

O ensino de estrutura da matéria e aceleradores de partículas: uma pesquisa baseada em *design*

The teaching of structure of matter and particle colliders: a design-based research

Márlon Pessanha, Brasil
Maurício Pietrocola, Brasil

De forma sistemática, há algumas décadas discutem-se formas de introduzir conteúdos de Física Moderna e Contemporânea na formação básica dos indivíduos. No presente trabalho, apresentamos um estudo que buscou revelar aspectos didáticos relacionados com o ensino do tópico “Estrutura da matéria e os aceleradores de partículas”. A pesquisa envolveu o desenho de um curso segundo princípios teóricos, e a sua implementação na educação secundária catalã (Espanha) e no ensino médio paulista. Inspirado na linha teórico-metodológica intitulada *Design-based Research*, foi executado um processo iterativo de desenho, implementação e análises. Neste artigo, apresentamos alguns dos resultados obtidos nas implementações no contexto catalão, os quais influenciaram as implementações no contexto paulista. O estudo permitiu reconhecer diferentes aspectos didáticos envolvidos no ensino do tema, relacionados com o gerenciamento do tempo e a definição de partes condicionais de atividades, com a inadequação no uso de pacotes de softwares e de algumas imagens e de textos instrutivos utilizados, e mostrou a necessária desconstrução das metáforas específicas utilizadas para tratar a estrutura atômica.

Palavras-chave: Pesquisa baseada em *design*; Sequências de ensino-aprendizagem; Física Moderna e Contemporânea; Estrutura da Matéria; Aceleradores de Partículas.

In the last decades, a great number of researchers have systematically studied ways to insert Modern and Contemporary Physics contents in the basic school curriculum. In this paper, we present a study that sought to reveal didactic aspects related to the topic “structure of matter and particle accelerators”. The research involved the design of a course, based on theoretical principles, and its implementation in secondary education classes in Catalonia (Spain) and São Paulo. Inspired by the theoretical-methodological approach entitled *Design-based Research*, we executed an iterative process of design, implementation and analysis of the course. This article presents some of the results obtained in the implementations in the Catalan context, which have influenced the further implementations in schools in São Paulo. The study allowed us to recognize different

didactic aspects involved in the teaching of the topic, such as the time management and the definition of conditional activities, the inappropriate use of software packages and some images and instructional texts. It also showed a necessary deconstruction of specific metaphors used in the teaching of atomic structure.

Keywords: Design-Based Research; Teaching-Learning Sequences; Modern and Contemporary Physics; Structure of Matter; Particle Colliders.

Introdução

A ciência exerce uma influência cada vez maior no cotidiano das pessoas. Vivemos inseridos em uma sociedade cada vez mais complexa, impulsionada por tecnologias que tornaram o futuro presente. Além disso, teorias científicas romperam velhos modos de pensar a natureza, como o pensamento mecanicista. A Relatividade Geral e a Mecânica Quântica deram origem a novos campos de conhecimento, produzindo rumos inesperados nas pesquisas científicas e gerando novas tecnologias que até então povoavam apenas os filmes de ficção científica. Os artefatos tecnológicos que surgiram em decorrência desse desenvolvimento científico mudaram comportamentos, ditaram regras e também criaram expectativas e dúvidas a respeito dos rumos da sociedade atual. Hoje temos a disposição produtos e processos criados pela tecnologia contemporânea como TVs digitais em 3 dimensões que nos entretêm em domicílio e equipamentos médicos que permitem cirurgias à distância pela Internet. A ciência por sua vez oferece respostas a questões fundamentais da humanidade tais como a origem do Universo em experimentos que simulam as condições do *boom* inicial (Big-Bang) no novo acelerador de partículas *LHC* em Genebra.

Num primeiro olhar, a tecnologia que vem modificando nossos modos de vida pode parecer uma fonte inesgotável de conforto e bem-estar. No entanto, o funcionamento atual da sociedade tem agredido o meio ambiente e colocado em dúvida a capacidade da humanidade em preservar as condições de vida para as gerações futuras. Clima, energia, água poluição são temas que abundam os noticiários e cada vez mais deixam claro que precisamos encontrar equilíbrio entre consumo e preservação. No entanto, poucos são aqueles que conseguem ultrapassar a impressão imediata de admiração de todo esse espetáculo oferecido pela ciência e pela tecnologia e avaliar as relações de custo e benefício do que está sendo oferecido como produtos e serviços. Em geral, não é possível ao cidadão comum compreender os impactos dos avanços científicos e tecnológicos, nem decifrar parte das informações que lhe chegam pela Mídia. Mesmo vivendo no século XXI, muitos se portam diante da nova realidade cotidiana como nossos antepassados pré-históricos diante do fogo. Assim, temos um paradoxo de viver numa sociedade que tomou a ciência e a tecnologia como um de seus principais motores e ter grande parte da população como analfabetos funcionais em termos científicos e tecnológicos (FOUREZ, 2003).

De forma sistemática, desde meados dos anos 1980 discutem-se formas de

introduzir conteúdos das ciências e da tecnologia modernas na formação básica dos indivíduos. A necessidade de uma atualização curricular que passe a englobar conhecimentos de ciência Moderna e Contemporânea vem sendo amplamente discutida no meio acadêmico (BAROJAS, 1988; GIL; SENENT; SOLBES, 1988).

A necessidade de inserção desses temas nos programas escolares parece consolidada e, pelo que indicam as pesquisas em ensino de ciências, parece também haver um relativo consenso quanto à importância de uma atualização curricular (BARCELOS; GUERRA, 2015; CUPPARI et al., 1997; FISCHLER; LICHTFELDT, 1991, 1992; GIL; SOLBES, 1993; MCKAGAN et al., 2008; MONTEIRO; NARDI; BASTOS FILHO, 2013; SANTOS; LUIZ; CARVALHO, 2009).

Em particular, as pesquisas que tratam da inserção da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio cresceram nos últimos anos e levantaram inúmeras razões que justificam sua introdução. Estas justificativas se estendem desde o reconhecimento da Física como uma construção humana (NIAZ, 2009; ZANETIC, 1989), passando pelo interesse de atrair jovens para a carreira científica (STANNARD, 1990; WILSON, 1992), até a contribuição para uma mudança em nossa “visão de mundo” (FREIRE JR et al., 1995; GAUCH, 2009). Deve-se também destacar a insatisfação manifesta de professores e alunos que perdem o entusiasmo ao não poderem participar do entendimento das pesquisas atuais em Física (BAROJAS, 1988; GREEN, 2010; MATTHEWS, 1997; STANNARD, 1990). Neste sentido, Borges et al. (1997, p.215), afirmam que “[...] é importante que o currículo busque incorporar os desenvolvimentos da Física que ocorreram neste século, trazendo a Física do segundo grau para mais próximo da Física que os físicos fazem atualmente”.

A introdução de conteúdos de FMC não é resultado unicamente da vontade ou do desejo de atualização curricular, mas sim um problema educacional complexo a ser tratado em um contexto de pesquisa aplicada. No início dos anos 2000 aparece uma série de artigos que trazem resultados de pesquisas sobre como tratar inovações de conteúdos curriculares em situações reais de sala de aula. Isto por que, segundo os autores destes trabalhos, as inovações de conteúdo são particularmente importantes no contexto dos currículos de ciências (MÉHEUT; PSILLOS, 2004). Eles propõem uma forma de tratar as inovações curriculares nessa área por meio de estudos em pequena e média escala de tempo, contrariamente às pesquisas mais tradicionais que envolvem estudos de longa duração (KARIOTOGLOU; TSELFES, 2000).

Estes estudos tomaram por base a abordagem metodológica definida como *Design-Based Research* - DBR (DBR-COLLECTIVE, 2003), que se definem como uma metodologia de pesquisa capaz de associar perspectiva teórica com aplicações educacionais práticas. Os autores afirmam que:

[...] Métodos da Design-Based Research podem compor uma metodologia coerente que liga pesquisas teóricas com a prática educacional. Vislumbrando ao mesmo tempo o design de uma intervenção e suas especificações como objetos de pesquisa, pode

produzir explicações robustas de práticas inovadoras e prover princípios que podem ser usados por outros, para serem aplicados em novos conjuntos. Design-Based Research, fundamentando-se em suas próprias necessidades, restrições e interações de práticas locais podem prover uma lente para o entendimento de como demandas teóricas sobre o ensino e a aprendizagem podem ser transformadas em aprendizagem efetiva em conjuntos educacionais (DBR-COLLECTIVE, 2003, p. 8, tradução nossa).

A base teórico-metodológico da proposta repousa nas pesquisas do tipo intervenção-análise de resultados, que muitas vezes são ditas de “avaliação formativa”. Porém busca principalmente superar algumas de suas limitações. Isto por que nas tradições de pesquisa nesta linha, a intervenção, seja de programas instrucionais, materiais didáticos ou orientações pedagógicas de qualquer tipo, é medida pela confrontação contra padrões pré-estabelecidos (BIEDA; SELA; CHAZAN, 2015; WORTHEN; SANDERS; FITZPATRICK, 1997). Durante uma “avaliação formativa”, ciclos de intervenção são baseados no desenvolvimento e implementação, e o estudo permite que o “planejador” educacional obtenha as informações relevantes sobre como a intervenção, com ou sem sucesso, ocorreu visando maximizar a proposta sob teste. O resultado final é uma proposta idealizada acompanhada de uma síntese da avaliação que acaba por definir um contexto composto de fatores que independem da intervenção que lhe deu origem. O DBR trabalha nesta mesma perspectiva, usando um misto de métodos que permitem analisar os resultados de uma intervenção. Mas diferentemente da “avaliação formativa”, a DBR concebe o sucesso de uma proposta inovadora como um produto da intervenção planejada e do próprio contexto de intervenção, se propondo como meta ir além da simples ideia de aperfeiçoamento de um “produto” particular. Nesse sentido, a intenção da DBR em educação é “... indagar mais amplamente a natureza da aprendizagem em sistemas complexos e refinar teorias de aprendizagem generativas ou preditivas” (DBR-COLLECTIVE, 2003, p. 7, tradução nossa).

A expectativa deste grupo é ser capaz de desenvolver modelos de inovações de sucesso mais do que simples artefatos ou programas de modo isolado.

Na área de ensino de ciências, um conjunto de pesquisas tomou esta linha teórico-metodológica de modo a planejar, aplicar e avaliar sequências didáticas visando o ensino-aprendizagem de tópicos específicos. Uma característica importante dessa linha de estudo é tratar ao mesmo tempo pesquisa e desenvolvimento de atividades de ensino (MÉHEUT; PSILLOS, 2004). Encontramos nos trabalhos de Lijnse (1994, 1995) uma primeira menção ao perfil de pesquisas em ensino de ciências nessa linha. Surge daí os termos *Teaching and Learning Sequences*, (TLS, ou em português “Sequência de Ensino-Aprendizagem”). Essas pesquisas podem ser entendidas como:

“...uma pesquisa desenvolvimentista envolvendo o entrelaçamento do design, desenvolvimento e aplicação de sequências de ensino sobre tópicos específicos, usualmente não durando mais do que algumas semanas,

em um processo cíclico evolucionário de clareamento pela riqueza dos dados de pesquisa.” (MÉHEUT; PSILLOS, 2004, p. 512, tradução nossa).

O número especial da revista *International Journal of Science Education* (2004, vol. 26, nº 5) reúne pesquisas nessa linha. Dentre os artigos lá presentes, Buty, Tiberghien e Le Marechal (2004) abordam a óptica e a condutividade, Kabapınar, Leach e Scott (2004) o tema da solubilidade. Mais recentemente, o trabalho de Tiberghien, Vince e Gaidioz (2009) testa alguns pressupostos epistemológicos ligados ao processo de modelização na ciência com TLS sobre o conteúdo de Mecânica para estudantes do primeiro ano do Ensino Médio (grade 10). Besson e colaboradores tomam a perspectiva TLS para realizar um estudo envolvendo o conteúdo “atrito físico” (BESSON et al., 2010). Em outro exemplo de estudo desenvolvido tendo como base a linha TLS, Arriasecq e Greca (2012) verificaram a motivação e a compreensão conceitual no estudo da relatividade especial por alunos do ensino médio. Em um último estudo que vale ser destacado, Hernandez, Couso e Pintó (2012) trazem um levantamento de concepções dos estudantes sobre as propriedades acústicas dos materiais e sobre como estas foram consideradas na elaboração de uma TLS para a discussão desta temática.

Parece-nos bastante natural afirmar que o problema de inserção da FMC no Ensino Médio tem os contornos para ser tratado na perspectiva das inovações de conteúdo. Além disto, parece que a opção pela DBR, em particular pela abordagem das TLS, seria um meio eficiente de fornecer guias seguros que pudessem superar os riscos inerente ao processo de Inovação curricular. As TLS sobre FMC seriam propostas de ensino frutos da negociação entre demandas de várias naturezas. A Figura 1 abaixo, adaptado de Méheut e Psillos (2004, pag. 517), representa os polos de interesse que estão presentes no processo geral de elaboração de uma TLS. Os autores utilizam o termo “losango didático” e indicam duas linhas de análise complementares, igualmente importantes: *dimensão pedagógica* e *dimensão epistemológica*.

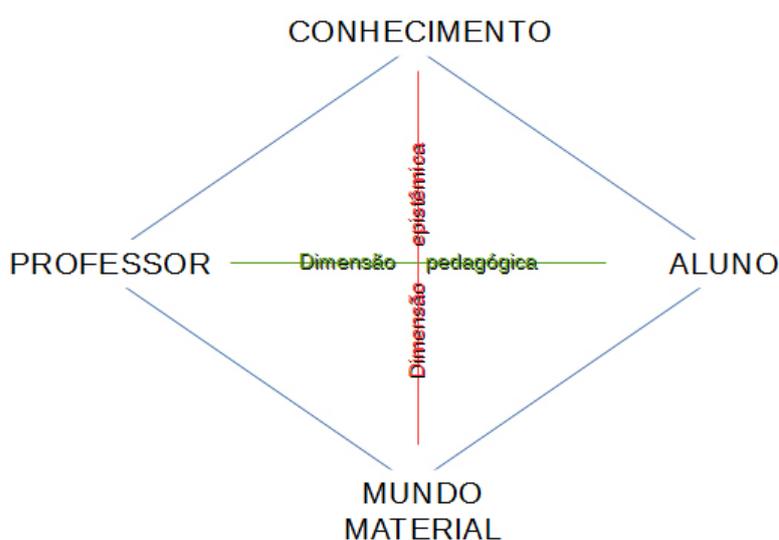


Figura 1. Losango didático – Adaptado de Méheut e Psillos (2004).

Esta perspectiva agrada pela possibilidade de lidar com os riscos e dilemas inerentes ao processo de inovação. As exigências epistemológicas inerentes ao campo de conhecimento da FMC (dimensão epistemológica - linha vertical do esquema acima) e os condicionantes de sala de aula (dimensão pedagógica - linha horizontal do mesmo esquema) estariam sendo consideradas nas análises. Portanto, parece-nos que este instrumento teórico-metodológico é bem adaptado a tratar as sequências didáticas produzidas, que em última análise se constituiriam na materialização do saber escolar em foco de análise. As estruturas didáticas desenvolvidas incorporariam resultados de pesquisas que fossem vistos por professores como providos de “qualidade didática”, seria uma maneira efetiva de contribuir para a atualização dos currículos de Física.

2. Uma proposta de curso inspirada nos estudos DBR e TLS

As pesquisas do tipo TLS se fundamentam na idéia de ciclos com as fases de design, implementação, avaliação e redesign. O *design* é fase onde se tenta estabelecer o tipo de intervenção que atenda ao tipo de problema enfocado pela pesquisa. A partir do problema são definidos os objetivos e os princípios que guiarão a elaboração da intervenção. A fase da implementação se materializa com uma intervenção em um ambiente educacional, previamente definido pela pesquisa, e com o acompanhamento da intervenção ao longo do tempo. Na fase de avaliação interpretam-se os resultados obtidos ao longo da implementação e, ainda, estes são comparados com os objetos definidos no design. Esta é a fase onde se sistematiza os conhecimentos didáticos produzidos e se tem um novo olhar sobre o problema inicial. Este novo conhecimento permite o redesign, onde novos princípios são inseridos ou, a partir dos princípios originais, é feito um aperfeiçoamento para uma posterior nova intervenção. Mais detalhes sobre os processos de design podem ser obtidos em DBR-Collective (2003), Mehéut e Psillos 2004, Kennedy-Clark (2013) e Kneubil (2014).

Neste artigo, apresentamos a pesquisa envolvendo um curso de curta duração sobre o tópico *estrutura da matéria e aceleradores de partículas*. *Partículas elementares* é um campo de estudo bastante atual e que tem recebido atenção da mídia em geral desde a entrada em funcionamento do LHC (*Large Hadron Collider*) em 2008 e pela confirmação, em 2013, da existência do Bóson de Higgs, partícula prevista pelo modelo padrão.

O design didático do curso desenvolvido para o estudo do conteúdo acima se restringiu a uma única sessão de 4 horas de duração. Considerando o intervalo de 20 minutos, este curso pode ser comparado em termos temporais a uma sequência de cerca de 6 aulas. Se por um lado, a concentração das atividades possa ser fonte de cansaço para os alunos, por outro há a vantagem de não haver tempo despendido com a organização dos alunos em grupos, listas de presença/chamadas etc. Assim, o tempo e a distribuição das aulas são as principais características organizacionais no desenho didático do curso base desta TLS. No entanto, outras características dos estudos com TLS foram considerados na pesquisa envolvendo o curso: o uso de princípios de *design* como norteadores do

desenho didático; a execução de um processo iterativo de desenho, implementação e redesenho didático; a participação de professores nos momentos de redesenho e análise didática, e a participação de professores e alunos da educação regular nos momentos de implementação do curso, em situações próximas às de sala de aula.

As implementações do curso ocorreram em dois contextos, com participantes que provinham da educação secundária catalã (*Bachillerato* – Espanha) e da educação secundária paulista (Ensino Médio – Brasil). Conforme já comentamos, a linha DBR e os estudos baseados em TLS são especialmente favoráveis às investigações que abordem situações de inovação curricular e/ou pedagógica. O curso foi desenhado com o intuito de investigar o ensino do tópico de *estrutura da matéria e aceleradores de partículas*, em uma situação específica de inovação curricular da disciplina de Física: os currículos da disciplina de Física da Comunidade Autônoma da Catalunha (CATALUNYA, 2008) e do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2008). Ambos os currículos passaram por modificações há alguns poucos anos que, entre outras coisas, inseriram entre os conteúdos a serem ensinados, tópicos de Física Moderna e Contemporânea, como aqueles que tratam da estrutura da matéria e dos equipamentos utilizados na ciência para o estudo de tal temática.

Nos tópicos a seguir, apresentamos os princípios de *design* que nortearam o desenho didático do curso, apresentamos a estrutura básica do mesmo que se manteve ao longo de toda a pesquisa, descrevemos o processo iterativo executado e, por fim, apresentamos uma síntese de alguns aspectos didáticos que foram evidenciados no estudo envolvendo o curso.

Princípios de *design*

O curso foi desenhado segundo diferentes tipos de princípios de *design*, os quais nortearam a organização e sequência do curso e auxiliaram na definição das atividades. São eles:

- Princípio epistemológico

A partir da epistemologia da ciência de Gaston Bachelard, assumimos que o conhecimento construído e que compõe a Física Moderna e Contemporânea (FMC) possui uma relevância técnica, em que a realidade envolvida não é dada diretamente aos sentidos humanos para ser estudada, mas é técnica e teoricamente construída. Em outras palavras, os equipamentos utilizados na FMC, especialmente no estudo do mundo subatômico, permitem chegar indiretamente a um fenômeno que é previsto racionalmente, mas que é construído tecnicamente nos próprios equipamentos. Neste sentido, Bachelard (1977) define a realidade da FMC mediada pelos equipamentos como uma realidade *fenomenotécnica*, e não como uma realidade fenomênica, comum na Física Clássica, em que os objetos e os fenômenos estão mais diretamente disponíveis aos sentidos. Assim, a FMC passa a ser explicada não pelos sentidos, mas pelos equipamentos. Esta produção de realidade mediante a técnica, que de forma menos evidente já começava a aparecer na ciência clássica, acaba ocupando um lugar de destaque na explicação dos conceitos da FMC.

Considerando essa característica inerente à própria natureza da FMC, assumimos como um princípio de *design* a ideia de que, para um entendimento mais claro e sólido dos conceitos envolvidos no tópico de estrutura da matéria, faz-se necessário abordar a técnica utilizada pelos cientistas para produzir tal conhecimento. Uma parte significativa do conhecimento científico sobre o mundo atômico e subatômico surgiu a partir de métodos experimentais baseados na técnica de inferência por trajetórias, em que, entre outras coisas, se verifica as consequências da interação entre entidades com propriedades conhecidas e uma realidade desconhecida. Essa técnica permitiu o conhecimento de diversas propriedades do átomo ao longo do século XX, mas ainda é utilizada atualmente nos aceleradores de partículas. Neste sentido, o desenho do curso envolveu a definição de atividades que exploravam esta técnica, e em alguns casos, eram utilizadas simulações computacionais para representar os experimentos e interações em que a técnica era explorada.

- Princípio didático

Além do princípio epistemológico relacionado com a natureza *fenomenotécnica* que definiu a ênfase técnica e conceitual nas atividades, estas foram desenhadas considerando também o princípio didático de aprendizagem científica baseada em modelos (*modelização*). Na literatura em ensino de ciências, autores como Schwarz e White (2005) e Valk, van Driel e de Vos (2007) afirmam que, no fazer ciência, os cientistas se ocupam de uma ação de *modelização*, em que modelos científicos são estudados, propostos e testados. Eles defendem que uma aprendizagem científica mais efetiva é aquela em que os alunos também se envolvem em atividades às quais permitem estudar, propor e testar modelos científicos e explicativos. Em outras palavras, e com as quais concordamos, atividades de ensino baseadas na modelização, em que os alunos assumem um papel ativo em suas aprendizagens e possuem um contato mais direto com sua construção, podem levar a bons resultados de aprendizagem em ciências.

Partindo deste princípio didático, as atividades foram definidas de forma que os alunos pudessem definir e redefinir os seus modelos explicativos e os modelos científicos que eram estudados, sempre de acordo com os resultados obtidos experimentalmente (experimentos reais, mentais e virtuais).

- Princípio psicocognitivo

Um último princípio de *design* que foi considerado, de natureza psicocognitiva, mas que de certa forma se relaciona com a ideia de modelização, é a concepção de aprendizagem científica como uma evolução dos modelos mentais dos alunos. A partir de trabalhos como o de Greca e Moreira (2000) e de Clement (2000), adotamos esta perspectiva de aprendizagem científica. Segundo Clement (2000), quando de fato ocorre a aprendizagem, os alunos passam por revisões e reorganizações de seus modelos mentais elaborados para explicar uma realidade estudada, e tais modelos se aproximam de um modelo conceitual alvo, que é um conjunto de conteúdos didáticos que se esperam que sejam aprendidos. É interessante notar que esta concepção de aprendizagem, de certa forma, é a própria ideia de modelização aplicada no entendimento dos processos

cognitivos. Ainda que a ideia de modelização não tenha sua origem propriamente na psicologia cognitiva, mas principalmente a partir de um olhar sobre o *fazer ciência*, uma aprendizagem por modelização pode ser entendida justamente como este reexame e reorganização de modelos mentais em função de modelos conceituais que são estudados, conforme definido por Clement (2000).

Considerando a ideia de aprendizagem enquanto evolução de modelos mentais, as atividades do curso foram planejadas de forma a permitir aos estudantes o constante reexame de seus modelos explicativos. Atividades envolvendo discussões e previsões com base nas construções dos alunos foram definidas. Além disso, tais atividades são partes de uma estrutura que busca levar os alunos a uma gradativa construção dos aspectos conceituais e técnicos envolvidos no tópico de *Estrutura da Matéria e Aceleradores de Partículas*. Esta gradativa aproximação é melhor representada na Figura 2, apresentada mais à frente.

2.1. Ciclo de desenho e implementação: desenvolvimento, coleta de dados e análise

Considerando os princípios de *design* indicados, uma primeira versão do curso foi desenhada. Esta versão piloto foi implementada com um grupo de alunos, e após, com base nos resultados de aprendizagem e outros aspectos didáticos observados durante a implementação, seguiu-se um processo de redesenhos e novas implementações com alunos. No total, incluindo o desenho e implementação pilotos, foram seis momentos de desenho/redesenho ($DS_0, DS_1, DS_2, DS_3, DS_4, DS_5$) e seis momentos de implementação ($I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6$).

A partir de uma parceria entre o Núcleo de Pesquisa em Inovação curricular da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo (NUPIC) e o Centre de Recerca per a l'Educació Científica i Matemàtica da Universitat Autònoma de Barcelona (CRECIM), o processo iterativo de desenho/redesenhos e de implementações envolveu dois contextos: o catalão (Espanha) e o paulista (Brasil). Os momentos de desenho/redesenho didático DS_0, DS_1, DS_2, DS_3 e parte do redesenho DS_4 foram efetuados na Catalunha, com a participação de dois professores que atuavam na educação secundária catalã (*Bachillerato*), além de pesquisadores brasileiros e espanhóis. Já parte do redesenho didático DS_4 e o redesenho DS_5 foram efetuados no estado de São Paulo, com a participação de um professor que atuava na educação secundária paulista (Ensino Médio) e pesquisadores brasileiros. As implementações do curso também ocorreram nos dois contextos: I_1, I_2, I_3, I_4 ocorreram na Catalunha com a participação de alunos da educação secundária pós-obrigatória catalã (*Bachillerato*); e I_5 e I_6 ocorreram na região metropolitana de São Paulo com a participação de alunos do Ensino Médio paulista.

Ao longo de todo o processo iterativo, coletas de dados foram efetuadas com gravadores de vídeo e áudio. Os dados obtidos puderam ser consultados e analisados durante os momentos de redesenho do curso. As análises realizadas nos momentos de redesenho, que foram feitas com a participação de pesquisadores e professores, foi

de natureza qualitativa e interpretativa. A partir dos resultados de aprendizagem, de anotações realizadas pelos pesquisadores durante as implementações, das percepções dos professores, e a partir das argumentações de alunos e professores ocorridas nas implementações e gravadas em áudio e vídeo, se buscava entender como as escolhas didáticas efetuadas no desenho e redesenhos impactavam o processo de ensino e aprendizagem. Com base no que era verificado, se buscava um refinamento do desenho didático, e ajustes eram realizados na estrutura e atividades do curso. Este processo permitiu, também, o reconhecimento de aspectos didático-pedagógicos relacionados mais diretamente com o tópico de Física tratado no curso, e outros aspectos relacionados, de forma menos restrita ao conteúdo, com o uso de novas tecnologias, abordagens de ensino, etc.

Estrutura básica do curso sobre a Estrutura da Matéria e os Aceleradores de Partículas

Ainda que o desenho do curso tenha sofrido alterações ao longo do processo iterativo, foi mantida a sua estrutura básica, a qual era norteadada pelos princípios de *design* anteriormente apresentados e por objetivos gerais de ensino e aprendizagem relacionados com o tópico de Física tratado. A seguir, no Quadro 1, é apresentado um resumo da estrutura básica do curso, com a indicação de cada etapa principal (atividades, indicadas por números romanos) e suas respectivas subatividades (identificadas por números arábicos).

Como se pode perceber, ao longo de todo o curso a discussão da técnica ocorre em simultâneo com a discussão conceitual. A discussão da técnica empregada no estudo da estrutura da matéria e nos aceleradores de partículas, além de permitir um entendimento mais claro dos modelos conceituais parciais ou finais que são esperados que sejam construídos pelos alunos, possibilita uma linha lógica no decorrer do curso, sendo o ponto de interseção existente em todas as atividades.

A ideia de modelização está presente na estrutura do curso, e é empregada ao longo das atividades. Especialmente nas etapas II e III, que ocupam a maior parte do tempo do curso, os alunos se envolvem em atividades em que devem elaborar um procedimento experimental, estudar modelos conceituais disponíveis, verificar experimentalmente a validade ou limite dos modelos, e propor alterações nos modelos ou novos modelos.

Desde uma perspectiva psicocognitiva, conforme já comentado, é possível entender esse processo de modelização como uma evolução de seus modelos mentais, em que os alunos reorganizam e retificam suas compreensões sobre uma realidade (tecnicamente e virtualmente construída). Como exemplo, é apresentado aos alunos um modelo conceitual que permite explicar a existência de elétrons no interior do átomo, o modelo de Thomson, e o seu estudo serve como ponto de partida para a compreensão do átomo. Neste sentido, o modelo de Thomson atua como um modelo parcial no processo de ensino e aprendizagem, utilizado em um momento específico para que após se alcance um modelo conceitual final. A partir da implementação da técnica, ou seja, da experimentação (virtual), os alunos podem verificar aspectos não considerados no modelo de Thomson e aperfeiçoá-lo. Além disso, a atividade é planejada de forma a

permitir aos alunos reconhecer aspectos conceituais e técnicos que se mantêm como relevantes, os quais são parte do modelo conceitual alvo.

Quadro 1. Resumo da estrutura básica do curso sobre estrutura da matéria e aceleradores de partículas.

Apresentação e Motivação (25 min.) – Após uma breve apresentação do curso é iniciada uma atividade de motivação, que busca levar os estudantes a refletir a importância de se estudar o interior da matéria (1). A atividade envolve um relato de uma pesquisa envolvendo Raios X obtidos em um acelerador de partículas, utilizados para investigar melhores medicamentos para o tratamento de doenças coronárias. Também é discutido o uso de radiografias para determinar a estrutura interna de objetos macroscópicos ou de partes do corpo humano (2).

Experimento Analógico (45 min.) – A partir de um experimento analógico (3), se busca demonstrar a técnica comumente empregada no estudo da estrutura da matéria e nos aceleradores de partículas, a qual permite obter informações de um objeto desconhecido ou oculto indiretamente, a partir de sua interação com um objeto que tem suas propriedades conhecidas. No experimento analógico, os alunos devem pensar em um método experimental para descobrir a forma, tamanho e a existência de detalhes em um objeto geométrico escondido sob uma superfície de madeira, dispondo apenas de bolas de gude.

Estrutura do Átomo (100 min.) – Tendo como base a técnica introduzida na atividade anterior, se discute o modelo atômico de Thomson (4) e sua superação a partir do experimento histórico de *Geiger-Marsden* (5), e a adequação de um modelo atômico com um núcleo positivo, como é o caso do modelo atômico de Rutherford (6). Nesta etapa são utilizados recursos computacionais que permitem a simulação do experimento histórico e das interações elétricas entre partículas carregadas e o núcleo atômico.

A Técnica (25 min.) – Nesta atividade, a partir de questionamentos que são propostos e com o uso de uma simulação computacional, se busca comparar a técnica empregada tanto no experimento analógico como no experimento histórico de *Geiger-Marsden* (7). A ênfase na discussão da técnica e seu uso para estudar o interior da matéria servem de ponte para a discussão posterior sobre os aceleradores de partículas.

Aceleradores de Partículas (25 min.) – Nesta última etapa se discute o que são os aceleradores de partículas e como eles funcionam (8). Além disso, se aborda brevemente o LHC e é citado um exemplo de acelerador de partículas localizado próximo à região em que o curso é implementado, o ALBA que está localizado na Catalunha ou o PELLETRON que está localizado em São Paulo (9).

Fonte: Próprios autores.

A Figura 2, a seguir, apresenta um esquema que indica as principais ideias que compõem o modelo conceitual alvo esperado, e os modelos parciais que se planeja que sejam percorridos no andamento do curso. A numeração de 1 a 9 presente na figura é a mesma que identifica as subatividades que fazem parte de cada etapa do curso.

participantes que, entre outras ações, eram responsáveis por conduzir as discussões em torno dos questionamentos propostos e apoiar a execução das atividades. O ambiente virtual foi utilizado, assim, unicamente para reunir e organizar o material que seria utilizado no curso.

Vale destacar que foi elaborada uma versão dos materiais em um formato que possibilitasse a impressão em papel, dispensando o uso de um ambiente virtual em possíveis novas implementações das atividades por outros professores. Esta versão dos materiais é dividida em *Material do Professor* (explicação das atividades, textos a serem utilizados, balizadores para as questões, etc.) e *Material do aluno* (dossiê com questões a serem respondidas). Ambos os materiais podem ser obtidos nos apêndices da tese de doutorado da qual o presente artigo é um recorte (PESSANHA, 2014).

Outro ponto que vale ser destacado é que os principais recursos utilizados podem ser construídos com relativa facilidade ou podem ser acessados através da Internet: um experimento analógico que permite introduzir a discussão da técnica e que pode ser construído pelos professores (SIQUEIRA; PIETROCOLA, 2010); as simulações *Rutherford Scattering* (KCVS, 2010a), *Up Close Rutherford Scattering* (KCVS, 2010b) e *Scattering and Structure* (KCVS, 2010c), que podem ser acessadas livremente pela Internet; e uma animação do acelerador de partículas *Large Hadron Collider*, o LHC (SJÖLANDER; SYMEONIDOU, 2004), animação esta parte do material disponibilizado no projeto *Hands on CERN*, também disponível na Internet (JOHANSSON, 2004). A Figura 3 apresenta um dos momentos em que o experimento analógico foi utilizado, a Figura 4 apresenta uma composição com as telas capturadas das três simulações utilizadas, e a Figura 5 apresenta uma tela capturada da animação utilizada.

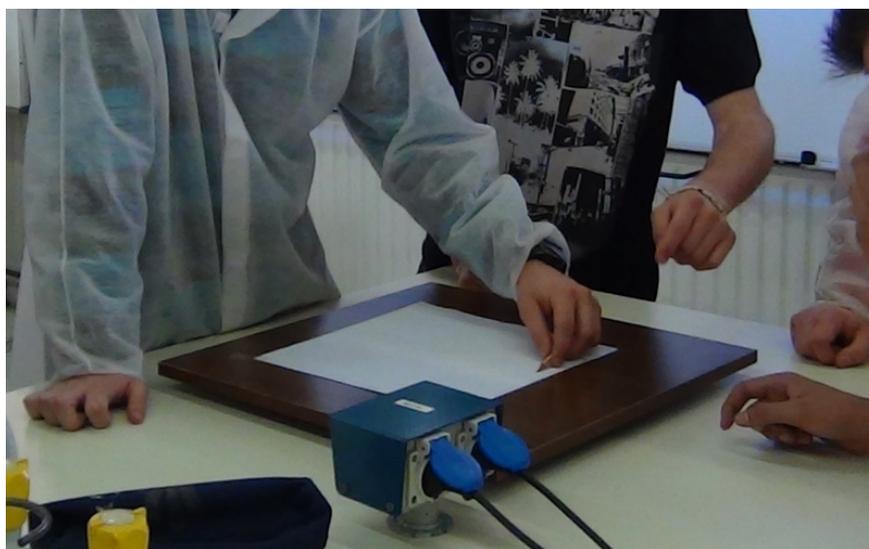


Figura 3. Experimento analógico sendo executado por um grupo de alunos em uma das implementações do curso.

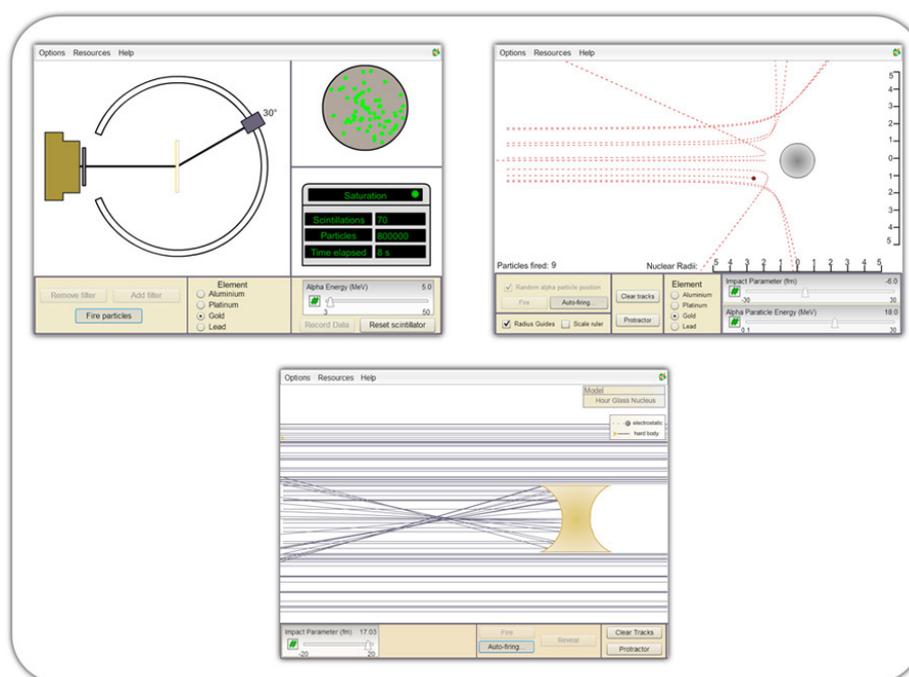


Figura 4. Composição com as telas capturadas das 3 simulações utilizadas no curso: acima à esquerda, simulação *Rutherford Scattering*; acima à direita, simulação *Up Close Rutherford Scattering*; abaixo, simulação *Scattering and Structure*.

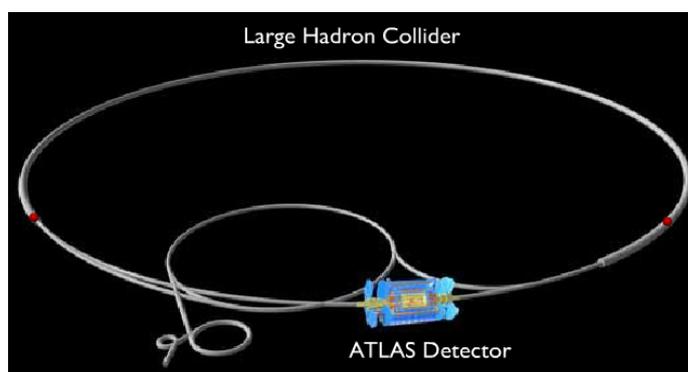


Figura 5. Tela capturada de parte da animação que representa o funcionamento do acelerador de partículas *Large Hadron Collider* e de um de seus detectores, o ATLAS.

2.2. Resultados obtidos - conhecimento didático

No presente artigo, nos dedicamos a apresentar as principais características dos estudos DBR e TLS. Na literatura em educação e ensino de ciências há trabalhos que, baseando-se nestas abordagens metodológicas, se dedicam a discutir o processo de validação de princípios de *design*, outros tratam dos produtos obtidos ao final de processos iterativos, alguns abordam elementos didáticos mais gerais que surgem e integram os resultados de pesquisa, etc. No presente artigo, situamos exatamente nesta última abordagem. Nesta seção 2.2, buscamos apresentar (e exemplificar) alguns dos

aspectos didáticos que se tornaram evidentes devido à metodologia DBR empregada, os quais, inclusive, levaram a mudanças nas atividades do curso durante os momentos de redesenho didático.

Entre os principais resultados obtidos estão aqueles relacionados com as escolhas didáticas efetuadas ao longo do processo iterativo, que foram obtidos devido à metodologia DBR empregada, e que possuem uma estreita relação com situações reais de ensino e aprendizagem. A seguir, apresentamos quatro aspectos que foram revelados a partir das implementações ocorridas na Catalunha:

a) Gerenciamento do tempo e a definição de partes condicionais de atividades

O tempo disponível para o desenvolvimento das estratégias de ensino e realização das atividades é algo relevante no planejamento didático. Considerar o tempo disponível durante o desenho didático não é uma novidade e faz parte da própria ação de planejar o ensino. Ainda assim, é algo que vale ser destacado, especialmente quando falamos de redesenhos didáticos que decorrem de implementações didáticas em contextos de inovação curricular, em que práticas e estratégias ainda não se encontram consolidadas na prática docente. O curso que aqui descrevemos é um exemplo, afinal envolve conceitos de Física Moderna e Contemporânea que somente nos últimos anos têm sido incluídos entre os conteúdos a serem tratados na disciplina de Física da educação secundária (por exemplo, no Ensino Médio paulista e no *Bachillerato* catalão).

No processo iterativo de *re-design* e implementação do curso sobre a *Estrutura da Matéria e os Aceleradores de Partículas*, ficou claro que, dependendo do andamento da aula, o conjunto de atividades previstas não poderia ser desenvolvida, o que acabava por levar o professor a fazer improvisações. No caso analisado, a improvisação do professor consistia, muitas vezes, na simples exposição das ideias que se esperavam que fossem reconhecidas pelos alunos em uma determinada atividade, em lugar de executar a atividade ou parte dela, algo que demandava mais tempo.

Na primeira implementação (I_1) do curso, um tempo considerável do curso acabou sendo destinado para o desenvolvimento do experimento analógico (Atividade II), restando pouco tempo para as demais atividades. Com isso, as atividades IV e V que envolviam, respectivamente, a discussão da técnica empregada no experimento analógico e no experimento histórico de *Geiger-Marsden*, e a discussão da técnica nos aceleradores de partículas, acabaram sendo substituídas por uma exposição do professor. Como consequência, não ficou claro em nossa observação, se os alunos conseguiam estabelecer relações entre as questões técnicas presentes nos experimentos e nos aceleradores de partículas. As atividades que foram planejadas, e que permitiam tal verificação, acabaram dando lugar às exposições, que não garantiam, necessariamente, que os alunos fizessem as relações necessárias.

A aula expositiva comumente encontra lugar no modelo tradicional de ensino, e podemos dizer que, quando praticada exaustivamente, pode privar o aluno de reflexões necessárias a um entendimento mais claro de determinados conceitos. A nosso ver, a improvisação em que se apega à exposição do conteúdo é um recurso natural do

professor diante das particularidades da situação de ensino e aprendizagem, em que este recorre às estratégias mais familiares, ou seja, àquelas mais presentes na ação docente. Neste sentido, como uma forma de evitar que o ensino, na prática, se transforme em uma perpetuação de práticas pouco adequadas e/ou tradicionais, entendemos que um componente “condicionador” relacionado ao tempo reservado para as atividades deve estar presente no planejamento.

A atividade IV, que envolvia a discussão da técnica, era especialmente relevante para introduzir a discussão sobre os Aceleradores de Partículas. Assim, no redesenho feito após a primeira implementação (DS_1) buscou-se definir um tempo menor reservado à atividade II. Além disso, definiram-se partes “condicionais” das atividades, que poderiam ser executadas ou não dependendo do andamento do curso durante a implementação. Alguns questionamentos e discussões previstas na Atividade III relacionadas a um estudo gráfico da força elétrica foram definidos como optativos. Assim, o professor poderia substituí-los, de acordo com a necessidade, por uma discussão mais breve e mais expositiva, sem que houvesse prejuízos ao alcance dos objetivos do curso.

Nas demais implementações na Catalunha (I_2 , I_3 e I_6), a gestão do tempo foi mais adequada, e em duas delas (I_2 e I_4), considerar o elemento “condicional” foi algo necessário. Nestas (I_2 e I_4), para melhor administrar o tempo do curso, não foi discutida mais extensivamente a ação da força elétrica em uma perspectiva gráfica, e apesar disso não parece ter havido prejuízos ao entendimento da interação elétrica presente no interior do átomo (Atividade III) e os alunos puderam discutir adequadamente a técnica na atividade IV e o papel dos aceleradores de partículas na atividade V.

b) A inadequação no uso de pacotes de softwares

Na literatura em educação, em ensino de ciências e em tecnologia educacional, alguns autores têm buscado definir critérios mais claros para a escolha dos recursos digitais a serem utilizados em ambientes educacionais (MACÊDO; DICKMAN; ANDRADE, 2012; REATEGUI; BOFF; FINCO, 2010; REEVES; HARMON, 1996; SQUIRES; PREECE, 1999). Um dos aspectos que têm sido considerado na definição de tais critérios é a possível distração dos alunos no processo de ensino e aprendizagem. Por exemplo, Macêdo, Dickman e Andrade (2012) definem o tempo de carregamento como um dos critérios necessários na escolha de simulações computacionais para uso no ensino. Para os autores, deve-se optar por simulações que possuam um menor tempo de carregamento, uma vez que uma espera longa para o uso do recurso poderia levar à dispersão da atenção dos alunos. Em nosso estudo, identificamos outro aspecto que se apresenta como critério na escolha dos recursos digitais e que também está relacionado com a distração dos alunos: deve-se evitar o uso de pacotes de softwares.

Ao longo de todo o curso eram utilizados variados recursos computacionais, todos reunidos em um ambiente virtual que era acessado pelos grupos de alunos. Através do ambiente virtual, os alunos acessavam os hipertextos explicativos com as instruções e questionamentos de cada atividade, além das simulações computacionais e imagens digitais utilizadas em algumas atividades. De certa forma, o curso era organizado no

próprio ambiente virtual, que permitia identificar facilmente a sequência de atividades que seriam desenvolvidas.

Foram utilizadas três simulações computacionais, todas elaboradas por um grupo de pesquisa canadense (KCVS, 2010a; 2010b; 2010c). Entre os recursos também disponibilizados pelo grupo canadense, havia um aplicativo *flash* (KCVS, 2010d) que permitia o acesso, por um menu, às seis simulações que tratavam do experimento histórico de *Geiger-Marsden* desenvolvidas por eles, incluindo as três simulações utilizadas no curso.

No desenho piloto do curso (DS_0), o uso do aplicativo *flash* (KCVS, 2010d) foi previsto, pois este possuía uma imagem em 3 dimensões que representava bem as partes do experimento histórico de *Geiger-Marsden*, o que possibilitaria aos estudantes uma ideia mais clara do que seria o experimento.

Durante a primeira implementação do curso (I_1), foi observado que o uso do aplicativo acabou servindo de elemento de distração aos estudantes: muitos deles utilizavam outras simulações que não eram previstas, não desenvolvendo adequadamente o que era proposto nas atividades, e dedicando parte do tempo na manipulação e leitura de conteúdos que não seriam tratados no curso. Por conta disto, durante o primeiro redesenho do curso (DS_1), o aplicativo *flash* foi removido e em seu lugar foi colocada uma imagem estática do experimento, obtida a partir da própria imagem dinâmica presente no aplicativo. Assim, o material do curso continuaria a ter uma representação que permitiria uma ideia mais clara do experimento, sem que com isso, os alunos pudessem se distrair acessando outras simulações que não seriam utilizadas.

Vale destacar que, apesar das simulações poderem ser utilizadas independentemente, o aplicativo *flash* e as simulações compunham um pacote de softwares para estudar de forma mais completa os modelos atômicos de Thomson e Rutherford. Ainda que os modelos atômicos fossem tratados no curso, não se esperava, segundo os objetivos do curso, que houvesse um estudo extenso e restrito ao tema. No curso, a partir de um estudo tratando de aspectos mais específicos e mediante a discussão da técnica, era esperado o envolvimento da temática dos modelos atômicos em um estudo mais amplo sobre a estrutura da matéria, o que incluiria e facilitaria a introdução dos conceitos físicos e da técnica envolvidos nos aceleradores de partículas. Neste sentido, nos pareceu mais adequado utilizar as simulações computacionais individualmente, e não juntas em um pacote que envolvia outros recursos.

É importante ressaltar que a ideia de uso individual de recursos computacionais virtuais (como as simulações) está presente na concepção dos chamados *Objetos Educacionais* ou *Objetos de Aprendizagem* (WILEY, 2000). Os recursos definidos como *Objetos Educacionais* são aqueles que podem ser utilizados em vários contextos e de forma independente, sem que haja a necessidade de uso de um pacote compostos por vários destes recursos interligados. Apesar das simulações computacionais utilizadas serem partes do que estamos chamando de pacote de softwares, como é possível o uso independente de cada uma das simulações, e como elas se adequam a diferentes

abordagens de ensino, elas podem ser consideradas como *Objetos Educacionais*.

c) A inadequação de algumas imagens e de textos instrutivos

Parte da ação didática do professor consiste no próprio planejamento didático, que está relacionado com a definição dos materiais que serão utilizados nas atividades de ensino. Esta definição de materiais envolve escolhas didáticas que, na prática, podem se apresentar como adequadas, inadequadas ou pouco adequadas. Na literatura em educação e em ensino de ciências, as escolhas dos professores que se apresentam como inadequadas ou pouco adequadas em termos da promoção da aprendizagem têm sido definidas como obstáculos didáticos ou didático-pedagógicos (BROUSSEAU, 1997; PIETROCOLA, 2008). No estudo que desenvolvemos, identificamos algumas situações em que obstáculos desta natureza atuaram: imagens selecionadas e textos instrutivos elaborados durante o planejamento didático dificultaram a aprendizagem de alguns alunos.

No planejamento do curso previu-se que, em um momento anterior ao uso da simulação do experimento histórico de *Geiger-Marsden* (KCVS, 2010a), e ao considerar o modelo atômico de Thomson, os alunos deveriam fazer uma predição do que era esperado quando partículas carregadas positivamente (partículas alfa) fossem lançadas contra um átomo. Ao fazer a predição, os alunos deveriam traçar, em papel, as trajetórias das partículas carregadas. Com esta parte da atividade, era esperado que durante a experimentação virtual os alunos fossem capazes de reconhecer a inadequação do modelo de Thomson e a necessidade de elaboração de um novo modelo atômico.

Durante a segunda implementação do curso (I_2), muitos alunos indicaram uma trajetória diferente do esperado, e que não permitiria a eles reconhecer a inadequação do modelo de Thomson quando fossem realizar a experimentação virtual com o uso da simulação do experimento histórico de *Geiger-Marsden*. Ao invés de traçar as trajetórias das partículas com estas atravessando o átomo, o que era esperado para o átomo de Thomson, estes alunos indicavam uma colisão entre as partículas e a “superfície” do átomo. Um exemplo é apresentado na Figura 6, a seguir:

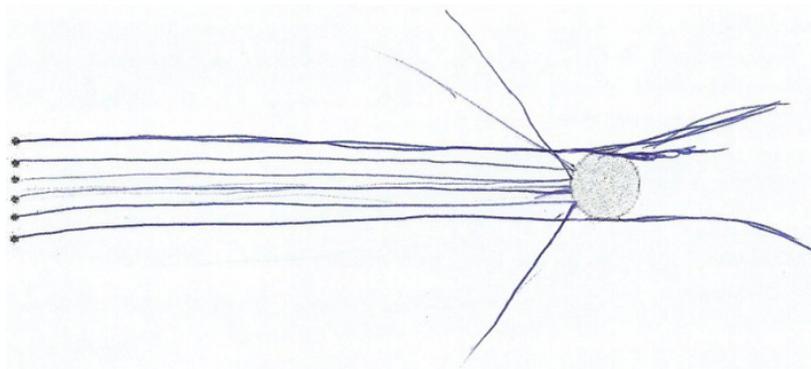


Figura 6. Exemplo de desenho feito por um aluno.

Como pode ser observado, o desenho das trajetórias indica uma colisão na qual as partículas alfa tocam uma suposta superfície do átomo de Thomson, não o atravessando

e sofrendo, assim, um grande desvio. Durante as discussões, quando questionados sobre o porquê de descreverem as trajetórias das partículas dessa forma, alguns alunos afirmaram que o átomo era sólido e impenetrável, e para afirmar isso recorriam à ideia de massa exposta no enunciado utilizado no próprio material disponível: “*Os átomos dos elementos consistem em certo número de corpúsculos carregados negativamente, imersos em uma esfera com carga positiva e massa*” (**tradução nossa**).

Tal enunciado não apresentava informações incorretas, e de fato o átomo de Thomson poderia ser definido conforme apresentado. No entanto, o fato do átomo possuir massa e isto estar presente no enunciado, levava os alunos a uma percepção equivocada de solidez do átomo, algo que não tem sentido no mundo microscópico. Ao longo da pesquisa segundo a metodologia DBR, percebemos que esta ideia estava bem presente nos modelos explicativos dos alunos, em que a partir de uma percepção ingênua do mundo macroscópico, os alunos buscavam compreender o mundo microscópico.

Como a descrição do átomo como algo que possui massa não era necessária para entender a interação que ocorria entre as partículas alfa e o átomo, a referência à massa se apresentou como pouco adequada, facilitando a atuação de percepções ingênuas no entendimento do átomo de Thomson. Assim, durante o redesenho seguinte (DS₂) a descrição do átomo de Thomson foi modificada, sendo inserida a descrição original presente no artigo de Thomson em que ele propôs o seu modelo atômico, na qual não havia qualquer referência à massa: “*Os átomos dos elementos consistem em um número de corpúsculos carregados negativamente inseridos em uma esfera uniforme carregada positivamente*” (**tradução nossa**).

Ainda no segundo redesenho do curso, um dos professores participantes comentou que alguns alunos também se referiam a suposta superfície do átomo de Thomson ao justificar as colisões entre as partículas alfa e o átomo. Quando os alunos eram questionados sobre esta suposta superfície do átomo, em suas explicações eles se apoiavam em duas imagens que estavam disponíveis no próprio material: a imagem sobre a qual eles deveriam traçar as trajetórias (círculo cinza presente na Figura 6), e a imagem do átomo de Thomson apresentada na Figura 7.

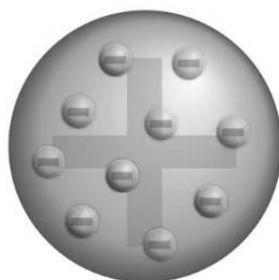


Figura 7. Representação do átomo de Thomson utilizada na 1ª implementação do curso.

Assim, durante o redesenho do curso (DS₂) foi possível concluir que, não somente havia uma inadequação de parte do texto utilizado, mas também as próprias representações do átomo de Thomson utilizadas facilitavam a ideia de colisão. Neste

sentido, as imagens utilizadas para representar o átomo de Thomson foram substituídas por representações que não trouxessem uma falsa ideia de superfície, o que estava levando alguns alunos a descrever trajetórias das partículas alfa sem que estas atravessassem o átomo de Thomson. Um exemplo da nova representação utilizada é apresentado na Figura 8, a seguir:

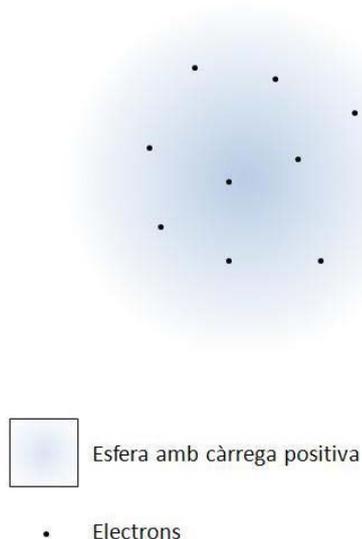


Figura 8. Representação do átomo de Thomson utilizada a partir da 2ª implementação do curso. A legenda da figura, escrita em catalão, significa “Esfera com carga positiva” e “Elétrons”.

d) A necessária desconstrução de metáforas

O uso de metáforas como apoio à explicação científica tem atraído a atenção de filósofos da ciência e pesquisadores em educação em ciências há vários anos. No campo da filosofia da ciência, o francês Gaston Bachelard é, talvez, um dos que mais aprofundou seu olhar sobre as metáforas na construção do conhecimento da Física e da Química. Parte dos obstáculos epistemológicos discutidos por Bachelard (1938), ainda na primeira metade do Século XX, são de natureza metafórica. Tais obstáculos podem ser definidos como formas de conhecer inicialmente úteis à construção de conhecimento, mas que, em um segundo momento, se obstaculizam à continuidade do processo de conhecer. Em sua obra, Bachelard demonstra como determinadas explicações científicas são construídas facilmente com o uso de metáforas e como, quando estas não são desconstruídas, acabam ocupando o lugar da explicação científica.

No campo da educação em ciências, diferentes autores também têm discutido o papel das metáforas na construção de conhecimento científico, em específico nos processos de ensino e aprendizagem (DUIT, 1991; RUNDGREN; HIRSCH; TIBELL, 2009; TREAGUST; DUIT, 2015). Ainda que, de modo geral, as metáforas sejam reconhecidas como estratégias potenciais e comuns em sala de aula, alguns autores têm destacado aspectos negativos neste uso. Por exemplo, Rundgren, Hirsch e Tibell (2009), ao constatar que as metáforas são utilizadas pelos alunos quando estes não dominam a

terminologia científica, inferem que as dificuldades no ensino de ciências podem, em grande medida, estar relacionadas com problemas de comunicação e com as metáforas utilizadas na ciência.

Em nosso estudo baseado nas linhas DBR e TLS, identificamos uma situação que nos permitiu refletir sobre as conclusões inesperadas no uso das metáforas e reconhecer sua necessária desconstrução. Nas três últimas implementações do curso na Catalunha (I_2 , I_3 e I_4), em meio às discussões sobre as trajetórias de partículas alfa lançadas contra um átomo de Thomson, frequentemente os professores participantes utilizavam uma metáfora em suas explicações. Segundo eles, o átomo de Thomson era como uma nuvem, e as partículas alfa poderiam atravessá-lo sem problemas. Não se especificava, no entanto, quais elementos da comparação deveriam ser considerados, o que caracteriza a comparação como sendo de natureza metafórica, em que a interpretação fica a cargo de quem ouve a comparação.

Na 2ª implementação do curso, em um diálogo entre um grupo de alunos e um dos professores que participava da sessão de aula, um dos alunos acabou elencando diferentes características de uma nuvem que não se aplicariam ao átomo de Thomson. No diálogo, considerando que o átomo de Thomson seria como uma nuvem, o aluno questiona o professor se o átomo seria como um fluido. Após a confirmação do professor, que diz que o átomo de Thomson seria como um fluido que poderia ser atravessado, o aluno então questiona se o átomo deformaria com a passagem das partículas, e se essa passagem provocaria vórtices no interior do átomo (por exemplo, como na passagem de um objeto sólido em meio à fumaça).

Nesta situação, podemos perceber que mesmo que a metáfora tenha sido utilizada com o intuito de facilitar uma adequada compreensão da interação entre as partículas alfa e o átomo de Thomson, a não desconstrução da metáfora gerou uma série de conclusões inadequadas sobre a estrutura do átomo. Como a interpretação da metáfora ficou a cargo dos alunos e na 2ª implementação do curso não houve uma clara explicação sobre em que sentido o átomo de Thomson poderia ser considerado como uma nuvem, os alunos fizeram interpretações equivocadas.

Na situação descrita acima, após perceber a interpretação equivocada, o professor se dedicou a explicar detalhadamente quais aspectos de uma nuvem seriam aplicáveis ao entendimento do átomo de Thomson. Em outras palavras, o professor desconstruiu a metáfora, permitindo ao aluno perceber que a nuvem se assemelharia ao átomo de Thomson somente no que se referia à penetrabilidade, enquanto que outros aspectos como uma deformação ou a existência de vórtices, não se aplicariam ao átomo.

Desta situação, podemos concluir que a opção por utilizar metáforas, sem que em seguida seja apresentada uma explicação que busque explicitar os elementos comparados, ou seja, sem que haja a desconstrução da metáfora, pode atuar como um obstáculo à aprendizagem dos alunos. Em outras palavras, reconhecemos que a metáfora pode ocupar um papel positivo na construção do conhecimento científico em sala de aula, mas que, para que isso ocorra, o professor deve buscar explicitar os elementos da

metáfora que são, de fato, úteis na explicação científica. Nas demais implementações do curso na Catalunha, a metáfora da nuvem continuou a ser utilizada na discussão da penetrabilidade, mas logo após ser apresentada a metáfora era desconstruída. Com isso, em nossas observações não verificamos outras interpretações equivocadas dos alunos decorrendo desta metáfora.

3. Considerações Finais

As características da pesquisa baseada em *design* (DBR) e das sequências de ensino-aprendizagem (TLS) que envolvem desenhos didáticos focados em um determinado conteúdo de ciências fazem parte de uma promissora e recente linha metodológica de pesquisa. Segundo muitos dos autores citados neste artigo, os resultados tirados da implementação de desenhos didáticos, como as TLS, geram conhecimento *didático*. Há necessidade de o desenvolvimento de conhecimentos dessa natureza de modo a poder intervir de maneira mais efetiva em contextos reais.

O *design* de sequências didáticas para ensinar conteúdos científicos tem se mostrado uma pesquisa frutífera focalizando situações de ensino representativas da realidade escolar (TIBERGHIEN, 2000). Dessa forma, aumenta-se a possibilidade de resultados gerados pela implementação de desenhos didáticos serem transferíveis a outros contextos e, principalmente, ser utilizado por outros professores. É claro que a transferibilidade é uma questão controversa envolvendo riscos que devem ser considerados com muito cuidado. Isto porque nenhum resultado de pesquisa educacional é à prova de contexto e à prova de professores. No entanto, eles podem fornecer até mesmo aos professores experientes, conhecimentos didáticos que podem melhorar consideravelmente seu ensino.

Esse corpo de conhecimento didático tem um papel importante na atuação do professor, pois ele pode conferir maior consciência das situações didáticas e dificuldades relativas ao ensino de determinados conteúdos, consciência esta que o professor sozinho levaria muitos anos de prática para tomar. Assim, cada elemento incorporado na dimensão didática compõe uma espécie de *arsenal* para melhor preparar o professor para enfrentar os problemas do ensino de uma ciência tão complexa e quadrivial.

Neste artigo, a pesquisa inspirada nos estudos DBR e TLS, sobre o processo de desenho e implementação de um curso sobre a *estrutura da matéria e os aceleradores de partículas*, revelou alguns resultados: a gestão do tempo e o planejamento do ensino prevendo atividades condicionais; a inadequação de pacotes fechados de softwares e a adequação de objetos educacionais em situações de ensino e aprendizagem; a cautela necessária na escolha das imagens e na elaboração de textos; e a cautela necessária no uso de metáforas, em que o professor deve buscar desconstruir as metáforas que utiliza, facilitando a interpretação destas por parte dos alunos,

Destacando, por exemplo, os resultados relacionados com a gestão do tempo, percebemos que há uma necessidade de o professor definir em seu planejamento, atividades (ou parte destas) condicionais, que poderiam ser substituídas por explicações

mais gerais caso o tempo de aula exigisse, e que não prejudicariam o alcance dos objetivos de aprendizagem. Este planejamento evitaria improvisos, assim como o prejuízo na realização de atividades importantes, como aquelas que são pensadas com o intuito de levar os alunos a estabelecerem relações entre conceitos e ideias. Outro resultado que pode ser destacado se refere às escolhas de imagens e textos que serão utilizadas nas aulas. No caso do ensino de ciências, características das imagens e dos textos selecionados podem levar os alunos a reafirmarem seus modelos explicativos alternativos, que se constroem a partir da percepção ingênua do cotidiano, e que não correspondem aos modelos conceituais que são parte do conteúdo científico escolar.

A partir do que apresentamos, entendemos que a metodologia DBR e os estudos envolvendo as sequências de ensino-aprendizagem (*Teaching-Learning Sequences* – TLS) são abordagens potenciais que podem trazer elementos importantes e contribuir para uma melhor consolidação de conhecimentos específicos e diretamente relacionados com a prática docente e os processos de ensino e aprendizagem em sala de aula.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos membros do *NUPIC (USP)* e do *CRECIM (UAB)*, que contribuíram de forma significativa para o desenvolvimento da pesquisa: Alexandre Campos, Aline Sabino, Maria Elena Truyol, Tadeu de Souza, Digna Couso, Josep Olivella e Luisa Herreras. Agradecem também à Capes (Processo BEX 9743/11-1) e à Fapesp (Processo 2012/19386-3) pelo apoio na realização da pesquisa. Por fim, agradecimentos à Fabiana Kneubil, pela leitura crítica deste texto e pelas sugestões.

Referências

ARRIASSECQ, I.; GRECA, I. M. A Teaching-Learning Sequence for the Special Relativity Theory at High School Level Historically and Epistemologically Contextualized. **Science & Education**, v.21, n.6, p. 827-851, 2012.

BACHELARD, G. **La formation de l'esprit scientifique: contribution a une psychanalyse de la connaissance**. Paris: Librairie Philosophique J. Vrin, 1938. Tradução de Estela dos Santos Abreu. A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BACHELARD, G. **Le rationalism appliqué**. Paris: PUF 1975, 5 ed. Tradução de Nathanael C. Caixeiro. O racionalismo aplicado. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1977.

BARCELOS, M.; GUERRA, A. Inovação curricular e Física Moderna: da prescrição à prática. **Revista ensaio**, v.17, n.2, p.329-350, 2015.

BAROJAS, J. **Cooperative networks in physics education**. New York: American Institute of Physics. Conference Proceedings, 1988.

BESSON, U.; BORGHI, L.; AMBROSIS, A.; MASCHERETTI, P. Three-Dimensional Approach and Open Source Structure for the Design and Experimentation of Teaching-

- Learning Sequences: The case of friction. **International Journal of Science Education**, Londres, v. 32, n. 10, p. 1289-1313, 2010.
- BIEDA, K. N.; SELA, H.; CHAZAN, D. “You Are Learning Well My Dear”: Shifts in Novice Teachers’ Talk About Teaching During Their Internship. **Journal of Teacher Education**, v. 66, n. 2, p. 150–169, 2015.
- BORGES, O. N.; BORGES, A. T.; GOMES, A. E.; TERRAZZAN, E. A. Reformulação do Currículo de Física do Ensino Médio em Minas Gerais: Versão Preliminar do Currículo Proposto. **Atas do XII SNEF**. p. 213-226, 1997.
- BROUSSEAU, G. La théorie des situations didactiques. 1997, Disponível em <https://math.unipa.it/~grim/brousseau_montreal_03.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2016.
- CATALUNYA, Departamento de Educación - Decreto 142/2008, de 15 de julio, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas del bachillerato. **Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya: Núm. 5183 – 29.7.2008**, jul 2008. Disponível em: <<http://www.gencat.cat/eadop/imagenes/5183/08190087.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2012.
- CLEMENT, J. J. Model based learning as a key research area for science education. **International Journal of Science Education**, Londres, v. 22, n. 9, p. 1041-1053, 2000.
- CUPPARI, A.; RINAUDO, G.; ROBUTTI, O.; VIOLINO, P., Gradual introduction of some aspects of quantum mechanics in a high school curriculum. **Physics Education**, Bristol, v. 32, n.5, p. 302-308, 1997.
- DBR-COLLECTIVE. Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. **Educational Researcher**, v. 32, n. 1, p. 5–8., 2003.
- DUIT, R. On the role of analogies and metaphors in learning science. **Science Education**, v. 75, n. 6, p. 649-672, 1991.
- FISCHLER, H.; LICHTFELDT, M. **Learning Quantum Mechanics**. Research in Physics Learning, Theoretical Issues and Empirical Studies. Proceedings of the International Workshop, Bremen, 1991.
- FISCHLER, H.; LICHTFELDT, M. Modern Physics and Students’ Conceptions, **Journal of Science Education**, London, v. 14, n. 2, p. 181-190, 1992.
- FOUREZ, G. Crise no ensino de ciências? **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 109-123, 2003.
- FREIRE JR, O.; CARVALHO NETO, R. A. de; ROCHA, J. F. M.; VASCONCELOS, M., J. L., SOCORRO, M., ANJOS, E. L. Introducing Quantum Physics in Secondary School, **Proceedings of Third International History, Philosophy and Science Teaching Conference**, Minneapolis, v.1 p. 412-419, 1995.
- GAUCH, H. Responses and Clarifications regarding Science and Worldviews. **Science and Education**, v. 18, n. 6, p. 905–927, 2009.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. Mental models, conceptual models, and modeling. **International Journal of Science Education**, Londres, v. 22, n.1, p. 1-11, 2000.

GREEN, D. The Strange World of Classical Physics. **Physics Teacher**, v. 48, n. 2, p. 101–105, 2010.

GIL, D. P., SENENT, F., SOLBES, J. Análisis crítico de la introducción de la física moderna en la enseñanza media. **Revista de Enseñanza de la Física**, Rosario, v. 2, n. 1, p. 16-21, 1988.

GIL, D. P.; SOLBES, J. The Introduction of Modern Physics: overcoming a deformed vision of science. **International Journal of Science Education**, Londres, v. 15, n. 3, p. 255-260, 1993.

HERNANDEZ, M. I.; COUSO, D.; PINTO, R. The Analysis of Students' Conceptions as a Support for Designing a Teaching/Learning Sequence on the Acoustic Properties of Materials. **Journal of Science Education and Technology**, v.21, n. 6, p. 702-712 v.21, 2012.

JOHANSSON, E. **Hands on CERN**. 2004. Disponível em: <http://physicsmasterclasses.org/exercises/hands-on-cern/hoc_v21en/index.html>. Acesso em: 16 mai. 2016.

KABAPÍNAR, F.; LEACH, J.; SCOTT, P. The design and evaluation of a teaching-learning sequence addressing the solubility concept with Turkish secondary school students. **International Journal of Science Education**, Londres, v. 26, n. 5, 635-652, 2004.

KARIOTOGLOU, P., TSELFES, V. (2000), Science Curricula: Epistemological, Didactical and Institutional Approach. In Koliopoulos, D. (Ed.), **Epitheorisi Fisikis**, Special Issue on Science Didactics, 31, p.19-28.

KCVS. **Rutherford Scattering**. 2010a. Disponível em: <http://www.kcvs.ca/site/projects/physics_files/rutherford/historical_scattering2.swf>. Acesso em: 3 jun. 2014.

KCVS. **Up Close Rutherford Scattering**. 2010b. Disponível em: <http://www.kcvs.ca/site/projects/physics_files/rutherford/scattering2.swf>. Acesso em: 3 jun 2014.

KCVS. **Scattering and Structure**. 2010c. Disponível em: <http://www.kcvs.ca/site/projects/physics_files/rutherford/other_nuclei.swf>. Acesso em: 3 jun. 2014.

KCVS. **Rutherford Scattering Experiment**. 2010d. Disponível em: <http://www.kcvs.ca/site/projects/physics_files/rutherford/backgrndpreloader.swf>. Acesso em: 3 jun. 2014.

KNEUBIL, F. B. **O percurso epistemológico dos saberes e a equivalência massa-energia**. 2014. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação. Universidade de São Paulo, São Paulo. 2014.

KENNEDY-CLARK, Research by Design: Design-Based Research and the Higher Degree Research student. **Journal of Learning Design**, n. 6, v. 2 p.26-32, 2013.

LIJNSE, P. La recherche-développement: une voie vers une «structure didactique» de la physique empiriquement fondée. **Didaskalia**, n. 3, p.93-108, 1994.

LIJNSE, P. “Developmental research” as a way to an empirically based “didactical structure” of science. **Science Education**, v.79, n.2, p.189-199, 1995.

MACÊDO, J. A.; DICKMAN, A. G.; ANDRADE, I. S. F. Simulações computacionais como ferramentas para o ensino de conceitos básicos de eletricidade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. especial 1, p. 562-613, 2012.

MATTHEWS, M., **Science teaching: the role of history and philosophy of science**. Routledge, New York and London, 1994.

MÉHEUT, M.; PSILLOS, D. Teaching-learning sequences: Aims and tools for science education research. **International Journal of Science Education**, v.26, n.5, p.515-535, 2004.

MONTEIRO, M. A.; NARDI, R.; BASTOS FILHO, J. B. Física Moderna e Contemporânea no ensino médio e a formação de professores: desencontros com a ação comunicativa e a ação dialógica emancipatória. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, v.8, n.1, p.1-13, 2013.

MCKAGAN, S. B.; PERKINS, K. K.; DUBSON, M.; MALLEY, C.; REID, S.; LEMASTER, R.; WIEMAN, C. E. Developing and researching PhET Simulations for teaching Quantum Mechanics. **American Journal of Physics**, Melville, v. 76, n.4, p. 406-417, 2008.

NIAZ, M. Progressive Transitions in Chemistry Teachers’ Understanding of Nature of Science Based on Historical Controversies. **Science and Education**, v. 18, n. 1, p. 43–65, 2009.

PESSANHA, M. **Estrutura da Matéria na Educação Secundária: Obstáculos de Aprendizagem e o Uso de Simulações Computacionais**. 2014. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências) - Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências. Universidade de São Paulo, São Paulo. 2014.

PIETROCOLA, M. A Transposição da Física Moderna e Contemporânea para o Ensino Médio: superando obstáculos epistemológicos e didático-pedagógicos. In: BORGES, R. M. R.; ROCHA FILHO, J. B.; BASSO, N. R. S. (Org.). **Avaliação e Interatividade na Educação Básica em Ciências e Matemática**. Porto Alegre: EDUC, 2008, p. 159-180.

REATEGUI, E.; BOFF, E.; FINCO, M. T. Proposta de Diretrizes para Avaliação de Objetos de Aprendizagem considerando Aspectos Pedagógicos e Técnicos. **Novas Tecnologias na Educação**, v. 8, n. 3, 2010.

REEVES, T.; HARMON, S. Systematic evaluation for interactive multimedia for education and training. In: REISMAN, S. (Org.). **Multimedia Computing: Preparing for the 21st Century**, Hershey: IGI Publishing, p. 472-505, 1996.

RUNDGREN, C.; HIRSCH, R.; TIBELL, L. A. E. Death of Metaphors in Life Science? A

Study of Upper Secondary and Tertiary Students' Use of Metaphors in Their Meaning-Making of Scientific Content. **Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching**, v. 10 n. 1, Article 3, 2009.

SANTOS, W. M. S.; LUIZ, A. M.; CARVALHO, C. R. A proposal to introduce a topic of contemporary physics into high-school teaching. **Physics Education**, v. 44, n. 51, p. 511-516, 2009.

SÃO PAULO. **Proposta Curricular do estado de São Paulo – Física – Ensino Médio**. São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.rededosaber.sp.gov.br/portais/Portais/18/arquivos/Prop_FIS_COMP_red_md_20_03.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2012.

SCHWARZ, C. V.; WHITE, B. Y. Metamodeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modeling. **Cognition and Instruction**, v. 23, n. 2, p. 165–205, 2005.

SIQUEIRA, M.; PIETROCOLA, M. Espalhamento de Rutherford na sala de aula do Ensino Médio. **Física na Escola**, v. 11, n. 2, p. 9-11, 2010. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol11/Num2/a04.pdf>>. Acesso em: 16 mai 2016.

SQUIRES, D.; PREECE, J. Predicting quality in educational software: evaluating for learning, usability and synergy between them. **Interacting with Computers**, v. 11, n. 5, p. 467-483, 1999.

SJÖLANDER, O.; SYMEONIDOU, E. **LHC ATLAS**. 2004. Disponível em: <http://physicsmasterclasses.org/exercises/hands-on-cern/ani/acc_lhc/lhc_atlas.swf>. Acesso em: 16 mai 2016.

STANNARD, R. Modern Physics For The Young. **Physics Education**, Bristol, v. 25, n. 3, p. 132-143, 1990.

TIBERGHIEEN, A. Designing teaching situations in the secondary school. In R. Millar, J. Leach and J. Osborne (eds.) **Improving Science Education - The Contribution of Research**. Buckingham: Open University Press, p.27-47, 2000.

TIBERGHIEEN, A.; VINCE, J.; GAIDIOZ, P. Design-based Research: Case of a teaching sequence on mechanics. **International Journal of Science Education**, v.31, n.17, p. 2275–2314, 2009.

VALK, T. V. D.; VAN DRIEL, J. H. V.; DE VOS, W. Common characteristics of models in present-day scientific practice. **Research in Science Education**, Queensland, v. 37, n.4, p. 469-488, 2007.

WILEY, D. **The instructional use of learning objects**. On-line version, 2000. Disponível em: <<http://reusability.org/read/>>. Acesso em: 3 jun. 2014.

WILSON, B. Particle physics at A-level-a teacher's viewpoint. **Physics Education**, Bristol, v. 27, n. 2, p. 64-65, 1992.

WORTHEN, B. R.; SANDERS, J. R.; FITZPATRICK, J. L. **Program evaluation:**

alternative approaches and practical guidelines. New York: Addison Wesley Longman, 2 ed., 1997.

ZANETIC, J. **Física Também é Cultura.** 1999. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação. Universidade de São Paulo, São Paulo. 1999.

Márlon Pessanha

Departamento de Metodologia de Ensino
Universidade Federal de São Carlos – UFSCar
São Carlos, Brasil
pessanha@ufscar.br

Maurício Pietrocola

Departamento de Metodologia de Ensino e Educação Comparada
Universidade de São Paulo – USP
São Paulo, Brasil
mpietro@usp.br

Recebido em 16 de março de 2015
Aceito para publicação em 01 de junho de 2016