

O PROFESSOR ARTISTA-REFLEXIVO DE FÍSICA, A PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA E A MODELAGEM ANALÓGICA
(The artist-reflexive physics teacher, the physics education research, and the analogical modelling)

Glória Queiroz
(MCT/MAST)
gloria@skydome.net

Luiz Alberto Guimarães
Marcelo Cordeiro Fonte Boa¹
(CEN)

Resumo

Esse trabalho apresenta características estéticas e técnicas do saber docente de equipe de professores de Física de escola privada no município de Niterói/RJ, capturadas a partir da observação, vídeo-gravação e análise de suas aulas de Eletricidade. Foram captados episódios de ensino, os quais foram examinados à luz do paradigma do artista-reflexivo. A criatividade e a sensibilidade percebidas revelaram que o grupo desenvolveu analogias pedagógicas próprias, ricas em imaginação e incorporação de consensos provenientes de pesquisas em Educação em Ciências. Realiza-se ainda um estudo comparativo entre pesquisas educacionais sobre o tema da Eletricidade e a ação didática dos professores no ensino médio.

Abstract

This work presents esthetic and technical features of a physics teachers group acting in a secondary private school in Niterói/RJ, obtained from observation, video recording and analysis of their electricity classes. Some episodes were captured and examined in according of the artistic/reflexive paradigm. Demonstrating creativity and sensibility these teachers showed own pedagogical analogies, rich in imagination, also incorporating some science education research consensus. A comparative study between the work of science education researchers and secondary physics teachers is done, focusing the theme of electricity.

Introdução

Os professores desempenham papel primordial nas escolas em que atuam, desfrutando de maior ou menor liberdade de ação em função das contextualizações estabelecidas nas organizações escolares, na comunidade educacional mais ampla e na sociedade em geral. Em seu cotidiano, recebem interferências provenientes de diretrizes, parâmetros, currículos, avaliações, coordenadores de disciplina, diretores, supervisores, pais e responsáveis e dos próprios alunos. Durante toda a vida escolar e profissional constroem seu saber docente, que tem na experiência da sala de aula a fonte mais valorizada por eles. Tal saber adquire especificidades em função da disciplina com a qual trabalham e dos objetivos pessoais que desenvolvem em relação a seus alunos e à própria vida no magistério.

¹ Os dois professores sujeitos da pesquisa são autores do trabalho pela produção do saber docente relatado.

O estudo sistemático do ensino, do ponto de vista da valorização da prática pedagógica como lugar de construção de saberes, tem sido reconhecido como um empreendimento relativamente novo, porém em ascensão (Borges e Tardif, 2001). Tornam-se cada vez mais frequentes pesquisas sobre professores em ação, procurando-se chegar a representações codificadas do domínio pedagógico, cumprindo-se a nova agenda de pesquisa proposta por Shulman (1987).

Adotando a metáfora da sala de aula como um sistema físico complexo, a pesquisa qualitativa (Queiroz, 2000) que gerou esse trabalho mostrou a conveniência do paradigma artístico-reflexivo para investigar o professor de Física em ação no ensino médio privado, ação esta influenciada por fatores múltiplos e interligados. No presente trabalho apresentam-se características estéticas e técnicas do saber docente da equipe de professores de Física do Centro Educacional de Niterói (CEN)², capturadas a partir da observação, vídeo-gravação e análise de suas aulas de Eletricidade. Com inspiração inicial na obra de Schön (1992) e de Perez Gómez (1992), entre outros, foram captados episódios de ensino vividos pela equipe em uma escola considerada experimental por possibilitar inovações pedagógicas do seu corpo docente. O referencial do artista-reflexivo tem estimulado a valorização da reflexão sobre o saber docente para o desenvolvimento profissional do professor (Lüdke, 2000) que, assim, pode também formar alunos reflexivos e não meros repetidores de informações.

A criatividade e a sensibilidade percebidas nas aulas vídeo-gravadas e nas entrevistas revelaram que o grupo, ao procurar atingir objetivos educacionais claros e amplos, desenvolveu características didático-pedagógicas próprias, ricas em imaginação e incorporação de consensos provenientes de pesquisas educacionais em geral e de Educação em Ciências em particular (Queiroz, 2001a). Momentos nos quais os professores analisados constroem e aperfeiçoam argumentos, analogias e modelos pedagógicos mereceram destaque na pesquisa. Esses professores valorizam conscientemente a modelagem analógica, tema emergente na pesquisa, no entanto demonstrando que seu interesse em fazer seus alunos progredirem, assimilando modelos consensuais na Ciência escolar, é maior do que investigar o saber docente utilizado, o que será mostrado por meio de uma comparação entre pesquisas educacionais sobre o tema da Eletricidade e a ação didática dos professores.

Uma categorização das analogias usadas nas aulas pelos professores, de sentido amplo e de sentido estrito, é feita, bem como se apresenta o modo como encaminham a construção de modelos em Eletricidade. Foram selecionados trechos dos episódios que demonstram a modelagem.

O Raciocínio Analógico: modelos, modelagem e analogias

A imagem ortodoxa da Ciência não contempla o papel que o raciocínio analógico tem desempenhado na produção do conhecimento científico, apesar de sua presença nos depoimentos de muitos cientistas, os quais, em toda a história da Ciência, têm se preocupado em discutir suas bases epistemológicas. Contudo, a valorização do papel da analogia não colabora para a tese positivista sobre o conhecimento científico. Nela, sua origem está na observação neutra da natureza e o progresso consiste na acumulação de dados experimentais e novas observações, sistematizadas por conceitos diretamente ligados aos dados. A história do conhecimento científico na cultura ocidental é marcada por um longo debate acerca da possibilidade de se garantir um conhecimento confiável sobre a realidade. A experimentação colaborou para a cristalização de uma imagem abrangente e segura do modo como o mundo funcionava, segundo o paradigma newtoniano que se tornou predominante até o final do século XIX. A partir daí e nos primeiros anos do século XX os trabalhos de Boltzmann, Einstein e outros abalaram o determinismo anterior, requerendo nova base filosófica que sustentasse a confiabilidade no trabalho científico. Thomas Kuhn tem sido considerado o historiador e filósofo que mais influenciou o meio acadêmico/cultural científico internacional (Mathews, 2000). A partir de sua obra famosa, *A Estrutura das Revoluções Científicas*

² A equipe analisada é coordenada por Luiz Alberto Guimarães e, à época, composta pelos professores: Milton do Couto Tavares, Marcelo Fonte Boa, Mauro dos Santos Ferreira, João Monteiro de Figueiredo Neto e pelo estagiário Luiz Raimundo Moreira de Carvalho.

(Kuhn, 1977), a racionalidade da Ciência passou a valorizar elementos psicológicos, sociológicos e históricos, fazendo emergir uma nova relação entre teorias e modelos.

Contracenando com as idéias de Kuhn destaca-se a abordagem histórico-cognitiva de Nersessian (1992), a qual procura compreender os caminhos de cientistas durante as mudanças consideradas gestálticas por Kuhn, analisando a resolução de problemas por meio de técnicas de abstração, entre elas o raciocínio por analogias e a construção de modelos a ele correlacionado. No momento atual, abre-se espaço para a imaginação e para o estudo do papel dos modelos analógicos heurísticos. Considera-se que cientistas, do mesmo modo que os artistas, não pretendem mais descrever a realidade "como ela é" mas elaboram interpretações sobre ela, representando-a com sensibilidade, imaginação e de acordo com seu conhecimento e suas crenças prévias. Tomar o conhecimento científico escolar como possível a partir de objetos do nosso entorno, modelados de forma a abstrair-se do supérfluo para concentrar-se nos detalhes essenciais, tem sido considerada uma forma frutífera de ensino-aprendizagem (Terrazan, 1994; Krapas et all, 1998 e 2000).

No raciocínio analógico, diante de um problema tomado como alvo em um domínio desconhecido, cientistas recorrem a domínios mais conhecidos, tomados como fonte da analogia, para o estabelecimento de um raciocínio dinâmico que supera o uso de analogias superficiais entre atributos estruturais desses domínios com o que abriga algum problema novo. A criatividade que pode ocorrer em Ciência, Arte ou na Educação se manifesta pela geração, via modelagem, de conhecimento novo nos dois domínios, estabelecendo-se um modelo mais sofisticado do que o existente previamente até mesmo no domínio fonte.

O referencial teórico dos modelos e modelagem e o estudo específico das analogias vêm emergindo no campo da pesquisa educacional (Duit e Glynn, 1996; Gentner & Gentner, 1983; Glynn et all, 1989; Treagust et all, 1996; Dagher, 1995; Utges 1999). Buscar uma integração hierárquica entre modelos mentais prévios dos estudantes e os modelos consensuais, estabelecendo-se um diálogo entre eles, passa a ser uma das novas metas da Educação em Ciências (Pozzo, 2000).

Na pesquisa, alguns resultados apontam a modelagem como uma interessante alternativa às estratégias anteriormente usadas principalmente nas pesquisas tecnicistas como, por exemplo, a utilização em sala de aula do desgastado ensino via um único 'método científico'. Construir modelos via analogias também parece mais promissor do que a tentativa de realização de mudanças conceituais (Posner et all, 1982) por meio de conflitos, em uma estratégia que procurava gerar nos alunos insatisfação com suas próprias concepções, mostrando-lhes a plausibilidade e as vantagens das concepções ensinadas. Para além do descrédito com a possibilidade de aceitação das idéias novas a partir do conflito com as antigas, a modelagem analógica supera ainda a utilização tradicional de analogias, passando assim a oferecer um caminho, mesmo que repleto de tateios e, portanto, não-determinista, para a construção do conhecimento científico transposto para o currículo. Tal metodologia se adequa assim a uma imagem de Ciência atualizada com as discussões contemporâneas.

Baseada nas conclusões de vários pesquisadores, Utges (1999) tece considerações didáticas entre as quais se destacam: (a) a maior atenção a ser dada aos limites das analogias; (b) o emprego de analogias múltiplas, integradas, de modo a dar conta dos diversos aspectos de um conceito, utilizando em cada caso a analogia que melhor se ajuste a cada um deles; (c) o conhecimento das idéias prévias dos alunos a fim de selecionar as analogias que podem ser assimiladas em suas estruturas de conhecimento - entre elas destacam-se as analogias ponte, que permitem o estabelecimento de relações entre o conhecimento antigo, formado por concepções "âncora" e o novo; (d) o balanceamento do nível de representação de uma analogia, não entrando em detalhes excessivos; (e) a simetria das relações entre o domínio fonte e o domínio alvo e (f) o trabalho de modelização (ou modelagem) analógica com os alunos. No que se refere ao saber docente, as pesquisas se voltam agora para compreender: (a) quais são as fontes das analogias usadas pelos professores; (b) o quanto elas são planejadas ou surgem espontaneamente nas aulas; (c) em que momentos das aulas elas são introduzidas; (d) qual o grau de familiaridade para os docentes e para os alunos das analogias usadas; (e) se os limites das analogias são mencionados ou não e (f) o valor que os professores dão às analogias.

Apesar dos riscos de se recair no simples levantamento dos modelos dos estudantes, como aconteceu em muitas pesquisas sobre as concepções alternativas, esse novo referencial tem servido de base para que se desenvolvam abordagens teóricas mais densas para a pesquisa do que se passa no reduto da sala de aula, diferenciando-a das realizadas em ambientes especialmente programados.

Pesquisas sobre aprendizagem de Eletricidade

As idéias dos estudantes em Eletrodinâmica têm sido estudadas por pesquisadores em ensino-aprendizagem de Física, tanto tomando por base o referencial teórico das concepções alternativas, quanto o dos modelos e analogias. Gravina & Buchweitz (1994) investigaram as concepções alternativas relacionadas com eletricidade e as mudanças nas mesmas a partir da instrução. Enfatizaram o papel da insatisfação dos alunos com suas concepções durante as aulas observadas, nas quais procuravam promover mudanças conceituais por meio do conflito gerado por resultados experimentais que contrariavam a expectativa dos alunos. No referencial dos modelos e modelagem, o trabalho de Borges (1999) mostra como evoluem os modelos mentais de eletricidade expressos por estudantes e profissionais, com distintas experiências de escolarização. Adotando a posição de que um modelo mental é uma forma de organizar o pensamento sobre um objeto, processo ou fenômeno, possibilitando a realização de ações por completo na imaginação, Borges apresenta os quatro modelos por ele detectados, relacionados a circuitos simples: (a) a corrente é "eletricidade" fluindo através dos fios de um circuito e a bateria é um recipiente que armazena essa "substância" que se move através do circuito; (b) existem dois tipos diferentes de eletricidade em um mesmo circuito, as quais saem cada uma por um dos terminais da pilha ou bateria, encontrando-se na lâmpada para produzir a luz, desaparecendo em seguida; (c) a eletricidade é conduzida por cargas microscópicas em movimento de um terminal do gerador para o outro e (d) a corrente é formada por cargas em movimento sob uma diferença de potencial que cria um campo elétrico no interior do circuito, fazendo com que uma perturbação elétrica se propague pelo circuito com um valor constante. No entanto, Borges não aprofunda o estudo do raciocínio analógico na modelagem, enfatizando apenas o papel da memória de experiências anteriores no momento da construção de modelos.

Outros autores têm na analogia o principal referencial teórico. Gentner & Gentner (1983), estudando também o domínio da eletricidade, o consideram ideal para investigar o papel das analogias, uma vez que além de ser um fenômeno do dia a dia, seus mecanismos são essencialmente invisíveis. Descrevem com detalhes os mapeamentos estruturais estabelecidos usando diferentes domínios fontes - água e conjunto de objetos idênticos que se movem - e apresentam resultados de uma pesquisa em que demonstram que as analogias têm efeitos conceituais reais, não sendo simples *terminologia superficial*. Para isso adotam metodologia de pesquisa que permite identificar como as inferências feitas sobre o domínio da eletricidade pelos estudantes variam de acordo com o domínio a partir do qual a analogia é usada. Mesmo tendo voltado o foco para a modelagem analógica, esses autores são criticados por Kaper & Goedhart, (1999) por não descreverem em detalhes a seqüência de eventos que conduziu aos resultados obtidos. Esses últimos guardam o termo analogia para o processo de mapeamento de redes de proposições de um domínio mais conhecido para o novo e ao produto final desse processo chamam de modelo hipotético da realidade, no qual os domínios estão mais próximos do que durante a fase inicial do processo.

Schwedes & Dudeck (1996), ao descreverem e avaliarem uma estratégia de ensino de Eletricidade, declaram que sua principal intenção não é "*confrontar os estudantes com suas misconceptions e inconsistências...*, mas preparar um domínio fonte a partir do qual um conhecimento bem estruturado sobre circuitos elétricos, o domínio alvo, possa ser construído e estabelecido" (p. 52). Isto mostra sua clara opção teórico-metodológica pela modelagem analógica, descartando a simples mudança conceitual via conflitos cognitivos. A preparação do domínio fonte água é feita de modo sofisticado a ponto de dar conta das limitações relatadas em pesquisas anteriores (Gentner & Gentner, 1983; Heywood & Parker, 1997).

Compreender circuitos elétricos requer domínio de conceitos inter relacionados, como corrente elétrica, energia por carga cedida pelo gerador, resistência à passagem da corrente e energia transferida aos resistores. A analogia com água fluindo é limitada apesar de ser ótima em determinados momentos, por exemplo, quando o rio se estreita ou fica cheio de folhas, aumentando a dificuldade de passagem da água. Porém quando se tenta aprofundar a analogia, usando-a para um circuito em paralelo, por exemplo, ela se mostra inadequada, uma vez que diante de dois braços diferentes de um rio (Figura 1) há maior fluxo no braço de menor resistência, porém ao se fechar um dos braços todo o fluxo passa a escoar pelo outro, o que não vai acontecer de maneira análoga o tempo todo no circuito elétrico em paralelo, pois a corrente é maior no braço de menor resistência elétrica. Só que ao se fechar um braço, a bateria, que funciona com diferença de potencial constante, redimensiona a corrente para a nova resistência equivalente que é maior do que a anterior, o que acarreta em uma corrente menor.

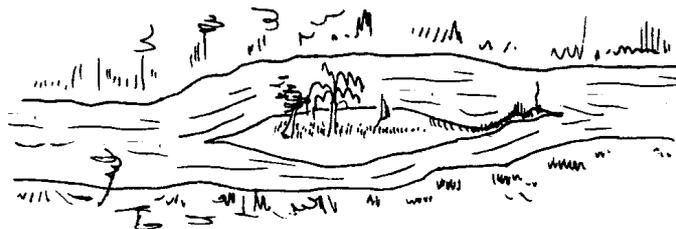


Figura 1: Fluxo (de água) constante em um rio com dois braços de

Helywood & Parker (1997) acreditam, como Gentner & Gentner (1983), que nenhuma analogia sozinha promoverá a total compreensão das complexidades dos circuitos elétricos ensinados, sendo que os primeiros aproveitam esta limitação didática como forma de mostrar aos alunos a natureza provisória do conhecimento científico, atendendo à demanda das diretrizes básicas do currículo nacional inglês. No entanto, na pesquisa de Schwedes & Dudeck (1996), a saída não foi mudar de domínio fonte, mas sim sofisticá-lo de modo a concentrar o ensino realizado em um só modelo analógico consistindo de um sistema de vasos comunicantes no qual a diferença de pressão é visualmente controlada e mantida constante com a ajuda de uma bomba hidráulica. A resistência oferecida ao fluxo de água é produzida pelo estreitamento do cano com a ajuda de um medidor de fluxo. Investigam se os alunos conseguem ou não transferir para o domínio elétrico o conhecimento aprendido no domínio da água (Figura 2).

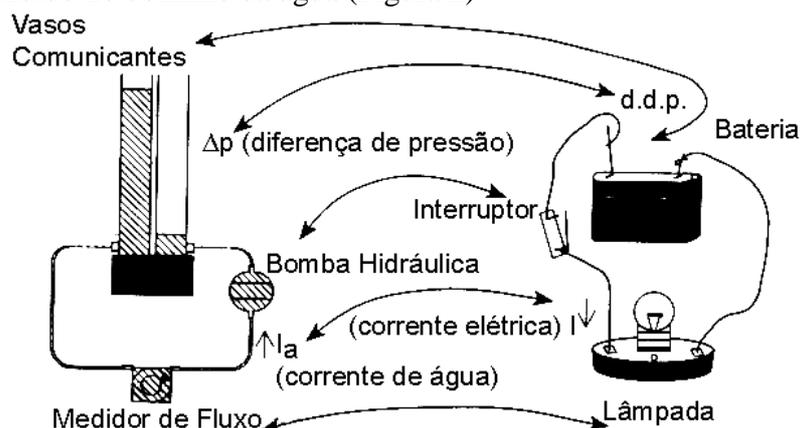


Figura 2: Relação analógica entre circuitos: de água e elétrico (Schwedes & Dudeck, 1996).

Criação de analogias pelos professores estudados

Para Duit & Glynn (1996), a aprendizagem em Ciências pode ser vista como uma cadeia de processos de construções analógicas, que vão de modelos mentais iniciais a modelos intermediários em direção aos modelos consensuais da Ciência. Os professores analisados têm clareza a esse respeito, indicando nas entrevistas e em aula que as relações analógicas são o caminho para a construção dos modelos junto aos alunos. Algumas das analogias usadas são conhecidas no ensino

de Física, porém muitas são criadas antes ou durante as aulas, com a participação ativa dos alunos. Durante o processo de argumentação desenvolvido, não se percebe a preocupação em perseguir "um método científico" para alcançar resultados previamente determinados. Iluminados por uma visão construtivista que se reflete nas suas concepções acerca da educação, demonstram explicitamente seu envolvimento no processo de mudança ou desenvolvimento conceitual de amplo sentido³ de seus alunos. Vale ressaltar a importância dada às representações visuais e à manipulação adequada de modelos pedagógicos de sentido estrito, em aulas parcialmente planejadas, com espaços para muitas improvisações (Queiroz, 2001b). Os alunos são levados a conflitos cognitivos durante o trabalho com as analogias que os motivam a participar da consolidação dos novos modelos trilhando um caminho que une exploração das idéias prévias a um trabalho com analogias.

Algumas vezes as analogias extrapolaram os conteúdos específicos da Física curricular e seu uso visava engajar os alunos nas mudanças necessárias. Tais analogias foram categorizadas como analogias de sentido amplo⁴, deixando a categoria de analogias de sentido estrito para as analogias instrucionais. Para ilustrar a categorização, a apresentação de algumas subcategorias dentro dos dois grupos acima será feita por meio de definições construídas após análise das diferentes analogias usadas, sendo algumas exemplificadas com trechos de aulas ou entrevistas:

- Analogias de sentido amplo: Epistemológicas, Ampliadoras, Históricas e de Raciocínio Matemático.

⇒ Analogias Epistemológicas

Analogias para demonstrar como a Ciência funciona, estabelecendo relações entre situações conhecidas. Um exemplo foi a analogia feita entre a Física e um filme de mistério para explicar a produção do conhecimento científico por meio de um contexto que desperta a curiosidade e o interesse dos alunos - o cinema de suspense.

⇒ Analogias Ampliadoras

Analogias para indicar a necessidade que existe de se mudar algum modelo previamente construído. Este é o caso do modelo atômico escolarizado dos alunos quando focado apenas pela lei de Coulomb de atração ou repulsão de cargas elétricas (Figura 3):

Marcelo: *se vocês usarem o modelo de vocês ele vai furar. Falei sobre o modelo atômico aqui? Para mostrar que vocês não pensam em tudo. Quando colocado vai grilar... Como é que é o modelo atômico de vocês?*

Alunos: *uma bolinha, núcleo.*

Marcelo: *o que é que tem dentro do núcleo?*

Alunos: *prótons e neutrons.*

Marcelo: *vocês aprenderam também sobre as cargas das partículas não foi. Como é que é? Não é assim:*

+ com + → repele

+ com - → atrai

Marcelo: *Os átomos que vocês estão dizendo que são dessa maneira têm no núcleo cargas positivas e os elétrons orbitando em torno do núcleo. Não grila vocês o fato das cargas positivas (no núcleo) conviverem e não se repelirem?*

Aluno: *mas tem o neutron.*

Marcelo: *mas o que o neutron faz?*

Alunos: *anula as cargas positivas.*

³ Mudança conceitual de amplo sentido estende o sentido da mudança conceitual restrita a mudança nas questões feitas, nas metodologias usadas para respondê-las, nos valores e visões de mundo.

⁴ A nomenclatura diferenciadora entre analogias de sentido estrito e de sentido amplo foi inspirada na semelhante feita para modelo pedagógico por Krapas, Queiroz, Colinvaux, Franco & Alves (1998).

Marcelo chama atenção para a limitação do modelo dos alunos e apresenta o segundo problema relativo ainda à interação elétrica entre as partículas do átomo:

Marcelo: *vocês têm essa informação na cabeça de vocês como coisas estanque. (...) Vocês têm dois modelos que batem de frente com a informação, mas vocês começam a fingir ou a inventar uma função para os neutrons. E também porque que o elétron, se ele é negativo, não entra também na brincadeira e vai para o núcleo?*

Um aluno encontra mais uma solução *ad-hoc*:

Aluno: *têm umas camadas, os orbitais.*

Marcelo: *as camadas são fixas? O que são os orbitais? São órbitas?*

Aluna: *Marcelo, você não respondeu, por que não cola?*

Marcelo: *O que eu estou querendo mostrar é que esse modelinho que está dentro da cabeça de vocês, ele é um modelo insuficiente para entender as coisas. Tem que ter alguma informação a mais para poder o negócio não, não (gesto de explosão com as mãos) perder o sentido.*

Aluno: *e qual é?*

Na seqüência da aula, não transcrita aqui, Marcelo apresenta cada uma das quatro interações físicas, justificando a possibilidade dos prótons se manterem no núcleo do átomo pela grande atração da interação nuclear forte.

- Analogias de sentido estrito: Semifamiliares, Internas à Física, Práticas, Lingüísticas e Metafóricas.

⇒ Analogias Semifamiliares

Analogias com o cotidiano dos alunos, mas com acréscimo de situações plausíveis no domínio fonte para atender a demandas do domínio alvo e possibilitar a construção de um modelo de realidade novo, mantendo a fonte plausível.

Carteiras em uma sala de aula e elétrons em um sólido condutor.

Os alunos são convidados a imaginar as cadeiras de uma sala em uma situação nunca vista, ou seja em movimento vibratório, o qual atrapalharia uma pessoa que quisesse se deslocar na sala.

Mauro: *a gente já viu em algumas aulas aí que quando a gente tem algo como um condutor metálico, com os átomos bem ordenadinhos no espaço e uma nuvem eletrônica com os elétrons podendo passear entre eles... Os núcleos estão fixos num cristal e os elétrons passando... É como se eu tivesse numa sala aqui uma arrumação de cadeiras estáticas. Se eu sou um elétron, alguma coisa que tem que passar entre as carteiras, eu posso tranqüilamente visualizar um caminho sem esbarrar nelas. Agora vamos supor que essas carteiras estivessem se mexendo. Se essas carteiras tivessem a capacidade de vibrar, elas não estariam mais estáticas. Elas poderiam vibrar em torno de uma posição média igual à estática. Aí nesse caso é muito mais difícil que eu passe entre as carteiras sem esbarrar nelas. É exatamente isso que acontece aqui com os nossos materiais. Mas isso existe na vida real? Existe.*

⇒ Analogias Metafóricas

Algumas vezes as analogias são sintetizadas em metáforas, com o seu aspecto inusitado sendo usado para explorar imagens, causar surpresas e risos.

a) A concha d'água.

Essa analogia metafórica dá continuidade a uma anterior feita entre um circuito elétrico e um circuito de água em dois vasos comunicantes (Figura 4). Uma concha (Figura 5) passa a representar o meio pelo qual uma pessoa pode transportar água de um vaso para o outro, ligados por um tubo. A diferença inicial nas alturas seria logo destruída com a comunicação, havendo necessidade de se fazer trabalho físico, medido por um certo número de joules por “concha”, correspondendo ao trabalho (mgh) de uma massa de água, retirada de um dos vasos e elevada até ser colocada no outro, mantendo o desnível da água e garantindo a corrente.

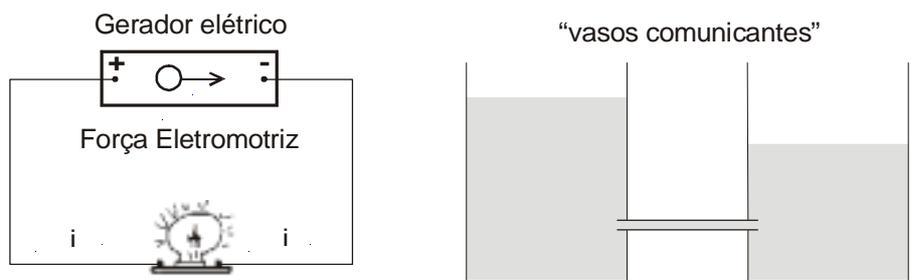


Figura 4: Desenhos feitos lado a lado no quadro-negro.

Luiz Alberto, mostrando o modelo pedagógico "vasos comunicantes" aos alunos: *só para lembrar, a gente começou a fazer uma analogia mecânica para visualizar a coisa. Aqui está o tubinho, que no circuito corresponderia àquele elemento ali (resistência), que para passar a corrente precisa de uma diferença de pressão (d.d.p.). Então todo mundo sabe que uma diferença de pressão é feita mediante uma diferença de altura aqui. Então vou levando a água de volta. Então tem aquela brincadeira que nós fizemos, eu mesmo com uma concha aqui pegando a água e levando de volta. Daí surgiu a idéia de que eu teria que fazer uma certa quantidade de joules por concha de água que eu levasse de volta. Joule por Concha, já pensando em Joules por Coulomb. Então está aqui a idéia: no circuito elétrico o gerador é exatamente isso, o responsável por manter a diferença de potencial elétrico.*

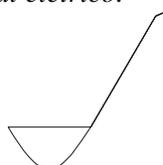


Figura 5: Concha desenhada no quadro-negro.

No domínio alvo da eletricidade, surge necessidade de um elemento que gere o movimento das cargas elétricas, assim como a elevação da concha, transportando água do vaso mais baixo para o mais alto, faz no domínio hidráulico. Esse elemento é o *gerador*. Como interessante coincidência está a inicial de Concha e de Coulomb ser a mesma letra C.

Modelagem analógica do circuito elétrico

É interessante notar algumas características das analogias usadas por Luiz Alberto em eletricidade, muitas das quais, segundo ele, surgem na hora da aula: as abreviações que geram trocadilhos; a riqueza de detalhes das situações trazidas para a aula; a mistura de palavras dos domínios fonte e alvo, usando as de um domínio no outro e vice-versa, como se fosse um único domínio; os gestos que representam visualmente as analogias e muitos outros aspectos estéticos e artísticos que introduzem nas aulas momentos de vivências emocionais cognitivas e interpessoais que envolvem professor e alunos.

Em Eletricidade, o problema das limitações das analogias é contornado por Luiz Alberto por meio do uso daquela que melhor se adapte a uma determinada situação, explicitando para os alunos porque uma certa analogia deve ser abandonada apenas quando vêm de algum deles tal problematização. Age de forma similar à atribuída por Nersessian (1992) aos cientistas que, com seus modelos provisórios, descartam-se deles após terem sido usados. Esse é o caso da analogia com a água, que após se mostrar muito adequada para a introdução do que acontece com a variação de uma resistência elétrica, necessita ser abandonada e substituída pela analogia com carros em uma estrada, para que se dê conta do que acontece em alguns circuitos elétricos.

Luiz Alberto em entrevista mostrou ter cons do uso que faz das analogias didáticas.

Luiz Alberto: *uso N, N modelos. Cada hora eu trabalho com um, dependendo do que se adapta melhor. E procurando mostrar que agora esse aqui já não dá mais. Porque tem horas que o seu modelo fura. Por exemplo... você usa num primeiro momento, para mostrar o que acontece quando vai haver uma ligação em paralelo de resistências. Você vem com aquela idéia da água para mostrar que quando a água cai da cachoeira e você usa aquela energia para rodar lá o moinhozinho, a quantidade de água que vem lá de cima é a mesma, conservação da corrente; o que houve ali foi dissipação de energia. Eu acho que ... tudo que*

puder ser feito com fluxo de água em eletricidade..., dá boas analogias. Depois ela passando num tubo de areia, que é quando você entra com o conceito de resistência, e tal. Mas por exemplo, aí você vai dar a idéia da bifurcação. Então um rio que tem uma vazão de tantos litros por segundo. Uma ilha no meio e tem dois braços, o rio se divide em dois braços. Como é vai dar essa divisão? Só que aí vem aquele problema. Se você fecha um desses dois braços de rio, aumenta a vazão do outro. Porque lá o que é constante é a corrente. Mas isso tem a lógica, não fura nem a Física. O problema é que quando a gente trabalha circuito ...trabalha com fonte de tensão constante. Não é comum, fonte de corrente constante no nosso dia a dia. Aqui não funciona. Um aluno me perguntou: mas professor, no caso do rio se você fechar vai aumentar lá? E aí eu tive que explicar...

Nas aulas, com a sofisticação do circuito elétrico, pela diversificação de tipos de associações de resistências, Luiz Alberto opta pela mudança para a analogia com carros em uma estrada com cabines de pedágio, pois nesse caso, o fechamento de uma cabine aumenta a fila de carros na outra cabine, diminuindo o fluxo de carros na estrada (Queiroz 2000). Isso corresponderia no circuito elétrico a uma diminuição da corrente elétrica.

Em uma aula, Luiz Alberto trabalha com seus alunos os tipos de ligação que podem aparecer nas provas dos concursos a se realizarem nos próximos dias. Faz uso do modelo pedagógico "quadro de lâmpadas", composto por bocais que podem ser ocupados por lâmpadas ou fechados por fios. Entre emoções cognitivas da situação de tensão na qual se encontram os alunos, destaca-se, no trecho apresentado a seguir, uma confusão provocada propositalmente pelo professor, induzindo os alunos a usarem um raciocínio em analogia à lógica do senso comum: menos lâmpadas no circuito, maior o brilho de cada uma delas. A analogia com carros é lembrada no final:

Luiz Alberto: *todo mundo está vendo esse circuito que está aqui (no modelo pedagógico 'quadro de lâmpadas') desenhado no quadro (negro)? Vou fazer algumas afirmações para vocês me dizerem se está certo ou errado. Gente, primeiro passo: descobrir quem está em série com quem, quem está em paralelo com quem. Oh! Dentro desse esquema que está mostrado aqui: Lâmpada 1 (L₁), Lâmpada 2 (L₂) e Lâmpada 3 (L₃) (Figura 6).*

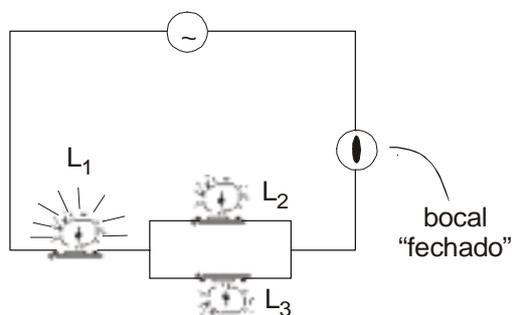


Figura 6: Esquema do modelo pedagógico "quadro de lâmpadas" mostrado aos alunos.

Enquanto desenha o brilho das lâmpadas em torno das três resistências no quadro-negro e acende o quadro de lâmpadas: brilhando muito a 1, pouquinho a 2 e a 3.

Luiz Alberto *O que acontece se a lâmpada 1 for retirada do circuito?*

Marisa: *apaga.*

Luiz Alberto retira a lâmpada 1, abrindo o circuito (e as outras duas apagam): *não é óbvio? ...Agora o que eu quero perguntar é se eu retirar fora a lâmpada 2 (Figura 7)?*

Alunas Marisa e Jaqueline: *vai ficar em série.*

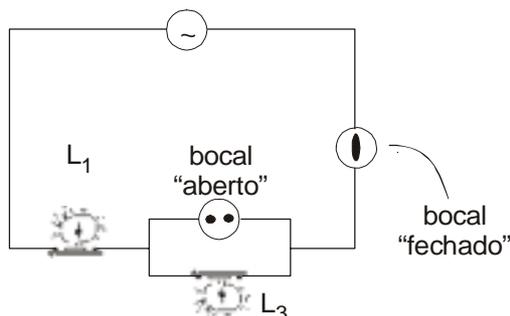


Figura 7: Esquema do modelo pedagógico "quadro de lâmpadas" mostrado aos alunos.

Outros alunos: *vai brilhar menos.*

Luiz Alberto: *Continua a 1 brilhando muito e a 3 fraquinha?*

Alunos: *não.*

Marisa: *não, vão brilhar iguais. A 1 vai brilhar menos e a 3 mais (do que antes).*

Outra aluna: *vão brilhar iguais, com menos potência.*

Luiz Alberto: *Só tem duas em série agora, porque a mesma corrente que passa aqui passa ali.*

Aluno: *vão brilhar iguais.*

Luiz Alberto: *perfeito, esse tal brilho, vocês estão me dizendo que agora é igual, de L_1 e L_3 . É igual a esse brilho forte de L_1 ou a esse brilho fraco de L_3 (quando a ligação era mista)?*

3 alunos (Marisa, Jaqueline e Paulo): *não, é menos, é um meio entre os dois.*

Luiz Alberto encaminhando raciocínio errado: *mas gente, mas isso não é lógico não. Isso não é lógico não. Quanto é que está passando de corrente ali?*

Aluno: 2.

Luiz Alberto: *gente eu disse para vocês que a resposta de vocês não é lógica pelo seguinte: o lógico seria: tem 2 ampères, como está em paralelo divide, dá 1 para cá e 1 para lá. Quando eu tirei fora essa lâmpada, essa corrente de 2 ampères que passava aqui, não tendo mais esse caminho, vem para cá. Eu teria as duas brilhando igual, só que no brilho mais forte, não é?*

As duas alunas Marisa e Jaqueline: *é.*

1 Aluno: *não.*

Luiz Alberto: *só que vocês estavam certos, eu forcei vocês a pensar errado.*

Luiz mostrando no quadro de lâmpadas o brilho igual e intermediário em relação à situação anterior: *ó, ó.*

Alunos: *vai dividir a voltagem.*

Luiz recoloca a lâmpada: *então eu pergunto para vocês, aonde é que eu induzi vocês a erro aqui? Aluna: não, está certo.*

Luiz Alberto: *mas espera aí, se isso fosse certo essa lâmpada...*

Alunos participam em geral e um deles fala algo inaudível.

Luiz Alberto: *... Essa é a questão: não adianta querer ganhar tempo, ser econômico.*

Aluna: *tem que achar a resistência equivalente de novo.*

Luiz Alberto: *Muda o circuito original. A resistência equivalente, que é o básico, que vai dizer quanto de corrente vai ou não para o circuito, muda, muda. Gente, isso é questão certa. (vestibular). Tirar fora essa lâmpada, o que acontece?*

Luiz tira de novo no quadro de lâmpadas e mostra o que acontece: *muda a resistência equivalente, para mais. Parece estranho, não é? Eu estou tirando uma resistência (L_2) e a total aumenta. Não devia diminuir? É estranho? Não, porque eu estou tirando uma que está em paralelo. Sempre que eu tiro em paralelo, eu aumento. É menos um caminho para a corrente. Fica mais difícil. Se além de eu tirar essa lâmpada, eu no lugar dela fechar o circuito, produzir um curto, o que vai acontecer?*

1 Aluno: *vai ficar apagada.*

Aluno: *isso é um curto?*

Luiz Alberto: *isso é um curto-circuito... O que é um curto? A palavra curto, é o seguinte: caminho mais curto. Não foi nessa sala o outro dia que eu usei aquela idéia da estrada? Você está vindo na estrada, tem duas cabines de pedágio, passa um pouco de carro aqui, um pouco de carro ali (apontando para o circuito elétrico). De repente o cara da cabine B saiu para tomar cafezinho. Aí o motorista... vêm todo mundo vai passar por ali. Entre pagar pedágio e passar direto...*

Marisa: *resistência zero.*

A aluna Marisa transferiu para o domínio elétrico o raciocínio que Luiz Alberto fazia no domínio da estrada com carros. Resistência zero é uma expressão que passou a ser usada por ela tanto para carros como para a corrente elétrica, mostrando assim o sucesso do raciocínio analógico desenvolvido.

Para construir um modelo de eletricidade em um circuito elétrico os alunos de Luiz Alberto foram convidados ao longo de um conjunto de aulas a entrar no mundo microscópico onde habitam os elétrons, transpondo para lá concepções e modelos desenvolvidos no mundo macroscópico. O importante do processo de modelagem desenvolvido é que o modelo não foi dado pronto para ser copiado pelos alunos. Pelo contrário, foram diversas as oportunidades proporcionadas para a sua construção, contando com a participação ativa dos alunos (Queiroz, 2001).

Conclusões

No conjunto das aulas observadas, os alunos tiveram chances de construir o modelo científico de Eletricidade no qual a corrente elétrica é formada por cargas em movimento sob o efeito de uma diferença de potencial que cria um campo elétrico no interior do circuito. No entanto, os dados obtidos nessa pesquisa não permitem garantir que isso tenha sido alcançado, uma vez que mesmo abandonando o modelo de eletricidade como fluxo de uma substância, a própria *eletricidade*, eles podem ter chegado apenas a um modelo evoluído em relação ao anterior, que é o de *eletricidade* como cargas em movimento linear (Borges, 1998). Acredito que a adequação da analogia "carros em uma estrada com pedágios" tenha ajudado a evitar esse risco, uma vez que o dinheiro que os motoristas levam para fazer o pagamento está desvinculado do movimento dos carros: "*carros passam, o que fica é money*". Porém tal modelo não dá conta daquele que os cientistas inventaram para descrever uma realidade invisível: micro-partículas vibrando e transmitindo sua energia, adquirida de uma fonte que produz a excitação inicial, a outras presentes nos condutores, até alcançar os elementos passivos dos circuitos, os resistores, que transformam essa energia em luz, calor, vibração etc.

Os resultados dessa pesquisa sobre a ação de professores de Física no ensino médio, quando confrontados com os trabalhos de pesquisa sobre ensino-aprendizagem da década de 90, comentados, mostram nitidamente a diferença dos papéis desempenhados pelos pesquisadores e pelos professores. O pesquisador, ao buscar compreender como indivíduos aprendem diante de determinada estratégia de ensino, faz recortes de situações de ensino-aprendizagem. Não vive com os sujeitos da sua pesquisa a mesma situação de um professor com a atribuição de ensinar e avaliar a aprendizagem de conteúdos curriculares. Semelhanças também aparecem entre o trabalho dos professores pesquisados e dos pesquisadores. Entre elas há o interesse em obter eficácia com as estratégias didáticas usadas, o que faz com que ambos criem situações que favoreçam a aprendizagem dos alunos. Algumas causas podem ser atribuídas às diferenças encontradas, entre elas o distanciamento obrigatório que o professor toma de uma situação de pesquisador ao se defrontar com a complexidade da sala de aula, na qual precisa dar conta da construção de conteúdos significativos, tendo também que atender às demandas do contexto escolar que exige um certo tipo de formação para os alunos. Além disso, o professor costuma usar os modelos pedagógicos, em sentido estrito, disponíveis na escola ou aqueles que consiga confeccionar. Tem ainda que lidar com questões trazidas pelos estudantes no momento da aula, de natureza variada. Torna-se impossível, além de não ser esse seu objetivo, planejar previamente como fazem os pesquisadores. As pesquisas cognitivistas em geral abrem espaço para imprevistos gerados pelos seus sujeitos durante a investigação, mas isso se acentua muito no contexto de uma sala de aula. Por outro lado, o professor fica livre para alternar analogias diferentes em uma mesma aula ou em um conjunto de aulas, visando alcançar um número cada vez maior de alunos com uma aprendizagem significativa. Por exemplo, um professor pode estabelecer um conflito cognitivo em pleno processo de modelagem analógica, agindo diferentemente de Schwedes & Dudeck (1996).

A arte de criar e explorar analogias durante um processo de ensino-aprendizagem com preocupações construtivistas se destacou como um caminho do desenvolvimento das salas de aula dos professores dessa pesquisa, estabelecendo modelos como pontes entre a teoria e empiria e servindo de base a processos heurísticos. Tais salas de aula se tornam assim exemplos de sistemas físicos complexos diferenciados em relação às salas tradicionais, evoluindo em direção a espaços mais propícios para aprendizagens significativas principalmente por incluírem a conscientização dos alunos nos processos de modelagem desenvolvidos.

Bibliografia

- BORGES, T. A. "Como Evoluem os Modelos Mentais". *Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências* v. 1, n.1, 85-125, Belo Horizonte: 1999.
- BORGES, C. E TARDIF, M. *Apresentação do dossiê: Os Saberes Docentes e sua Formação*. Revista Educação & Sociedade, n. 74, 97-117, abril, 2001.
- DAGHER, Z. R. Review of Studies on the Effectiveness of Instructional Analogies in Science Education. *Science Education*, v. 79, n. 3, 295-312, 1995.
- DUIT, R. & GLYNN, S. Mental Modelling. Em: *Research in Science Education in Europe: current themes and issues*. 166-178 Organizado por Welford, W.; Osborne, J. & Scott, P. Londres: FALMER PRESS, 1996.
- GENTNER, D. & GENTNER, D. R. Flowing waters or teeming crowds: mental models of eletricity. Em: *Mental models* Organizado por Gentner, D. & Stevens, A. L. Hillsdale, NJ: ERLBAUM, 1983.
- GRAVINA, M. H. & BUCHWEITZ, B. Mudanças nas Concepções Alternativas de Estudantes Relacionadas com Eletricidade. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 16, 110-119, 1994.
- GUIMARÃES, L. A. & FONTE BOA, M. *Física para o 2º Grau. 3 volumes: Mecânica; Eletricidade e Ondas; Terminologia e Óptica*. São Paulo: HARBRA, 1997.
- HEYWOOD, D. & PARKER, J. Confronting the analogy: primary teachers exploring the usefulness of analogies in the teaching and learning of electricity. *International Journal of Science Education (IJSE)*, v. 19, n. 8, 869-885, 1997.
- KAPER, W & GOEDHART, M. Productive Reasoning by Analogy: Examples from the teaching of thermodynamics at university level. Xerox de Paper apresentado na *Second International Conference of the European Science Education Research Association, E.S.E.R.A.* Kiel: 1999.
- KRAPAS, S; COLINVAUX, D., ALVES, F. & QUEIROZ, G. Modelos: Aprofundando Sentidos na Literatura de Pesquisa de Educação em s, *Cd-rom do X EPEF*. Florianópolis: 2000.
- KRAPAS, S; QUEIROZ, G.; COLINVAUX, D., FRANCO, C. & ALVES, F. Modelos: Terminologia e Sentidos na Literatura de Pesquisa em Ensino de Ciências - *Investigação em Ensino de Ciências*, v. 2 n. 3, 1-18, 1998.
- KUHN, T. *A Estrutura das Revoluções Científicas* S. Paulo: EDITORA PERSPECTIVA, 1977.
- LÜDKE, M. A pesquisa e o professor da escola básica. *Cd-rom do X ENDIPE*, 2000.
- MATHEWS, M. Editorial *Science & Education* v. 9, 2000.
- NERSESSIAN, N. - How do Scientists Think? Capturing the Dynamics of Conceptual Change in Science. Em: *Minnesota Studies in Phylosophy of Science: Cognitive Models of Science*. v. XV Organizado por Gere, R.N. Minneapolis: UNIV. OF MINNESOTA PRESS, 1992.
- MEC/SEMTEC, Recomendações para a área de Ciências da Natureza, Matemática e Tecnologias no Ensino Médio, Brasília: 1998.
- PEREZ GÓMEZ, A. O Pensamento Prático do Professor: A Formação do Professor como Profissional Reflexivo, Em: *Os professores e a sua formação* – Organizado por Nóvoa, A. Lisboa: PUBLICAÇÕES D. QUIXOTE, 1992.
- POSNER, H., STRIKE, HEWSON & GERTZOG. Accomodation of a Scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science & Education*, v.66, n. 2, 211-227, 1982.
- POZZO, J. I. *Pode a Alfabetização Científica substituir os saberes cotidianos dos alunos?* Conferência no II Congreso Iberoamericano de Educación em Ciencias Experimentales. Córdoba, Argentina: 2000.
- QUEIROZ, G. *Professores Artistas-Reflexivos de Física no Ensino Médio*. Tese de Doutorado - PUC/RJ, Orientador: Creso Franco, Rio de Janeiro: 2000.
- QUEIROZ, G. *Processos de Formação de Professores Artistas-Reflexivos de Física* - Revista Educação & Sociedade, n. 74, 97-117, abril, 2001a.

- QUEIROZ, G. & FRANCO, C. Professores Artistas-Reflexivos em Sistemas Educacionais Complexos - Aceito como comunicação oral no VI Congresso de Didáctica de las Ciencias - Barcelona, 2001b.
- SCHÖN, D. Formar Professores como Profissionais reflexivos. Em: *Os professores e a sua formação*. Organizado por Nóvoa, A. Lisboa: PUBLICAÇÕES D. QUIXOTE, 1992.
- SHULMAN, L.S. Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform - *Harvard Educational Review*. v. 57, n.1, 1987.
- SCHWEDES, H. & DUDECK, W-G. Teaching Electricity by Help of a Water Analogy *Research in Science Education in Europe: current themes and issues*. 50-63. Org. por Welford, W.; Osborne, J. & Scott, P. Londres: FALMER PRESS, 1996.
- TERRAZAN, E. Perspectivas para a Inserção da Física Moderna na Escola Média. *Tese de Doutorado, USP*. S.P.: 1994.
- TREAGUST, D.; HARRISON, A. G.; VENVILLE, G. J. & DAGHER, Z. Using Analogical Teaching approach to engender conceptual change. *IJSE* v. 18, 213-229, 1996.
- UTGES, G. R. Modelos e Analogias na Compreensão do Conceito de Ondas - *Tese de Doutorado, USP*. Orientadora: Jesuína Pacca, S.P: 1999.