, para cada tipo de componente.



Indica, de novo, a tua opinião acerca da validade das seguintes afirmações:

- As diferenças de potencial entre os terminais de L_1 e L_2 são iguais.
- As diferenças de potencial entre os terminais de L_1 e L_2 têm, qualquer delas, valor inferior à diferença de potencial correspondente a L .
- As lâmpadas L_1 e L_2 brilham menos do que a lâmpada L .

(DUPIN e JOSHUA, 1987)

Concurso de Actividades Experimentais para o Ensino da Física

A Delegação Regional de Lisboa da Sociedade Portuguesa de Física decidiu reabrir o concurso de «Actividades Experimentais Inovadoras para o Ensino da Física», destinado a professores de Física do 3.º ciclo do ensino básico e do ensino secundário.

O regulamento encontra-se ao dispor dos interessados na sede da DRL da SPF (ver pág. 118 do presente número da Gazeta).

Data limite de entrega dos trabalhos:

29 de Maio de 1992.