

ASPECTOS DA NATUREZA DA CIÊNCIA EM ANIMAÇÕES POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS SOBRE A HISTÓRIA DA FÍSICA⁺*

Luiz O. Q. Peduzzi

Departamento de Física – UFSC

Danielle Nicolodelli Tenfen

Universidade Federal da Fronteira Sul

Realeza – PR

Marinês Domingues Cordeiro

Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica

UFSC

Florianópolis – SC

Resumo

Discussões sobre a natureza da ciência ainda são bastante incipientes em sala de aula, embora a literatura especializada aponte para a relevância da inserção de questões históricas e epistemológicas na formação do estudante, em geral. Neste trabalho, analisam-se algumas perspectivas educacionais de um material composto por cinco animações potencialmente significativas, desenvolvidas para uma disciplina sobre a história da física de um curso de física na modalidade de Educação a Distância. As animações articulam-se aos textos usados nesta disciplina, que abordam um amplo espectro de conteúdos sobre a história da física à luz da moderna filosofia da ciência, e a outros segmentos típicos de uma disciplina não presencial.

⁺ Features of the Nature of Science in some potentially significant animations on Physics History

^{*} *Recebido: fevereiro de 2012.
Aceito: agosto de 2012.*

Palavras-chave: *Animações em flash. História e Filosofia da Ciência. Educação científica. Aprendizagem significativa.*

Abstract

Discussions about the nature of Science are still very incipient at schools and universities, although the literature points out the overall importance of including historical and epistemological issues in Science Education. In this paper, five potentially significant animations are presented, and their respective educational possibilities are analyzed. This material was developed for a course on History of Physics in a Physics Distance Education Course. The animations are articulated to the texts used in this discipline, which address a broad spectrum of contents about the History of Physics in the light of modern Philosophy of Science, and to other segments of a typical distance education course.

Keywords: *Flash animations. History and Philosophy of Science. Science education. Meaningful learning.*

I. Introdução

As Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) fazem-se cada vez mais presentes na educação, seja de maneira formal – quando introduzidas pelas instituições de ensino e seus representantes – ou informal, considerando o livre acesso, por parte de aprendizes, a animações, simulações computacionais e inúmeros outros *softwares* disponíveis em sítios confiáveis da rede, como o Banco Internacional de Objetos Educacionais do MEC¹.

No caso da modalidade de Educação a Distância (EaD), uma de suas características fundamentais é a integração com o uso das TICs (Cunha, 2006). Por meio de ambientes virtuais de ensino e aprendizagem (AVEA) como o Moodle, por exemplo, ampliam-se as possibilidades de interação entre docentes, tutores, discentes e coordenadores. Quando desenvolvidos com premissas construtivistas, os AVEA trazem à instância pedagógica uma nova relação entre aluno e conhecimento, criando um espaço propício para o compartilhamento de conteúdos e fer-

¹ Disponível em: <<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/>>. Acesso em: 25 set. 2011.

ramentas que enriquecem o ensino e a aprendizagem (REZENDE, 2002; REZENDE; ARAÚJO, 2003; PINHO, 2008). Vários trabalhos na literatura especializada apresentam e avaliam a construção de objetos de aprendizagem e AVEAs em termos construtivistas, como os de Silva (2009), Souza, Bastos e Angotti (2008) e Machado e Nardi (2007).

A modalidade EaD, mais do que a presencial, exige do aluno organização, disciplina, dedicação, e autonomia. O subsídio aos estudos por meio de materiais potencialmente significativos propostos pelos docentes dá margem à negociação de significados e é condição fundamental para uma aprendizagem significativa. A diversificação dos materiais amplia as possibilidades de acesso ao conhecimento, e auxilia no estabelecimento de relações significativas entre conceitos, princípios, leis e teorias.

Nesta perspectiva, descrevem-se no presente trabalho cinco animações em *flash* desenvolvidas para a disciplina Evolução dos Conceitos da Física, do Curso de Licenciatura em Física na Modalidade a Distância (Prolicen) da Universidade Federal de Santa Catarina e discutem-se algumas de suas potencialidades educacionais, como materiais potencialmente significativos. Essas animações foram concebidas para envolver o aluno em um processo de interação recorrente com os textos da disciplina, em particular. Teoricamente, elas têm o potencial de promover a aprendizagem pela resolução de problemas quando, ao fornecer ao aluno uma introdução à temática mais generalizada dos segmentos da disciplina, utilizando novas representações visuais, propõem inúmeros questionamentos de caráter histórico-epistemológico que visam suscitar a inquietação, a reflexão e o debate, próprios à forma como a disciplina é pensada. Assim, com o devido fundamento histórico, são explorados vários aspectos sobre a natureza da ciência e da investigação científica, como a presença de não observáveis em uma teoria, a pluralidade metodológica, a transitoriedade do conhecimento, resistências à aceitação de novos instrumentos, conceitos e teorias, e a problemática das revoluções na ciência.

II. A estrutura da disciplina Evolução dos Conceitos da Física na modalidade EaD

A disciplina Evolução dos Conceitos da Física integra o currículo do curso de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, obrigatória para as habilitações licenciatura e bacharelado na modalidade presencial e possui uma carga horária de 72h semestrais. Tendo como pré-requisito Estrutura da Matéria I, ela, em geral, é cursada por alunos da última fase do curso. Seu objetivo é contribuir para uma formação mais integral do estudante, que, via de regra, tem pouco acesso

ao conteúdo histórico nas demais disciplinas da grade curricular. Em 2011, e com o mesmo conteúdo, Evolução foi ministrada pela primeira vez na EaD, para a licenciatura, com uma carga horária de 80h, na última fase do curso. Essa extensão para uma nova modalidade educacional exigiu reestruturações e complementos, tanto no material didático usado no presencial, como na própria dinâmica da disciplina, agora vinculada, como as demais, a um ambiente virtual de ensino e aprendizagem (AVEA) – o Moodle.

Além de reformulações de cunho estrutural e metodológico, desenvolveu-se uma nova identidade visual para Evolução dos Conceitos da Física, a partir de caricaturas de diversos personagens da história da Física, aplicando-a tanto ao AVEA quanto ao livro-texto e a um DVD, desenvolvido para a disciplina.

O livro-texto, igualmente denominado “Evolução dos Conceitos da Física” (PEDUZZI, 2011), é dividido em sete capítulos. O primeiro capítulo apresenta uma discussão sobre a pertinência da história da ciência, e da física em especial, no ensino da física, explicitando argumentos favoráveis e contrários à inserção dessa história em sala de aula. Os cinco capítulos seguintes descrevem os conteúdos abordados em cinco textos sobre a história da física (Força e movimento: de Thales a Galileu; Da física e da cosmologia de Descartes à gravitação newtoniana; Do átomo grego ao átomo de Bohr; A relatividade einsteiniana: uma abordagem conceitual e epistemológica; Do próton de Rutherford aos quarks de Gell-Mann, Nambu...). Os sumários de cada um desses textos e os objetivos da aprendizagem complementam a informação inicial presente no livro-texto, ensejando ao aluno uma visão geral dos conteúdos da disciplina e de como ele pode orientar seus estudos. O sétimo e último capítulo aborda a temática das revoluções na ciência, na perspectiva kuhniana.

A versão integral dos textos relativos aos capítulos 2 a 6 do livro-texto encontra-se no DVD “Hípermiédia: Evolução dos Conceitos da Física” (PEDUZZI; CORDEIRO; NICOLODELLI, 2011), que também disponibiliza as cinco animações em *flash*, correspondentes a cada um destes textos, e foco do presente artigo. No DVD há, ainda, cinco vídeo-aulas, que são discutidas em outro trabalho.

III. Descrição e análise das animações

III.1 Animação 1 – Força e movimento: de Thales a Galileu

A primeira animação da disciplina Evolução dos Conceitos da Física tem como tema gerador o nascimento da ciência, com os gregos, e como pano de fundo uma parte do desenvolvimento histórico do conceito de força. O texto no qual ela

está baseada, “Força e movimento: de Thales a Galileu”, é dividido em sete capítulos: 1. De Thales a Ptolomeu; 2. A física aristotélica; 3. A física da força impressa e do *impetus*; 4. As novas concepções do mundo; 5. Galileu e a teoria copernicana; 6. A física de Galileu; 7. As leis de Kepler do movimento planetário.



A cena 1 destaca o século VI a.C. como um marco na história da ciência. A cena 2 ilustra que a busca do saber pelo saber, entre os primeiros filósofos gregos, encontra-se impregnada de um curiosidade ímpar sobre a natureza da matéria. A imagem de um grego refletindo sobre a constituição das coisas evoca essa ideia. Propositadamente, neste momento, não se faz alusão a qualquer concepção específica de elemento primordial.

Na cena 3 surge um mapa que localiza as antigas civilizações egípcia, babilônica e grega, enfatizando que o conhecimento nessas regiões foi concebido e estruturado com bases e objetivos bastante distintos.

A cena 4 é introduzida com motivos egípcios, onde dois personagens se destacam observando o céu, fazendo marcações sobre as posições das estrelas, construindo, enfim, um legado de constatações sobre o mundo ao seu redor. Nessa cena, através da pergunta “[...] *seria esse o ato de se fazer ciência?*”, busca-se uma reflexão inicial sobre o que é ciência, quais os limites entre o conhecimento científico e não científico e quais seus objetivos.

Como a narração procura ressaltar, a forma com que os jônios desenvolviam seus conhecimentos era intrinsecamente diferente da dos egípcios, de caráter eminentemente aplicativo. Assim, voltando aos gregos, o grande questionamento que guiava os pensadores pré-socráticos – *de que o mundo é feito?* – é objeto de análise na cena 5. Muitas das concepções sobre a natureza da matéria contidas no primeiro capítulo do texto, e, por conseguinte, contempladas pela animação, remetem à ideia de elemento primordial (OKI, 2002). Sendo assim, nesta cena, ilustram-se algumas das hipóteses sobre a constituição da matéria em associação às caricaturas dos respectivos filósofos que as conceberam, tais como a água (princípio de tudo para Thales), o ar (a partir do qual derivam todas as coisas na concepção de Anaxímenes) e o fogo (elemento primordial do mundo, segundo Heráclito), dentre outras.

Essa linha de pensamento conduz a introdução, na cena 6, da filosofia natural aristotélica, que é objeto de estudo do segundo capítulo do texto. A hierarqu-

zação do mundo, típica dessa filosofia, é retratada no quadro que evidencia os elementos formadores de todas as coisas. Faz-se necessário ressaltar, neste instante, que os elementos água, terra, fogo e ar, para Aristóteles, não são aqueles que se encontram no mundo terrestre. Todavia, para incutir certa dinamicidade à cena, tornando-a visualmente mais interessante, utilizou-se uma pequena baleia saltando por uma água não necessariamente elementar, assim como se representou um pequeno vulcão sobre o elemento *terra*. Para garantir que a imagem não transmita uma visão deturpada das ideias de Aristóteles, é preciso que este aspecto seja comentado no uso da animação. No mais, o quadro é complementado pela imagem da Lua, marco divisório entre mundos, e também pelo Primeiro Motor, de origem divina, a partir do qual tudo no universo conservava seu movimento.

Ainda nesta cena, alguns conceitos da física de Aristóteles aparecem carregados por pequenas corujas, símbolo da filosofia. Pretende-se ilustrar, com esses conceitos, que, por mais hegemônica que a filosofia natural aristotélica tenha sido, algumas de suas concepções serviram de base para crítica de novos pensadores da época, como é o caso da *antiperistasis*, rejeitada



por Filoponos. De fato, conceitos como *lugar* e *movimento natural* permearam a ciência por séculos, influenciando, inclusive, os primeiros estudos de Galileu Galilei. Ao final da cena se questiona se, efetivamente, a influência das ideias aristotélicas não teria sido um atraso para o desenvolvimento científico da época. Indagações como essa têm potencial para suscitar inúmeras discussões de cunho epistemológico, dentre as quais aquelas que visam contestar a concepção ahistórica da ciência, que, por sua vez, enfatiza o crescimento do conhecimento científico de maneira linear, ignorando a existência de problemas e reformulações.

Na filosofia natural de Aristóteles, destacam-se aspectos metafísicos, uma vez que foi desenvolvida em um momento histórico permeado por tentativas de entendimento do mundo, da natureza, e das relações entre os objetos e as suas propriedades, com grande ênfase em explicações teleológicas. A conveniência da inserção dessa filosofia no ensino não é ponto comum entre os pesquisadores da área. Por estabelecer, por exemplo, relações entre movimento dependente de uma força, a física aristotélica é incompatível com a ciência newtoniana, e caso não seja devidamente contextualizada e entendida pode, inclusive, reforçar concepções

alternativas, sendo nociva ao ensino da dinâmica. Nesse sentido, o diálogo da animação com o texto da disciplina é bastante profícuo, embasando as discussões. O professor ou aluno interessado pode igualmente aprofundar a sua reflexão a respeito do assunto, e da pertinência da filosofia natural aristotélica no ensino de física, em artigos, como o de Matthews (1995) e Silva, Souza e Nobre (2009).



A linha do tempo, na cena 7, remete à cena 8 e à Europa do século XVI. Surgem na tela três estudiosos que questionaram aspectos relevantes e problemáticos da filosofia escolástica, particularmente no âmbito da astronomia. Johannes Kepler, Nicolau Copérnico e Giordano Bruno aparecem relacionados a perguntas que, na época, provocaram sérias retaliações da Igreja Católica, simbolizada na

animação por um membro do Clero. Em um curto período, concepções como a infinitude do universo e o heliocentrismo passaram a ser levantadas, e o dogma do movimento circular, questionado. Por fim, uma das reações mais impactantes da Igreja na história da ciência contra essas novas ideias é representada, com a condenação de Bruno à fogueira.

Os polêmicos questionamentos acerca do universo ganham novos argumentos com o surgimento do telescópio, retratado na cena 9. Com esse instrumento, Galileu observa uma multidão de novas estrelas, imperfeições na superfície da Lua, quatro corpos girando em torno de Júpiter, manchas no Sol, fases em Vênus e ‘orelhas’ em Saturno (que, ao seu telescópio, em um dado momento, aparece como um astro triplice). Como era de se esperar, tanto em termos conceituais como epistemológicos, essas revelações não foram vistas com bons olhos pelos estudiosos da época. Muitos daqueles que defendiam o aristotelismo se recusavam a olhar através do aparato, certos de que um equipamento desenvolvido em um mundo imperfeito, por mãos humanas, e que aproximava aos olhos objetos terrenos, como um relógio no topo de uma torre, não poderia ser eficiente e confiável, quando utilizado para descrever a realidade dos céus.

Efetivamente, esse episódio histórico proporciona produtivos debates a respeito das resistências à aceitação de novas ideias, de novos instrumentos e conhecimentos na ciência, não somente por parte do grupo hegemônico, mas também do próprio estudioso, quando é assolado pela dúvida em relação à repercussão de seu trabalho – um exemplo é Copérnico, que “relutou muito em publicar a sua obra

principal, pois temia ser ridicularizado com a sua hipótese de uma Terra móvel, que contrariava amplamente a evidência dos sentidos” (PEDUZZI, 2008, p. 73). Ainda, elas podem ter seu fundamento em razões políticas, ou até religiosas, uma vez que os conhecimentos científicos não são neutros, isolados, mas sim imersos em um contexto social e cultural.

Os estudos de Kepler, o qual estava munido dos dados sistemática e precisamente obtidos por Tycho Brahe, são também mencionados ao final da cena, na qual emergem as caricaturas dos dois cientistas. Esses estudos conduziram ao rompimento com o dogma do movimento circular, e a uma aproximação entre a física – utilizada prioritariamente para descrever fenômenos do mundo terreno – e a astronomia – empregada no entendimento dos céus. Esse vínculo abriu espaço para que, posteriormente, os dois mundos aristotélicos fossem descritos através das mesmas leis. Ou seja, tem-se, nesse momento histórico, o prelúdio de uma das grandes sínteses da física, que vai marcar o fim da dicotomia entre os mundos sub e supralunar. Com ela, finaliza-se a animação 1.

III.2 Animação 2 – Da física e da cosmologia de Descartes à gravitação newtoniana

René Descartes e Isaac Newton são os protagonistas da animação 2. Essa animação está relacionada aos conteúdos desenvolvidos no texto “Da física e da cosmologia de Descartes à gravitação newtoniana”, que é constituído pelos seguintes capítulos: 1. Sobre René Descartes; 2. Sobre Isaac Newton; 3. A física e a cosmologia cartesiana; 4. A dinâmica das colisões e o surgimento de uma nova física; 5. A gravitação newtoniana; 6. Das resistências à gravitação ao contexto de sua aceitação.

A linha do tempo faz, na cena 1, uma viagem até a Grécia Antiga, representada na caricatura de Aristóteles, e volta ao século XV, onde os desenvolvimentos do período do Renascimento são ilustrados com a figura de Nicolau Copérnico. Como afirma a narração, as bases da ciência foram lançadas, pois, apesar da construção secular da filosofia escolástica, novas concepções de mundo e de ciência passam a encontrar cada vez mais espaço. Personagem pouco ou nada conhecido dos estudantes, Descartes tem sua importância destacada já no início da animação, quando aparece junto a Newton. A afirmação de que os desenvolvimentos científicos do período do Renascimento serviram de terreno fértil para os trabalhos dessas duas figuras revolucionárias na ciência serve de preâmbulo para se destacar as suas realizações, nas cenas seguintes.

A cena 2, na qual Descartes se desfaz de seus livros, procura evidenciar a insatisfação dele com sua formação acadêmica, ilustrando a estratégia nada ortodoxa que estabelece para a busca de conhecimentos. Também explicita as suas contribuições à geometria, à mecânica e à ótica. A compreensão pelo aluno, com base no capítulo 1 do texto, mas também em



obras de historiadores da ciência como Koyré (1986), da trajetória que leva Descartes a bem conduzir a razão e procurar a verdade nas ciências, é tão instrutiva quanto surpreendente, e essencial para um melhor entendimento desse notável estudioso e de sua ciência.

Um mapa mostra a passagem da França, território cartesiano, à Inglaterra, no século seguinte, onde surge Newton. A cena 3 menciona ser o físico inglês o principal realizador de três revoluções científicas, referindo-se à matemática, à ótica e à mecânica, além do desenvolvimento de um novo tipo de telescópio.

Contudo, a cena não se restringe meramente às atividades científicas de Newton, enfatizando também o seu interesse por outras formas de conhecimento, como a Alquimia (THUILLIER, 1994). De fato, dependendo de como se olha para Newton, mesmo apenas no âmbito da ciência, e especialmente no que se refere à sua ambígua concepção sobre como se devem estruturar conhecimentos, quando se comparam os diferentes estilos utilizados por Newton no *Principia* e na “Optica”, também aí se encontra um ilustre desconhecido. Quem, afinal, foi Newton? Por que, a partir da descoberta de seus manuscritos alquímicos, Maynard Keynes (KEYNES, 1946) se refere a ele como o último dos magos e o primeiro dos cientistas? Historiadores como Cohen (1988) e Westfall (1995), especialistas em Newton, ajudam a entender melhor esse complexo e notável personagem da ciência.

Vivendo em ambientes distintos, mas de grande efervescência intelectual, como enfatiza a cena 4, Descartes e Newton elaboram conhecimentos a partir de perspectivas teóricas muito diferentes. É contra a física e a cosmologia de Descartes que Newton e seus seguidores têm que contrastar o *Principia*, e desenvolver ações que extrapolam o campo da argumentação científica. A história desse embate mostra que a obra máxima de Newton na mecânica teve de esperar quase cinco décadas para a sua plena aceitação.



O episódio da queda da maçã, na gênese da gravitação, é objeto de várias problematizações na cena 5. Através delas, instiga-se o aluno a refletir, inicialmente, e a elaborar respostas mais bem fundamentadas, em um segundo momento, a partir do texto da disciplina. Atentando para a importância da contextualização histórica dos conceitos envolvidos, para o sempre árduo processo de construção do conhecimento, o

aluno certamente não vai se deixar seduzir pelo equívoco do *insight* repentino, e da mensagem que ele dissemina, de que ‘tudo se resolve a partir do nada’.

Embora não se encontre nos manuscritos de Newton qualquer descrição sua sobre a queda da maçã, ele a mencionou a algumas pessoas, como William Stukeley, membro da *Royal Society*. Como frisa Martins (2006, p. 176-177), “é plausível que Newton tenha contado a mesma versão para todos os seus conhecidos, mas cada um deles entendeu a história de um modo diferente, de acordo com sua própria capacidade de compreensão”. Sofrendo acréscimos e distorções, o ‘mito’ se disseminou entre estudiosos, como Leonard Euler, que em 1760 afirma que Newton dormia sob uma macieira quando um fruto caiu em sua cabeça. O fato de que esse episódio, na ‘versão de Euler’, está presente no ensino de física é representado na animação com o fechar da capa de um livro didático.

Um dos grandes nomes do Iluminismo, o filósofo Voltaire, foi um dos maiores divulgadores das obras do físico inglês na Europa continental. Sua exaltação a Newton, na última cena, tem raízes no momento de revolução política e cultural por que passava a Europa, de grandes rupturas com a tradição escolástica e as heranças helênicas. Entretanto, é necessário que, de suas afirmações, se faça uma leitura cautelosa; elas têm o potencial de cultuar o gênio e valorizar o momento, desprestigiando as conquistas do passado, vistas como obstáculos à construção do ‘verdadeiro’ (e quem sabe definitivo) conhecimento. Concordar com Voltaire, neste caso, ignorando-se as especificidades e complexidades de cada momento histórico, pode significar conceber o passado como simples e o presente complexo.

III.3 Animação 3 – Do Átomo Grego ao Átomo de Bohr

O átomo, enquanto pilar de uma compreensão racional do mundo, é o personagem central da animação *Do átomo grego ao átomo de Bohr*. Vinculada ao texto homônimo, cujos capítulos são: 1. Do átomo grego ao átomo de Dalton; 2. Sobre o atomismo do século dezanove; 3. A espectroscopia, o elétron, os raios X e a radioatividade: prelúdio a uma nova física; 4. O *quantum* de radiação, e 5. O átomo de Bohr; a animação pretende problematizar a evolução da concepção de átomo, desde as ideias de Demócrito e Leucipo, passando por seu adormecimento de vários séculos, até o período revolucionário do início de século XX.

Há vinte e cinco séculos, surgia entre os gregos a crença de que todas as coisas são constituídas por átomos – minúsculas partículas duras, eternas, indestrutíveis e inacessíveis à visão – e pelo vazio em que se encontram esses átomos. É visando representar essa racionalização que a cena 1 da animação mostra a matéria sendo subdividida até o produto ser inacessível aos sentidos do espectador. Em uma extrapolação



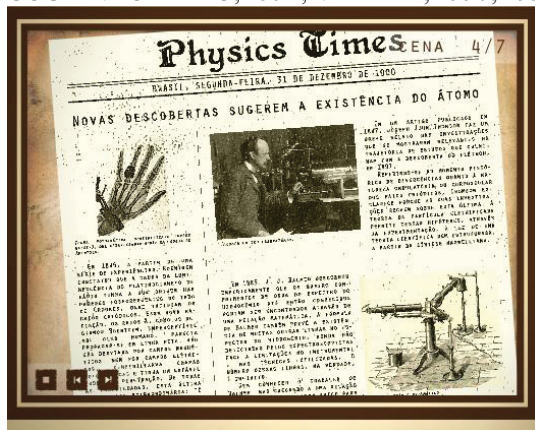
representativa, um “átomo-feijão” surge à tela na cena 2. Por meio dessa imagem, busca-se romper o vínculo com a famigerada forma esférica, tradicionalmente associada ao indivisível grego, tendo em vista que a importação de imagens do mundo macroscópico para o mundo microscópico é um grande equívoco, como resalta Bachelard (1996). Pela mesma razão, optou-se por representar as características atômicas, defendidas por uns e criticadas por outros, como letras do alfabeto grego. Como se pode compreender com a leitura posterior do texto, o “átomo-feijão” repousa sobre a Grécia, onde, em virtude da herança da filosofia natural aristotélica, perde força e permanece latente por vários séculos.

O acender das luzes no século XVII, ainda na segunda cena, mostra, então, uma nova representação do átomo. Em virtude do novo contexto científico – certamente diferente do clássico – ele se apresenta sem forma definida e diferente do “átomo-feijão”. A animação pretende indicar seu renascimento em um cenário simultaneamente fértil e problemático, onde Descartes e Bacon aparecem, respectivamente, como expoentes do racionalismo e do empirismo. A ideia, aqui, é a de

chamar atenção de que, na construção de uma nova ciência, também questões relativas ao método, e não apenas ao conteúdo, são relevantes.

O atomismo tem uma contribuição crescente na construção da ciência dos séculos XVII, XVIII e XIX, por exemplo, na descrição de estados dinâmicos da matéria, na compreensão das leis que regem a formação de compostos, na estruturação de modelos físico-químicos. Entretanto, a inacessibilidade ao átomo em uma ciência que valoriza cada vez mais intensamente a medida e o resultado empírico não poderia deixar de ser fonte de grandes ressalvas. Além disso, no século XIX, áreas da física como a termodinâmica e o eletromagnetismo se desenvolviam sem recorrer a essa entidade. A cena 3, portanto, remete ao capítulo 2 do texto da disciplina; nela, o aluno é convidado a refletir sobre a pertinência de um não-observável no desenvolvimento científico, tendo como pano de fundo um dos grandes embates da ciência, protagonizado por Ludwig Boltzmann, defensor incondicional do átomo e um dos formuladores da mecânica estatística, e o físico e químico Wilhelm Ostwald, que contesta a realidade do átomo tanto em termos científicos quanto epistemológicos.

Sem dúvida, a controvérsia entre mecanicismo e energetismo é enriquecedora do ponto de vista histórico da ciência (GARDNER, 1979, ABRANTES, 1990, COUTINHO-FILHO, 1994, VEIDEIRA, 1997; 1994; 1993, OKI, 2009).



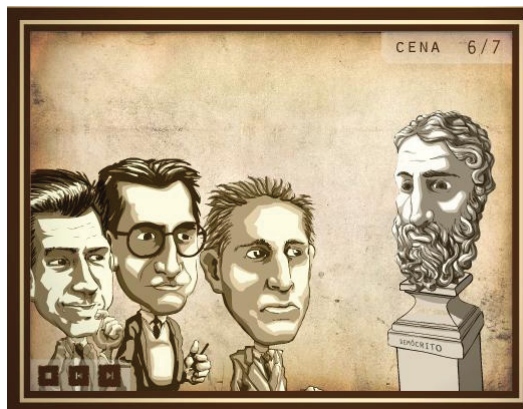
Contudo, como ilustra a cena 4, a polêmica não dura muito tempo, pois, ao fim do século XIX, novas descobertas começam a fazer calar as disputas sobre a realidade do átomo, aventando a existência de partículas ainda menores. Uma folha de jornal mostra as impressionantes notícias que o mundo científico recebeu na década de 1890 – descobertas como o elétron, os raios X e a

radioatividade – cujo caráter estremeecedor para a ciência foi potencializado pela mídia. Um prelúdio a um novo momento científico se mostra ao espectador da animação, que encontra nas discussões promovidas pelo capítulo 3 do texto subsídios para compreender as dificuldades suscitadas por essa avalanche de novos conhecimentos. Mais um período de inovações e controvérsias então se inicia. O impacto de tais descobertas pode ser apreendido em textos escritos por cientistas

diretamente envolvidos nas mesmas, como Wilhelm Röntgen (1895)², Henri Becquerel (1903), Pierre Curie (1905)³, J. J. Thomson (1908)⁴ e Marie Curie (1911)⁵; e em comentários acerca do contexto das descobertas dos raios X e da radioatividade (MARTINS, 1990; 1997). Segundo Kragh (2000), mesmo àqueles adeptos do atomismo, como Dimitri Mendeleev, essas novas descobertas ressuscitavam a alquimia. Mas o universo subatômico guardava ainda mais surpresas...

Dentre os físicos que se propuseram a investigar tais fenômenos a partir de uma nova ótica, três são personagens essenciais nos dois últimos capítulos do texto da disciplina, e aparecem na cena 5 da animação, discutindo as novas perspectivas do mundo subatômico: Planck, Einstein e Bohr. A nomenclatura *quantum elementar de ação* permite, entre outras coisas, a explicação da radiação do corpo negro e do efeito fotoelétrico – cujos esquemas estão desenhados no quadro, ao fundo dos três físicos – e culmina no limitado, mas altamente explicativo e fecundo modelo atômico de Bohr. Como a narração não se furta de enfatizar, mesmo abertos às novas leis que o mundo subatômico parece inapelavelmente sugerir, eles não deixam de se mostrar incrédulos com o que vem do outro lado da porta que a mecânica quântica lhes abre.

Uma novíssima física tem de ser desenvolvida, mas certas questões, já debatidas pelos gregos muitos séculos antes, ainda ecoam no âmago da mecânica quântica. Heisenberg (1996) e Schrödinger (2003), por exemplo, manifestam um profundo interesse pela ciência grega. Talvez não seja exagero dizer que nela procuram, se não ‘inspiração’, ao menos uma melhor compreensão das raízes do problema do universo subatômico. Assim, o museu da cena 6 pretende pintar a busca por sentidos às perguntas: *O que é essa realidade oculta?*, *Qual a sua relação com o mundo sensorial?*, *É pos-*



² Traduzido por Athur Stenton, 1896.

³ Cordeiro; Peduzzi, 2010.

⁴ Moreira, 1997.

⁵ Cordeiro; Peduzzi, 2010.

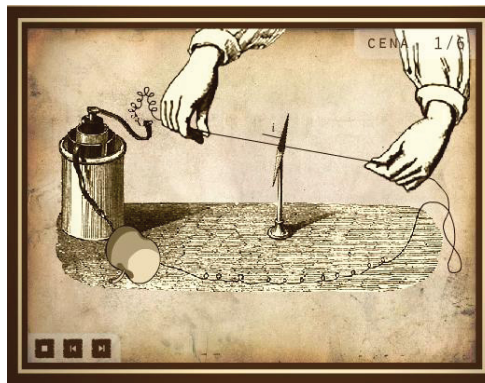
sível reunir o oculto e o manifesto em uma formulação inteligível?, Pode-se estender ao nível atômico a objetividade e o determinismo da física clássica? Aristóteles oferece a essas dúvidas uma sutil e bem humorada piscada de olhos: talvez essas sejam perguntas para sempre enraizadas no espírito científico; a dificuldade de respondê-las deve servir de estímulo àqueles que buscam, na física e no átomo, a realidade da natureza.

III.4 Animação 4 – A relatividade einsteiniana: uma abordagem conceitual e epistemológica

O amplo contexto do qual emerge e no qual se constrói a teoria da relatividade einsteiniana é o tema da animação 4, que se baseia no texto “A relatividade einsteiniana: uma abordagem conceitual e epistemológica”, que está dividido em oito capítulos: 1. Sobre o referencial absoluto newtoniano; 2. O princípio da relatividade de Galileu; 3. Sobre a luz; 4. Da síntese de Maxwell à experiência de Michelson e Morley; 5. Prelúdio à relatividade: Poincaré e Einstein; 6. A teoria da relatividade especial; 7. Sobre a relatividade geral; 8. Considerações epistemológicas sobre a relatividade einsteiniana.

Nessa animação, a linha do tempo é, em certo instante, distorcida pela sua ‘velocidade relativística’, ‘freando’ logo a seguir em seu regresso, entre o século XX, representado pela caricatura de Einstein, e o século XVII, ilustrado por Newton.

O sólido desenvolvimento da mecânica ao longo dos séculos XVII, XVIII e da primeira metade do século XIX concedeu a este corpo de conhecimentos um *status* elevado, no que se refere à capacidade explicativa dos fenômenos da natureza e de resolução dos problemas da física, em geral. Entretanto, é a supremacia da mecânica e do mecanicismo que se apresenta em jogo na cena inicial da animação 4. Este fato é artisticamente representado pela queda da maçã sobre um aparato experimental que, por sua vez, remete aos estudos de Oersted. Em 1820, esse cientista constatou que uma agulha imantada disposta paralelamente a um fio, através do qual transitava uma corrente elétrica, era desviada. A partir desse momento,



ficava estabelecida a existência de uma relação inequívoca entre a eletricidade e o magnetismo, irrompendo uma série de estudos que, com a inclusão da ótica, culminaram com as equações de Maxwell. A cena 1, em sua última parte, simboliza essa conquista, mostrando Maxwell com o seu “Tratado sobre Eletricidade e Magnetismo”, publicado em 1873. Os avanços científicos nessa área da física, que tem no conceito de campo um de seus pilares, desestabilizaram a hegemonia da mecânica, compondo um novo modo de pensar e de fazer ciência. Mais uma vez, diante de um novo quadro conceitual, a história se repete, ao expor as resistências à aceitação de determinadas ideias.

Na cena 2, um foco de luz ilumina uma parede na qual se encontram alguns quadros. Dentre eles destaca-se um que contempla dois lutadores, remetendo, figurativamente, a discussões sobre a natureza da luz, que vieram à tona diante da estruturação do eletromagnetismo maxwelliano e da proposição da constância da velocidade da luz no vácuo. Ficava, então, evidente a inadequação da transformação de Galileu no diálogo entre diferentes observadores inerciais.

Questionamentos sobre o conceito de campo também se fazem notar nesse contexto, assim como o da problemática tentativa de identificação do éter luminífero ao referencial absoluto newtoniano. Diante de tantas inquietações, ganham destaque na cena nomes como os de Hendrik Lorentz, Henri Poincaré – representados ainda em quadros sobre a parede – e Albert Einstein – que é revelado ao apontar para si o foco de luz. Pretende-se, por meio dessa parte da animação, conduzir o espectador ao entendimento do declínio do mecanicismo, e problematizar o papel de Einstein no nascimento de uma nova mecânica.



É a Einstein, portanto, que se dirige a próxima cena da animação 4. O cientista troca a lanterna por um lápis, e a galeria da cena anterior, por um espaço de trabalho. Nela, são mencionados os cinco artigos submetidos à publicação pelo cientista em 1905, em três dos quais ele discute o efeito fotoelétrico, o movimento browniano e a eletrodinâmica dos corpos em movimento.

Os temas abordados nesses três trabalhos de Einstein são retratados na animação por meio de focos de luz que partem dos materiais sobre a mesa do cientista, e culminam em representações típicas dos livros didáticos. Einstein despede-se da cena “de carona” no que se representou por uma onda eletromagnética, alusão a um de seus famosos experimentos de pensamento, concebido pelo cientista

para discutir um paradoxo bastante interessante: se um observador perseguisse um raio luminoso com a mesma velocidade deste raio – uma hipótese possível diante da mecânica newtoniana – então a luz, para ele, deixaria de ter uma constituição ondulatória. Para solucionar essa questão, a reformulação dos conceitos de espaço e tempo foi essencial a Einstein, uma vez que, diante das novas conceituações, pode-se, enfim, conciliar o princípio da relatividade com o da constância da velocidade da luz no espaço vazio.

Fazendo referência à teoria da relatividade einsteiniana, Holton (1973), que aparece no início da cena 4, sustenta que somente voltando ao *Principia* de Newton se poderia encontrar um trabalho que iluminaria tão ricamente as relações entre física, matemática e epistemologia. Sem dúvida, Newton e Einstein tanto estabeleceram novos paradigmas do conhecimento, como mostraram os livros-texto, problematizaram seus meios de fazer ciência, refletindo também *sobre* a ciência, fato muito menos conhecido.

A cena prossegue com algumas perguntas que, subsidiadas pelo texto da disciplina, levam a interessantes discussões de caráter epistemológico. Uma delas, por exemplo, ressalta a ideia da física como produto das mãos de gênios isolados. Em termos ilustrativos, na cena aparecem as caricaturas de Newton e Einstein, que se transformam em pequenas nuvens aprisionadas no interior de uma lâmpada de gênio. É interessante notar que a representação caricata de um questionamento de tamanha relevância pode ser útil para mostrar o quão problemática é essa visão sobre o empreendimento científico. A imagem permite supor que os cientistas, isentos da influência do trabalho de outros cientistas e do contexto social e cultural de sua época (confinados metaforicamente às paredes da lâmpada), podem desenvolver conhecimentos de forma isolada e autônoma. Nessa perspectiva e paradoxalmente, entretanto, eles estariam encerrando em seu laboratório intocável também as suas contribuições (o que é simbolizado na animação pelo fato de que a mão consegue acessar as paredes externas da lâmpada, mas não o que se encontra em seu interior).

Na cena 5 aparecem, pela primeira vez em todas as animações, as caricaturas dos professores. É relevante esclarecer que essas caricaturas foram concebidas para manter uma coerência com a identidade visual construída para a disciplina. No ambiente virtual de ensino e aprendizagem, cada um dos textos, bem como



as atividades a eles relacionadas, foram distribuídos em um tópico específico, vinculado às caricaturas de alguns cientistas, em conformidade com a hipermídia e com o livro-texto impresso, distribuído aos estudantes. É de praxe, no Curso de Licenciatura em Física, no qual se situa Evolução dos Conceitos da Física, que o tópico *zero* (LARA, 2007, p. 119; NICOLODELLI, 2011, p. 120) do AVEA contemple, entre outros itens, atalhos para o perfil dos(as) professores(as) e tutores(as) a distância, que acompanham os estudantes ao longo do semestre. No caso de Evolução, as caricaturas dos professores e dos tutores substituíram as fotos tradicionais.

Com a cena final, procura-se incitar debates sobre o caráter revolucionário da teoria da relatividade. O tema, polêmico, faz com que alguns encontrem na reestruturação dos conceitos de tempo e espaço a ênfase revolucionária da teoria da relatividade restrita. Moreira (2005), por exemplo, menciona que essa reestruturação de conceitos fundamentais, “[...] tomados como dados *a priori* por séculos, constitui-se certamente em uma das revoluções mais importantes da Ciência”. Leopold Infeld (1950), por outro lado, pondera que a física da época, já estava madura para a formação de uma nova mecânica. Assim, se Einstein não tivesse formulado a teoria da relatividade restrita, ela teria surgido por outros. Cabe observar que o próprio Einstein não considerava a teoria da relatividade restrita como um constructo revolucionário, afirmando que os homens que lançaram as bases da física sobre as quais pode construir sua teoria foram Galileu, Newton, Maxwell e Lorentz.

No que se refere à teoria da relatividade geral, essa sim carrega um caráter revolucionário, segundo Einstein. Friedman (2009) menciona três avanços científicos⁶, que considera como revolucionários por si mesmos, e que foram magistralmente articulados por Einstein no desenvolvimento de uma nova descrição da gravitação, compatível com a teoria da relatividade restrita, e na resolução de anomalias da teoria newtoniana, como a que se referia ao periélio de Mercúrio. O último capítulo do texto fornece ao estudante subsídios para refletir sobre o que se pode entender por uma revolução na ciência, e assim fundamentar o seu posicionamento em relação à relatividade, tanto a restrita quanto a geral.

⁶ São eles o desenvolvimento de uma nova área da matemática por Riemann, no final do século XIX; o princípio da equivalência de Einstein e as suas equações para o campo gravitacional – que descrevem como a curvatura do espaço-tempo é modificada pela presença de matéria e energia.

III.5 Animação 5 – Do próton de Rutherford aos *quarks* de Gell-Mann, Nambu...

A constatação de que o átomo tem uma estrutura interna, com a descoberta do elétron em 1897 (além dos estudos de Röntgen com os raios X e de Becquerel e do casal Curie com a radioatividade, na mesma época), abre caminho para o estudo da física em uma nova escala. O surpreendente mundo subatômico é objeto da animação intitulada *Do próton de Rutherford aos quarks de Gell-Mann, Nambu...* Essa animação foi construída a partir do texto de mesmo nome, cujos capítulos são: 1. Da formulação teórica à identificação do pósitron; 2. Da transmutação à fissão nuclear; 3. Novas forças e partículas na física; 4. A proliferação hadrônica e novas leis (regras) de conservação, e 5. Sobre os quarks de Gell-Mann, Nambu...

A linha do tempo das animações corre até o ano de 1897, onde um jornal mostra J. J. Thomson ao lado de um “átomo-feijão” – imagem escolhida para representar o átomo na animação 3. Até Thomson, aqueles que defendiam o átomo enquanto entidade real também acreditavam ser ele a última subdivisão da matéria. O físico britânico demonstra toda a sua perplexidade com a nova descoberta, ao procurar dentro do “átomo-feijão”, além de sua estrutura, respostas a certas perguntas que, desde os jônios, já eram feitas. O secular indivisível precisava, novamente, ser repensado: não apenas o átomo e sua estrutura estavam em questão, mas também o próprio conceito de partícula elementar.

É sobre o conceito de partícula fundamental que a cena 2 segue tratando. Durante as primeiras décadas de pesquisas na área que atualmente é conhecida como física de partículas, os avanços tecnológicos, na forma de aceleradores e detectores de partículas, e inovações junto aos filmes, na área dos raios cósmicos, ensejaram a descoberta de novas partículas, em pequeno número inicialmente, mas em grande quantidade a partir da metade do século XX. Representa-se isso na animação, simbolicamente, por ‘partículas’ que dão origem a novas partículas.

É com o passar do tempo, e com o delineamento do modelo padrão, que finalmente se consegue organizar e reduzir o número dos constituintes fundamentais da matéria. Porém, para que isso se tornasse possível, foi necessário rever a própria concepção de partícula elementar, que não mais será entendida como um objeto imutável e eterno, como o “átomo-feijão”, mas sim como uma entidade transmutável e passível de aniquilação.

Para ilustrar essa nova concepção, a cena 3 traz o fenômeno da aniquilação elétron-pósitron. O pósitron, que Paul Dirac mostra ao espelho como um reflexo do elétron, foi concebido teoricamente por esse físico em 1928, a partir de suas pesquisas em mecânica quântica relativística (KRAGH, 1981). O surgimento dessa



partícula, e sua aceitação, logo em seguida, exigiu não apenas de Dirac, mas de toda a comunidade científica – representada por meio das sombras que surgem como pano de fundo do físico – a revisão da concepção clássica do conceito de matéria. No capítulo 1 do livro-texto, o aluno encontra subsídios para a discussão dessa problematização. Pode-se notar que, no início da cena, utilizou-se o cenário de uma sala de

aula, que se mescla com as demais imagens, e que aparecerá novamente adiante.

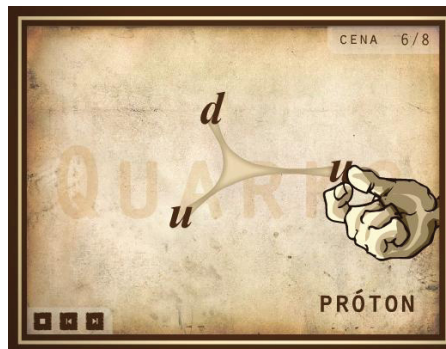
Assim, a necessidade de se conhecer melhor a estrutura da matéria impeliu muitos cientistas à busca recorrente por fontes de energia cada vez mais elevadas – na cena 4, um suposto mural de uma instituição de pesquisa representa essa procura. Avanços nesse sentido ocorrem, em um primeiro momento, a partir das partículas alfa do neozelandês Ernest Rutherford. Ele demonstra a eficácia desses novos projéteis em experimentos de espalhamento que resultaram na formulação de um modelo para o átomo. Posteriormente, em 1919, Rutherford realiza o sonho dos alquimistas de uma forma mais atualizada, como diz o físico Emílio Segrè (1987), ao relatar o primeiro caso de uma transmutação induzida artificialmente. Em parceria com o químico Frederick Soddy, em 1902 e 1903 (RUTHERFORD; SODDY, 1903), Rutherford já havia dado uma explicação para a radioatividade natural, com a desintegração atômica.

Os produtos dos fenômenos radioativos, entretanto, logo se mostraram insuficientes para gerar partículas com as energias requeridas pelos experimentos das décadas de 1930 e 1940. É verdade que, desde a segunda década do século passado, havia a alternativa dos raios cósmicos, mas as suas energias, apesar de serem extremamente elevadas, não eram ‘controladas’. Os chuveiros de partículas mostrados no vídeo da cena 5 enfatizam a importância desses corpúsculos energéticos para a física, que viabilizaram experimentos a partir dos quais se pode detectar uma série de novas partículas, como o pósitron, o múon, as partículas V e o pión, cujo codescobridor foi o brasileiro Cesar Lattes (BASSALO, 1990; CARUSO; OGURI, 1997). Entrementes, desde a década de 1930, eram crescentes as energias geradas pelos aceleradores de partículas, e a cena 5 ainda destaca esse fato, fazendo referência ao ciclotron desenvolvido por Ernest Lawrence.

Uma profusão de novas partículas emerge na física a partir do final da década de 1940, em decorrência da construção de novos e mais eficientes acelerado-

res e detectores de partículas e do aumento da comunidade dos ‘físicos de partículas’. Tornou-se, então, necessário organizar o “zoológico subatômico” e compreender as razões da proliferação hadrônica. Afinal, não parecia razoável serem tantas as partículas consideradas elementares.

O vídeo da cena 6 problematiza uma nova discussão, na cena seguinte. Surgem, então, as figuras de Murray Gell-Mann e George Zweig que, em trabalhos independentes, em 1963, propõem que os hádrons são constituídos por partículas elementares: Zweig as chamou de *ases* e Gell-Mann de *quarks*. A animação mostra um próton, formado por dois quarks *up* e um *down*, e a dificuldade de desfazer tal agrupamento. Além de indetectáveis, os quarks sugerem a revisão de outro conceito já muito bem consolidado: o de carga elementar, já que a carga dos quarks é uma fração da carga do elétron – algo que os cientistas não cogitavam na época.



Thomas Kuhn e Gaston Bachelard surgem na tela na cena 7, observando meticulosamente uma chapa fotográfica impressionada, símbolo das primeiras detecções de partículas, sob o fundo de uma narração que lembra que rupturas conceituais acontecem na física, reforçando o que já havia sido dito pelos professores anteriormente. De maneira semelhante a outros momentos da história da ciência, há resistências, à medida que o novo quadro conceitual vai se delineando. Na mesma cena, menciona-se ainda que, aos três quarks propostos por Gell-Mann (*up*, *down* e *strange*), foram adicionados os quarks *charm*, *bottom* e *top*. De fato, o conceito de quarks implica em novas reflexões epistemológicas, como enfatiza Moreira (2007), por exemplo.

As grandes mudanças sofridas pelo corpo teórico da física de partículas no século XX têm sido matéria de inúmeros trabalhos na literatura especializada em educação científica brasileira. É possível encontrar obras que abordam esse assunto a partir do ponto de vista de físicos (BASSALO, 2000; CARUSO; SANTORO, 2000; CARUSO; OGURI; SANTORO, 2005; MARTINS, 2002, ABDALLA, 2006) e de educadores (OSTERMANN, 1999; SIQUEIRA, 2006; MOREIRA 2007), preocupados especialmente com a importância da inserção de tópicos de física moderna e contemporânea no Ensino Médio brasileiro.



Entre outras coisas, a animação intenciona mostrar que, no curto período de um século, conceitos fortemente consolidados na física tiveram que ser reformulados, como matéria, carga, partícula, campo. Concomitantemente ao estabelecimento de novas leis de conservação, a noção de interações ou forças fundamentais da natureza tiveram que ser revistas. Ao fim da animação, o professor lembra, com

o ‘apoio’ de diversos personagens da história da ciência e da física, que o conhecimento científico é provisório, e a esse fato sempre estaremos sujeitos.

IV. Considerações finais

As animações desenvolvidas para a disciplina de Evolução dos Conceitos da Física, quando devidamente mediadas pelo professor e subsidiadas pelos materiais e recursos usados na disciplina, podem suscitar interessantes discussões de natureza epistemológica. Elas auxiliam na associação de novas perspectivas ao conhecimento físico e abrem espaço para o enriquecimento de subsunçores (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN; 1980; MOREIRA, 2006) relevantes na estrutura cognitiva dos estudantes. No curso de uma aprendizagem significativa, os subsunçores iniciais relativos a um certo domínio do conhecimento são alterados, tornando-se mais elaborados, inclusivos, e mais capazes de ancorar novas ideias dentro desse mesmo domínio (MOREIRA, 1999).

Por abordarem a história da física, as animações evidenciam o contexto no qual os constructos físicos foram concebidos e desenvolvidos, propiciando uma visão mais geral dessa ciência, desvinculando-a da fragmentação comum aos cursos de formação nessa área. Elas podem ser consideradas como materiais potencialmente significativos (AUSUBEL, 2003), pois dispõem de significados lógicos, inerentes a sua natureza, e seus conteúdos são incorporáveis à estrutura cognitiva do estudante, por meio de interações não literais e não arbitrarias com subsunçores específicos. Desde que esses subsunçores existam, de fato, na estrutura cognitiva do indivíduo, os significados lógicos podem ser por ele transformados em psicológicos, uma das condições para ocorrência da aprendizagem significativa, que depende ainda da disposição do aprendiz para relacionar novas informações às previ-

amente conhecidas, de maneira não literal e não arbitrária. A aprendizagem nesses termos “ [...] não deve ser interpretada simplesmente como a aprendizagem de material significativo. Na aprendizagem significativa, esses materiais são apenas potencialmente significativos” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 42).

É importante que materiais potencialmente significativos estejam vinculados a tarefas de aprendizagem potencialmente significativas. No caso das animações, nota-se que alguns dos conceitos por elas abordados podem ser significativos para os estudantes logo de início, enquanto que outros talvez não. É na medida em que o aprendiz se apropria das leituras indicadas pelo docente que aqueles conceitos ainda dotados de potenciais significados podem se tornar efetivamente significativos.

No caso da EaD, a autonomia e a dedicação do estudante são fundamentais para que este recorra aos materiais oferecidos pela disciplina ou a outras referências recomendadas, na busca de compreender os conteúdos estudados. Entretanto, mesmo autônomo, ele deve contar com a parceria de tutores e professores no exercício dessa compreensão. Por meio do ambiente virtual de ensino e aprendizagem, por exemplo, os docentes podem propor tarefas de aprendizagem potencialmente significativas, que ultrapassem os limites da leitura, e exijam do aprendiz a utilização dos conteúdos em argumentações, respostas a questionários, análises de vídeos, etc. É nesse ponto que reside a relevância de explorar os recursos disponíveis no AVEA, tornando-o um espaço no qual os significados psicológicos, mesmo que de natureza idiossincrática, sejam debatidos e, por fim, compartilhados pelos estudantes e docentes.

Todavia, independentemente da modalidade de ensino – presencial ou a distância – as animações podem ser utilizadas antes, durante ou após a instrução. Sua apresentação aos estudantes previamente ao conteúdo que lhes serve de base tem como uma possível implicação educacional suscitar debates a partir de conceitos que não necessariamente sejam familiares aos aprendizes. Considerando-se a animação 1, por exemplo, ao se tratar da filosofia natural aristotélica, termos como lugar natural, movimento natural, movimento forçado e *antipersistasis* aparecem na tela, enquanto a narração destaca que vários conceitos da filosofia de Aristóteles foram objeto de questionamentos. Apesar disso, eles permearam a ciência durante longos séculos. Assim, esse é um dos momentos nos quais se pode discutir a dificuldade de abandonar ideias muito bem estabelecidas, em benefício de outras, novas. Na animação 4, pode-se retomar essa discussão, diante do declínio do mecanicismo e da ascensão de uma nova física. Entretanto, para que o aluno possa refletir e se posicionar com propriedade diante das questões que lhe são apresenta-

das, em geral, é necessário que ele compreenda a importância da contextualização histórica dos conteúdos e que rejeite possíveis conceitos de história *whig*.

Se as animações forem, no entanto, empregadas pelo professor após a instrução, ou seja, após as leituras, discussões e realização de tarefas referentes aos conteúdos por elas mencionados, pode-se correr o risco de torná-las meramente objetos ilustrativos, enfraquecendo seu potencial educacional. Isso ocorre porque, se todos os componentes da animação forem já significativos para o aprendiz, isto é, se as animações forem materiais significativos ao invés de potencialmente significativos, o objetivo da tarefa de aprendizagem significativa, visando à aquisição de novos significados, se completa antes mesmo do contato entre estudante e animação. Na animação 2, por exemplo, é dado grande destaque às diferentes formas de pensar e fazer ciência de René Descartes e Isaac Newton. Com isso, podem-se discutir os contrapontos entre racionalismo e empirismo, matéria raramente estudada em outras disciplinas da grade curricular. É possível igualmente conduzir o aluno a reflexões sobre o pluralismo metodológico na ciência, e confrontar a crença no método científico, único e infalível. Esse tema vem à tona novamente na animação 4, quando se evidencia o contexto de estabelecimento da relatividade, e se faz alusão aos experimentos de pensamento de Einstein. Se, contudo, essas animações forem utilizadas ao final da instrução, apenas ilustrarão os debates, deixando de ser uma fonte de argumentação e discussão.

Utilizar-se das animações ao longo do processo de instrução leva a um meio termo, no qual elas podem ser fonte de debates de conceitos novos para o aprendiz, assim como podem elucidar conceitos já assimilados, e colocá-los sob diferentes perspectivas. Desse modo, caso esses conceitos consistam em subsunções iniciais para determinado indivíduo ou grupo, eles podem passar a ser enriquecidos e ampliados.

A física de partículas, tema principal da animação 5, é, muitas vezes, estudada de forma breve nas licenciaturas. Portanto, alguns de seus conceitos e conteúdos podem ser de conhecimento do estudante, enquanto que outros não. De qualquer modo, parece inegavelmente útil à formação do estudante conhecer (talvez) um pouco mais das contribuições de Dirac, Lattes e Gell-Mann, entre tantos outros, à Física. O encadeamento histórico, em particular, possibilita discutir, mais uma vez, a provisoriidade do conhecimento científico. Ao utilizar-se, portanto, dessa animação ao longo do processo instrucional, pode-se auxiliar os estudantes na assimilação dos conteúdos, e, ao mesmo tempo, suprir a necessidade de uma contextualização histórica.

Em sua estrutura, Evolução dos Conceitos da Física conta com uma organização de conteúdos que leva em consideração as dependências sequenciais natu-

rais entre seus tópicos de estudo e, desse modo, busca maximizar a disponibilidade de ideias-âncora relevantes para uso na aprendizagem significativa e na retenção (MOREIRA, 1999, p. 162); (AUSUBEL, 2003, p. 171). Segundo Ausubel (2003, p. 171), “na aprendizagem escolar sequencial, os conhecimentos do material que surge em primeiro lugar desempenham o mesmo papel de um organizador em relação ao material que surge em último lugar na sequência”, argumento que demonstra a relevância desse tipo de organização não só para a disciplina de Evolução, como também para qualquer disciplina. Essa estruturação reflete-se, de certa forma, nas animações, quando se repetem determinadas imagens com o intuito de resgatar conteúdos já discutidos, a exemplo do "átomo-feijão" e da página de jornal, na qual se evidenciam aspectos históricos como a descoberta do elétron, o surgimento da radioatividade.

Essas são apenas algumas das possíveis implicações educacionais e epistemológicas relacionadas ao uso das animações. Por serem ferramentas recentemente incorporadas à disciplina de Evolução, outras formas de explorá-las em sala de aula certamente surgirão com a prática nos próximos semestres. Em outros contextos educacionais nos quais venham a ser empregadas, é natural se esperar que novos interesses e objetivos ampliem o espectro de suas possibilidades e discussões. Contudo, é importante que sejam associadas a materiais potencialmente significativos, que complementem seus conteúdos e fundamentem os debates delas originados.

Agradecimentos

À equipe do Laboratório de Novas Tecnologias (LANTEC)⁷ do Centro de Ciências da Educação, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), pelo desenvolvimento técnico das animações.

Referências bibliográficas

ABDALLA, M. C. B. **O Discreto Charme das Partículas Elementares**. 1. ed. São Paulo: Fundação Editora Unesp, 2006. 344 p.

ABRANTES, P. C. C. A. A concepção estóica de natureza e a moderna física do contínuo. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, v. 2, n. 1, p. 33-65, 1990.

⁷ Disponível em: <<http://www.lantec.ced.ufsc.br/>> Acesso em: 20 fev. 2012.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. Educational psychology: a cognitive view. 2nd ed. Nova York: Holt Rinehart and Winston, 1978. Tradução: Eva Nick *et. al.*, **Psicologia Educacional**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980, 625 p.

AUSUBEL, D. P. The acquisition and retention of knowledge: a cognitive view. Tradução: Lígia Teopisto. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. 1. ed. Lisboa: Paralelo Editora, jan. 2003. 226 p.

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BASSALO, J. M. F. Cesar Lattes: um dos descobridores do então méson pi. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 7, n. 2, p. 133-148, 1990.

_____. Partículas elementares: do átomo grego à supercorda. In: CARUSO, F.; SANTORO, A. (Eds). **Do átomo grego à física das interações fundamentais**. Rio de Janeiro: CBPF, 2000.

BECQUEREL, A. H. On radioactivity, a new property of matter (1903). **Nobel Lectures, Physics 1901-1921**, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1967. Disponível em: <http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1903/becquerel-lecture.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2012.

CARUSO, F.; OGURI, V. A eterna busca do indivisível: do átomo filosófico aos quarks e léptons. **Química Nova**, v. 20, n. 3, p. 324-334, 1997.

CARUSO, F.; OGURI, V.; SANTORO, A. **Partículas elementares: 100 anos de descobertas**. Manaus: Editora da Universidade Federal do Amazonas, 2005.

CARUSO, F.; SANTORO, A. **Do átomo grego à física das interações fundamentais**. Rio de Janeiro: CBPF, 2000.

COHEN, I. B. **O nascimento de uma nova física**. Lisboa: Gradiva, 1988.

CORDEIRO, M. D.; PEDUZZI, L. O. Q. As Conferências Nobel de Marie e Pierre Curie: a gênese da radioatividade no ensino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 3, dez. 2010.

COUTINHO-FILHO, M. D. Reflexões sobre o desenvolvimento da mecânica estatística: um tributo a Ludwig Boltzmann (1844-1994). **Química Nova**, v. 17, n. 6, p. 536-550, 1994.

CUNHA, S. L. S. Reflexões sobre o EaD no Ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 2, p. 151-153, 2006.

FRIEDMAN, M. Kant, Kuhn, e a racionalidade da ciência. **Philosophos**, v. 14, n. 1, p. 175-209, jan/jun, 2009.

GARDNER, M. R. Realism and instrumentalism in the 19th century atomism. **Philosophy of Science**, v. 46, p. 1-34, 1979.

HEISENBERG, W. **A parte e o todo: encontros e conversas sobre física, filosofia, religião e política**. Rio de Janeiro: Contra-ponto, 1996.

HOLTON, G. J. **Thematic origins of scientific thought: Kepler to Einstein**. Cambridge: Harvard University Press, 1973. 495 p.

INFELD, L. **Albert Einstein: a sua obra e a sua influência no mundo contemporâneo**. Lisboa: Publicações Europa-América, 1950.

KEYNES, J. M. **Newton, the man** (1946). In: _____. *Essays in biography*. 2. ed, 1951.

KRAGH, H. The genesis of Dirac's relativistic theory of electrons. **Archive for History of Exact Sciences**, v. 24, n. 31, p. 31-67, 1981.

KRAGH, H. Conceptual changes in chemistry: the notion of a chemical element ca. 1900-1925. **Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics**, v.31, n.4, dez. 2000.

KOYRÉ, A. **Considerações sobre Descartes**. Lisboa: Editorial Presença, 1986.

LARA, A. E. **O uso de apresentações em slides e de um ambiente virtual de aprendizagem na perspectiva de promoção da aprendizagem significativa de conteúdos de colisões em nível de Ensino Médio**. 2007. 201 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

MACHADO, D. I.; NARDI, R. Construção e validação de um sistema hipermídia para o ensino de Física Moderna. **Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias**, v. 6, n. 1, p. 90-116, 2007.

MARTINS, J. B. **A história do átomo: de Demócrito aos quarks**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2002. 360 p.

MARTINS, R. A. Como Becquerel não descobriu a radioatividade. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 7, n. Especial, p. 27-45, 1990.

_____. Investigando o invisível: as pesquisas sobre raios X logo após sua descoberta por Röntgen. **Revista da SBHC**, n. 17, p. 81-102, 1997.

_____. A maçã de Newton: história, lendas e tolices. In: SILVA, C. C. (Org.) **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

MATTHEWS, M. R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, dez. 1995.

MOREIRA, I. C. 1905: um ano miraculoso. **Física na Escola**, v. 6, n. 1, p. 4-10, 2005.

_____. Conferência Nobel de Thomson sobre a descoberta do elétron. Tradução e notas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 19, n. 3, p. 299-307, 1997.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999. 195 p.

_____. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula**. Brasília: Editora UnB, 2006. 186p.

_____. A física dos quarks e a epistemologia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 2, p. 161-173, 2007.

NICOLODELLI, D. **Mapas conceituais como ferramentas para a organização do conhecimento em uma disciplina sobre a história da física**. 2011. 206 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

OSTERMANN, F. **Tópicos de física contemporânea em escolas de nível médio e na formação de professores de física**. 1999. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

OKI, M. C. M. O conceito de elemento da antiguidade à modernidade. **Química Nova na Escola**, n. 16, p. 21-25, 2002.

_____. Controvérsias sobre o atomismo no século XIX. **Química Nova**, v. 32, n. 4, 2009.

PEDUZZI, L. O. Q. **Evolução dos Conceitos da Física**. 1. ed. Florianópolis: UFSC/EAD/CED/CFM, 2011. v. 1. 130 p.

_____. **Força e Movimento**: de Thales a Galileu. Publicação interna. Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008. 160p.

PEDUZZI, L. O. Q.; CORDEIRO, M. D.; NICOLODELLI, D. **Hipermídia**: Evolução dos Conceitos da Física. ISSN: 9-788580-300154. 2011.

PINHO, D. S. **Material didático em um ambiente virtual de aprendizagem**. 2008. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

REZENDE, F. As novas tecnologias na prática pedagógica sob a perspectiva construtivista. **Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 2, n. 1, mar. 2002.

REZENDE, F.; ARAÚJO, R. S. Interage: um ambiente virtual construtivista para a formação continuada de professores de física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 20, n. 3, p. 372-390, dez. 2003.

RÖNTGEN, W. C. On a new kind of rays. Tradução: Arthur Stenton. **Nature**, v. 53, p. 274, 1895.

RUTHERFORD, E; SODDY, F. The cause and nature of Radioactivity. **Philosophical Magazine**, v. 4, p. 370-396, 1903.

SCHRÖDINGER, E. **A natureza e os gregos seguidos de ciência e humanismo**. Lisboa: Edições 70, 2003.

SEGRÈ, E. **Dos raios X aos quarks: físicos modernos e suas descobertas**. Brasília: Universidade de Brasília, 1987.

SILVA, A. F. G.; SOUZA, A. I. E.; NOBRE, F. A. S. Física aristotélica como motivador para o ensino de física. **Caderno de Cultura e Ciência**, v. 1, n. 1, p. 1-8, 2009. Disponível em:

<<http://periodicos.urca.br/ojs/index.php/cadernos/article/view/172>>. Acesso em: 16 fev. 2012.

SILVA, T. Ensino a distância e tecnologias na educação: o estudo de fenômenos astronômicos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 26, n. 3, p. 536-546, dez. 2009.

SIQUEIRA, M. R. P. **Do visível ao invisível: uma proposta de física de partículas elementares para o Ensino Médio**. 2006. 257 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Física e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SOUZA, C. A.; BASTOS, F. P.; ANGOTTI, J. A. P. Resolução de problemas de física mediada por tecnologias. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, n. 2, p. 310-339, ago. 2008.

THOMSON, J. J. Carriers of negative electricity (1908). **Nobel Lectures, Physics 1901-1921**. Amsterdam: Elsevier Publishing Company, 1967.

THUILLIER, P. **De Arquimedes a Einstein: a face oculta da invenção científica**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1994.

VIDEIRA, A. A. P. Algumas observações histórica e epistemológicas sobre o conceito de átomo clássico. **Revista da SBHC**, v. 10, p. 13-20, 1993.

_____. Atomismo, energitismo e pluralismo teórico no pensamento epistemológico de Ludwig Boltzmann. **Química Nova**, v. 17, n. 6, p. 461-464, 1994.

_____. A concepção atomista de Ludwig Boltzmann. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, v. 7, n. 1, p. 53-79, 1997.

WESTFALL, R. S. **A vida de Isaac Newton**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.