

Das Palavras aos Quanta: analogias em aulas de Física Quântica

From words to Quanta: analogies on Quantum Physics Class

Resumo

Como professores de Física, em nossa intenção de ensinar ciência, utilizamos várias ferramentas de mediação, a saber, a linguagem verbal (falada e escrita), as representações gráficas e pictóricas, dentre outras. Estas se apresentam na tentativa de simbolizar a realidade a ser estudada e compreendida. No entanto, no domínio da Física Moderna e Contemporânea (FMC), deparamo-nos com alguns obstáculos (OSTERMANN e MOREIRA, 2001), que podem ser interpretados como sendo de ordem ontológica ou epistemológica. Há uma dificuldade especial em representar o mundo subatômico, pois as características físicas das entidades diferem muito de outros objetos do conhecimento. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo principal avaliar a possibilidade do uso de analogias em aulas de física quântica, buscando analisar como estas aparecem na prática docente de um professor de física. Para isto, olhamos as analogias em três dimensões: cognitiva, epistemológica e didática. Como estudo de caso foram realizados registros de vídeo e assumiu-se como referencial metodológico a construção de dados a partir de interações discursivas (MARTINS, 2006).

Palavras chave: ensino de física, analogia, epistemologia da ciência

Abstract

In order to communicate science, physics teachers usually employ different mediations: language (spoken and written), graphical and pictorial representations, among others. All these are presented in an attempt to symbolize the reality of being studied and understood. However, in Modern and Contemporary Physics (MCP) in the tentative to represent the relevant entities, we can face some problems which may be interpreted as being ontological or epistemological (OSTERMANN and MOREIRA, 2001). From this context, the present investigate aims to evaluate the possibility of using analogies in quantum physics classes, and search how they appear in the teaching practice of a teacher of physics. For this, we think analogies in three dimensions: cognitive, epistemological and didactic. As a case study, we made video records, and adopted the methodological framework construction data from discursive interactions (Martins, 2006).

Key words: physics education, analogy, epistemology of science

Introdução

O tema “uso de analogias em aulas de ciências” tem se mostrado como relevante na literatura especializada em Ensino de Ciências, em especial quando percebemos as analogias presentes tanto nos manuais escolares como nas práticas dos professores. Embora muitos estudos reforcem a potencialidade dessa ferramenta no ensino e aprendizagem de Ciências (GLYNN, 1991; HARRISON e TREAGUST, 2006), fundamentalmente de conceitos com maior grau de complexidade, por outro lado, há trabalhos que apontam problemas em sua utilização (DUARTE, 2005; BROWN e CLEMENT, 1989).

O presente trabalho tem por objetivo, sobretudo, trazer contribuições às reflexões a respeito do papel do uso de analogias em atividades de ensino. Mais especificamente, pretende-se discutir o papel das analogias na representação de conceitos e entidades do domínio da física quântica, tendo em vista a dificuldade de representá-los. Em certa perspectiva, as analogias estão vinculadas a tentativas de apresentar “entidades” pertencentes ao domínio de conceitos com considerável nível de abstração. No entanto, apesar de reforçarmos a ideia peculiar de representar os conceitos/entidades da física quântica, percebemos que tal dificuldade, no contexto do ensino de ciências, não lhe é exclusiva.

O quadro teórico é baseado na compreensão do uso de analogias em três dimensões, das quais destacamos a primeira, a dimensão cognitiva, a partir da qual damos à analogia um “status” de “motor do pensamento” (HOFSTADTER e SANDER, 2013), compondo o par dialético analogia-categorização, elemento fundamental na estrutura cognitiva do indivíduo. Já a segunda dimensão diz respeito à analogia como ferramenta didática, na qual se verifica se o uso da mesma em situações escolares é adequada à situação de ensino-aprendizagem. Por último, lançamos mão de uma dimensão denominada epistemológica, pela qual buscamos entender o papel das analogias no contexto da construção do conhecimento científico. É então, baseado nas obras do matemático, físico e filósofo francês Henri Poincaré que destacamos a analogia como instrumento de generalização na construção do conhecimento científico.

Baseados em nossas reflexões teóricas propomos um quadro teórico-metodológico a partir do qual construímos nossos dados provenientes de um estudo de caso, correspondentes a duas aulas, cujos temas pertencem ao domínio da física quântica (quantização da energia num átomo, e efeito foto-elétrico) de dois professores da rede estadual de ensino do estado de São Paulo.

As três dimensões das analogias

Dimensão cognitiva das analogias

Nossas considerações iniciais estão baseadas na psicologia cognitiva e na linguística. Dentre diversos trabalhos que contribuíram em nossa reflexão a respeito do tema, destacamos a obra “L’Analogie – Coeur de la pensée” de Hofstadter e Sander (2013), a partir da qual nossas considerações foram especialmente pautadas. De acordo com os autores, sem conceitos não se pode “falar” de pensamento e sem analogias não há formação de conceitos. Segundo a presente perspectiva, destaca-se a relação palavra-conceito, discute-se as categorias das palavras como resultado do complexo e dinâmico processo de categorização e apresenta-se o papel das analogias nesse processo. Cada conceito existente, que faz parte do nosso pensamento, deve-se a uma imensa cadeia de analogias que foram e são elaboradas ao longo do tempo. Este processo de “analogização” resulta no surgimento dos conceitos e continua sofrendo modificações durante toda nossa vida.

Diferente de algumas perspectivas que julgamos reducionistas, não entendemos as categorias como resultado de “etiquetagem”, que fixam as palavras a conceitos. Antes, porém, entendemos que o processo de categorização e o “uso” de analogias constituem um par dialético. O processo de categorização é espontâneo e ocorre em nossa estrutura cognitiva. Este depende não somente da nossa língua, mas também da nossa cultura e da época em que vivemos. Nossa perspectiva vai de encontro a certas concepções tradicionais, pois ressalta que o processo de categorização é gradual, não definitiva/classificatória. A natureza das categorias mentais é sutil e por vezes difusa. Por esse motivo entender o processo de categorização sob esta perspectiva requer uma análise aprofundada a fim de perceber que, mesmo mediante a tais características, é possível pensar em categorias.

A “falta de precisão” na determinação dos limites entre categorias não inviabiliza a distinção dos conceitos em nossas atividades, ou seja, a medida que os colocamos em prática os significados contextuais ganham sentido na atividade. Esta evolução se dá de forma incessante, conforme somos colocados face à novas situações de usos. As situações de uso de um conceito nunca são contextualmente coincidentes, por isso toda vez que um conceito é “utilizado” o par dialético categorização-analogia é evocado e este ganha um novo status na estrutura mental do sujeito cognoscente.

Na tentativa de elucidar a perspectiva defendida no presente trabalho, lançamos mão de um exemplo simples mas fortemente significativo, uma vez que entendemos que um dos primeiros conceitos que ganha significado na história do sujeito é conceito de <<Mãe>>¹. Tomamos então como exemplo uma situação hipotética apresentada de um menino de um ano e meio de idade, ao qual chamaremos de Vicente. Ao passear com sua mãe num parque público, Vicente se depara com outra criança que é conduzida e cuidada, assim como ele, por um adulto. Em seguida o pequeno Vicente percebe que seu “coleguinha” de idade chama a este adulto utilizando uma palavra muito comum a ele, a saber, << Mamãe>>. Imediatamente, uma combinação de estranheza e de descoberta tomam conta de seu pensamento. Parece que <<Mamãe>> não é uma palavra de uso exclusivo seu, ou seja, o conceito *Mamãe*, já existente como categoria mental do Vicente é evocado a fim de ser confrontado a presente situação. Está “nascendo” aí uma nova categoria de *Mamãe*, causado não apenas pela utilização da palavra << Mamãe>> mas pela relação de semelhança com o conceito *Mamãe* outrora formado. Na verdade, características comuns como: um adulto; que cuida; que dispensa carinho, que alimenta, associadas a utilização do termo << Mamãe>> permitem ao Vicente de expandir aquilo que até então ele reconhecia como significado de *Mamãe*. Tal conceito passa de um indivíduo para uma categoria de um conjunto de indivíduos. Na tentativa de preservar a individualidade de sua Mamãe, talvez ele faça uma distinção entre *Mamãe* (correspondente a sua mãe) e *mamãe* (destinadas as demais). Sendo assim a evolução do conceito *Mamãe* “trafega” entre o singular e o plural, entre o maiúsculo e o minúsculo. O par dialético aqui apresentado não está presente apenas na formação dos conceitos associados a palavras no sentido ordinário, antes se estende a expressões complexas e compõe as formas de pensamento mais sofisticadas dentre as quais destacamos o pensamento científico

Dimensão epistemológica das analogias

Destacamos aqui que a relação entre analogia e ciência, em princípio, pode se apresentar como incongruente. É possível, inclusive, afirmar que seria em vão tentar aproximar formas de

¹ Adotamos aqui a mesma notação do livro « L’Analogie – Cœur de la Pensée », a saber, a fim de explicitarmos se o que escrevemos diz respeito a uma palavra ou a um conceito, quando nós falarmos de uma palavra, a representaremos entre aspas (« mãe »). Já quando falarmos de um conceito ao qual um substantivo é associado ao léxico, o representaremos em itálico (*mãe*).

pensamento radicalmente diferentes e até incompatíveis. Afinal, segundo algumas perspectivas, como a do filósofo francês Robert Blanché, as analogias evocam aquilo que está na ordem do senso comum², do inócuo, enquanto o pensamento científico “segue” o rigor dedutivo. Ainda segundo esta perspectiva, as analogias remetem à noção de semelhança, sendo esta particularmente subjetiva, e seu uso no processo de desenvolvimento científico introduz noções como “incerteza” e “indeterminação”, tendo estas pouca compatibilidade com a noção de ciência como um conhecimento que busca a objetivação e a universalidade. A incompatibilidade entre analogia e ciência é reforçada por Blanché ao afirmar que: “o caráter genuinamente subjetivo e incontrolável da analogia retira dela qualquer relação cognitiva”. (BLANCHÉ, 1973, p.180).

Mesmo com todas as incompatibilidades apontadas entre os conceitos em questão, Durand-Richard (2008) ressalta que analogia e ciência estão presentes “lado a lado” em contextos de sua comunicação, mais precisamente em atividades de divulgação científica, e fundamentalmente quando temos a tarefa de comunicar conceitos científicos sem lançar mão da linguagem matemática ou de uma conceitualização muito específica, que não seja de fácil acesso ao público alvo.

A analogia pretende “elucidar”, ora substituindo o registro da percepção ao da explicação, ora transferindo os termos de uma teorização já elaborada ao de um outro domínio. No entanto, mesmo em termo de “divulgação” no qual este tipo de apresentação é qualificado, é bastante reveladora a desvalorização que a acompanha: ela procede de uma mudança de registro julgada inadequada voltada às exigências lógico-dedutivas do discurso científico. (DURAND-RICHARD, 2008, p.2)

Portanto, a concepção de ciência é fundamental na aceitação ou rejeição das analogias em seu processo de desenvolvimento. Se reforçamos o teor subjetivo e ambíguo das analogias, e partimos de uma concepção de ciência platônica, as incompatibilidades e as incongruências são acentuadas.

De fato, a fim de perceber o dinamismo, assim como a dimensão de historicidade, das teorias científicas a partir de seus enunciados, é necessário recorrer aos momentos nos quais a ciência aparece como um duplo processo de projeção e confrontação. É então a partir de uma postura epistemológica que coloca os sujeitos enquanto indivíduos, a sociedade enquanto grupo histórico-cultural, e suas regras (incluindo a divisão social do trabalho), como elementos constitutivos das teorias científicas, que a negociação de significados aparece como elemento pertinente, e o recurso à analogia pode ser plenamente aceito e reconhecido. Neste sentido, o que outrora seria considerado como ponto fraco ou “obstáculo epistemológico”, no senso de Bachelard³, a eliminar, na perspectiva aqui adotada aponta que a polissemia das palavras se apresenta mais como riqueza a ser explorada, e sua capacidade dinâmica de relacionar o novo com o antigo nos parece fundamental no entendimento do papel das analogias no processo de estruturação de teorias científicas. Na verdade, a partir dessa perspectiva, as teorias científicas ganham um status de representações compartilhadas, o que vai ao encontro de nossos objetivos, fundamentalmente o de olhar a possibilidade do recurso do uso de analogias no compartilhamento de significados.

Resumidamente destacamos a percepção de Poincaré quanto ao papel das analogias na formação do pensamento científico. Para o filósofo francês, as analogias podem ser classificadas, basicamente, em três grandes categorias, das quais duas delas fazem parte da

² O senso comum aqui apresentado diz respeito aos conceitos e ideias culturalmente compartilhados por certo grupo mas que não têm, necessariamente, “compromisso” com qualquer rigor sistemático.

³ Bachelard, G. , A formação do espírito científico, p. 48

elaboração de uma teoria física, a saber, as “categorias grosseiras” ou primitivas, fundadas em semelhanças de forma; as “analogias mecânicas” estas apresentando já semelhanças estruturais, mas limitadas ainda a relações particulares; e as “analogias matemáticas”, estando essa última no nível de analogias que permitem a generalização, processo este fundamental a elaboração de teorias e a criação de leis.

Dimensão didática das analogias

Na dimensão didática destacamos a pertinência do uso de analogias em atividades de ensino de ciências. A figura A mostra uma tabela construída a partir do levantamento bibliométrico de trabalhos em periódicos nacionais e internacionais especializados em ensino de ciências. Realizamos o presente estudo no qual fizemos um levantamento dos últimos 20 anos em revistas nacionais e internacionais de ensino de ciências, e selecionamos trabalhos cujos temas tratassem do uso de analogias em aulas de ciências. Os trabalhos de revistas nacionais acessamos diretamente o site de cada revista [Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF); Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF); Revista Brasileira de Pesquisa em Ensino de Ciências (RBPEC); Revista Ciência & Educação (RC&E) e Revista Investigação em Ensino de Ciências (RIENCI)]. A seleção das revistas internacionais seguiu critérios semelhantes aos das revistas nacionais, das quais destacamos os periódicos Science Education (SE); Science & Education (S&E) e International Journal of Science Education (IJSE). Destacamos também em nosso levantamento a revista Journal of Research in Science Teaching (JRST) devido ao número de artigos relacionados ao tema da presente pesquisa. Os demais periódicos que contribuíram com nosso levantamento, como por exemplo, Physics Teacher, Physics Education, Enseñanza de las Ciencias, dentre outras, foram classificadas no grupo de trabalhos denominado “OUTROS”.

| | S&E | IJSE | SE | JRST | Outros | CBEF | RC&E | RBEF | RIENCI | RBPEC | Σ |
|------|-----|------|----|------|--------|------|------|------|--------|-------|-----|
| 1990 | | | | | | 1 | | | | | 1 |
| 1991 | | | 1 | | 4 | | | | | | 5 |
| 1992 | | 1 | | 1 | | | | | | | 2 |
| 1993 | | | | 10 | 2 | 1 | | 1 | | | 14 |
| 1994 | | 1 | 1 | | 1 | | | | | | 3 |
| 1995 | | 2 | 1 | 1 | 3 | | | | | | 7 |
| 1996 | | 2 | 2 | 1 | 2 | | | | 2 | | 9 |
| 1997 | | | | | 1 | 2 | | | 1 | | 4 |
| 1998 | | | | 1 | | 1 | | | 1 | | 3 |
| 1999 | | | | 1 | | | | 1 | 1 | | 3 |
| 2000 | | | 1 | | | | | | 1 | | 2 |
| 2001 | | | | | 4 | | | | | 3 | 7 |
| 2002 | | | | 1 | | | | | 2 | | 3 |
| 2003 | | | | 1 | | | 1 | | | | 2 |
| 2004 | | | 2 | | 1 | | 1 | | | | 4 |
| 2005 | 1 | 2 | 1 | 1 | | | | | 1 | | 6 |
| 2006 | | | | | 4 | | 1 | | 1 | | 6 |
| 2007 | | 1 | | 1 | 5 | | | | | | 7 |
| 2008 | | | | | 1 | | | | | | 1 |
| 2009 | | | 1 | | 1 | | 1 | | 2 | | 5 |
| 2010 | | | | | 1 | 1 | | | | | 2 |
| 2011 | | | | | 3 | | 3 | | 1 | | 7 |
| 2012 | | | 3 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | | 7 |
| | 1 | 9 | 13 | 20 | 34 | 6 | 7 | 3 | 14 | 3 | 110 |

Figura A: Tabela de trabalhos relacionados ao uso de representações no Ensino de Ciências e do uso de analogias e metáforas de 1990 à 2012

Breve discussão metodológica

O presente pesquisa se apresenta dentro de um conjunto de trabalhos que lançam mão do uso de analogias em aulas de ciências. Sob o referido contexto, nosso trabalho se detém em duas características fundamentais na tentativa de trazer colaborações com o repertório de trabalhos na área de Ensino de Ciências. A primeira, não por importância ou relevância, de ordem teórica na qual buscamos organizar elementos do nosso quadro teórico a fim de pensar o uso de analogias em atividades didáticas apoiados em concepções teóricas da psicologia cognitiva e da epistemologia da ciência. A segunda, de ordem empírica, na qual pretendemos realizar um ensaio a partir dos dados obtidos de uma aula do tema efeito foto-elétrico ministrada por um professor da rede estadual de ensino de São Paulo.

Nossa reflexão teórica nos permite um olhar particular, a partir do qual organizamos nossos dados. Como afirma Gonçalves (1997) são “as hipóteses pensadas e estruturadas anteriormente que orientam o nosso olhar sobre o objeto investigado. Nossos conhecimentos prévios, nossos referenciais teóricos e principalmente, nossa visão de mundo, definem o que queremos ou podemos observar” (p.107). Partimos portanto das três dimensões, a partir das quais olhamos as analogias: como ferramenta didática; como componente do par dialético analogia-categorização, elemento fundamental na estrutura cognitiva do indivíduo; como instrumento de generalização na construção do conhecimento científico.

Como o interesse da pesquisa está centralizado no uso de analogias como “ferramenta de comunicação” de conceitos relacionados a física quântica, as escolhas dos episódios que serão analisados “emergem” do discurso, do enunciado, das falas dos professores. Por isso, nosso olhar é focalizado no professor, sobretudo no que ele fala, mas também em possíveis representações pictóricas, gráficas ou algébricas

Estudo de caso

Destacamos aqui um extrato dos episódios construídos a partir de uma aula sobre o tema “Efeito Foto-Elétrico” ministrada a alunos do 3º ano do ensino médio de uma escola da rede pública estadual de São Paulo.

“/.../aqui nessa representação já muda completamente concorda? aqui por exemplo a luz não é mais uma coisa contínua (+) é como se fosse uma coisa granulada/.../ pessoal vamos pensar nas gotas de chuva (+) se você olhar a chuva caindo de longe ela não tem esse aspecto aqui? ((professor desenha no quadro)) ó! parece um coisa contínua? Parece (+) não tem divisão a chuva quando tá caindo (+) mas se a gente fosse capaz de olhar a luz...a chuva de um jeito mais próximo você percebe que a chuva ela não é contínua desse jeito (+) ((professor desenha no quadro)) ela é formada de pequenas gotículas(++). ENTÃO AQUI Ó! é a representação que a gente tem hoje de como seria a luz/.../ a luz não é uma coisa contínua a luz é formada por partículas(+) essas partículas o Einstein né? acabou batizando de fótons ... e toda vez que esses fótons batem aqui no metal dependendo da energia que esses fótons tiverem você consegue arrancar elétrons ‘essa é a ideia’ ...”

Na unidade de registro acima, na tentativa de apresentar o conceito de descontinuidade da luz e discutir os fótons luminosos presentes na explicação do efeito fotoelétrico, o professor em questão lança mão de uma analogia na qual o análogo é a descontinuidade da chuva, as gotas de água representam os fótons. De acordo com a classificação de Poincaré, esta seria classificada como uma “analogia grosseira”, ou seja, de aparência e portanto sem relações significativas de estrutura. Outros parâmetros nos permitem olhar para esta analogia, percebê-la enquanto recurso didático, e com o auxílio de categorias adaptadas do trabalho de Curtis e Reigeluth (1984) obter mais informações a respeito de sua natureza, do momento didático, e do seu nível de elaboração.

Considerações finais

No presente trabalho tentamos apresentar algumas reflexões com a intenção contribuir com o repertório de pesquisas que buscam entender o papel das analogias em atividades de ensino. Dentro do conjunto de aulas que foram analisadas, quase a totalidade das analogias utilizadas pelos professores pertencem a categoria supracitada. Julgamos portanto como pertinente a perspectiva adotada na presente pesquisa, a medida que percebemos na literatura especializada em ensino de ciências a falta de trabalhos que pensem a possibilidade do uso dessa ferramenta didática no domínio da física quântica. Na tentativa de superar a contradição que surge ao pensar no uso de analogia (que vincula um novo domínio do conhecimento com outro já conhecido) em aulas de física quântica (que se apresenta como domínio da física cujos conceitos não possuem relação direta com nossa realidade sensível, e com isso sem relação com experiências anteriores), percebemos a relevância de se propor uma análise teórica, que dialogue com diversas áreas do conhecimento, como a apresentadas no presente trabalho. Salientamos no entanto, que este se constitui como parte de uma pesquisa atualmente em andamento.

Agradecimentos e apoios

Ao IFRJ pela concessão da licença capacitação, ao programa de Pós-graduação Interunidades em Ensino de Ciências da USP, à CAPES pela concessão da bolsa de doutorado sanduíche no exterior.

Referências

- BLANCHÉ R. *Le Raisonnement. Bibliothèque de philosophie contemporaine-PUF*. Paris : Presses Universitaires de France, 1973.
- CURTIS, R. V., REIGELUTH, C. M. The Use of Analogies in Written Text. **Instructional Science**, V.13, 1984,p.99-117.
- DUARTE, M. C. Analogias na Educação em Ciências Contributos e Desafios. **Investigacoes em Ensino de Ciências** , v.10(1), pp. 7-29, 2005.
- DURAND-RICHARD, M. J. (éd.). **Le statut de l’analogie dans le démarche scientifique. Perspective historique**. Paris : L’Harmattan, 2008.
- GLYNN, S. M. Explaining science concepts: A teaching-with-analogies model. In S. Glynn, R. Yeany and B. Britton (Eds.), **The psychology of learning science**, Hillsdale, NJ, Erlbaum, p. 219-240, 1991.
- GONÇALVES, M.E.R. **Atividades de conhecimento Físico na formação de professores das Séries Iniciais**. Tese (doutorado) – Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, 1997.

HARRISON, A., e TREAGUST, D. Teaching and Learning With Analogies: Friend or Foe?. In P. Aubusson, A.G. Harrison, & S.M. Ritchie (Eds.). **Metaphor and Analogy in Science Education**, p. 11-31, 2006.

HOFSTADTER D. , SANDER, E. **L'Analogie Coeur de la Pensée**. Éditions Odile Jacob. Paris, 2013.

MARTINS, I. Dados como diálogo: construindo dados a partir de registros de observação de interações discursivas em salas de aula de ciências. IN: SANTOS, F. M. T.; GRECA, I. M. **A pesquisa em ensino de ciências no Brasil e suas metodologias**. Ijuí: Editora Unijuí, 2006.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antônio. Atualização do currículo de Física na escola de nível médio: um estudo desta problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação inicial de professores. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, V.18, n.2, p.135-151, ago 2001.

BROWN, D. & CLEMENT, J. Overcoming misconceptions via analogical reasoning: Abstract transfer versus explanatory model construction. **Instructional Science**, 18, 237–261, 1989.