

Produtos e Materiais Didáticos

Atividades de modelagem exploratória aplicada ao ensino de física moderna com a utilização do objeto de aprendizagem pato quântico

(Activities of exploratory modelling applied to the teaching of modern physics by using the learning object The Quantum Duck)

Gilvandenys Leite Sales¹, Francisco Herbert Lima Vasconcelos²,
José Aires de Castro Filho² e Mauro Cavalcante Pequeno²

¹Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, Gerência de Física, Fortaleza, CE, Brasil

²Universidade Federal do Ceará, Instituto UFC Virtual, Fortaleza, CE, Brasil

Recebido em 18/1/2008; Revisado em 16/5/2008; Aceito em 14/7/2008; Publicado em 8/10/2008

Este artigo apresenta resultados relacionados ao desenvolvimento de atividades de modelagem exploratória aplicada ao ensino de física quântica com a utilização do objeto de aprendizagem (OA) chamado Pato Quântico. Este OA representa uma metáfora do efeito fotoelétrico e possibilita o cálculo da constante de Planck. Um estudo foi realizado através de um experimento com estudantes do ensino médio. Como resultado, percebeu-se que a construção ou a manipulação de um modelo não depende exclusivamente de como os alunos dominam a lógica empregada na ferramenta computacional, mas sim do entendimento sobre o fenômeno físico e suas habilidades em relacioná-lo com o objetivo da atividade desenvolvida.

Palavras-chave: física moderna e contemporânea, objeto de aprendizagem, pato quântico, efeito fotoelétrico, modelagem exploratória.

This paper presents results related to the development of activities of applied exploratory modelling to Quantum Physics Teaching by using use of the learning object (LO) called the Quantum Duck. The LO is a metaphor to the photoelectric effect and it makes possible the calculation of the constant of Planck. A study was done through an experiment with High School students. As a result, it was noticed that the construction or manipulation of a model does not depend exclusively of the assimilation of the employed logic in the tool computational, but of the understanding of the the physical phenomenon and their abilities in relating it to the aim of the developed activity.

Keywords: modern and contemporary physics, learning object quantum duck, photoelectric effect, exploratory modelling.

1. Introdução

Diante das recentes descobertas científicas e dos grandes avanços tecnológicos nos últimos anos, a escola tem procurado inserir a física moderna e contemporânea (FMC) no currículo do ensino médio. Documentos como os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) sugerem que a escola insira tais conteúdos em seu currículo já no ensino médio, indo além de conteúdos da física clássica [1].

No início do século XX, a física moderna surge para modificar e complementar conceitos clássicos existentes. Essa área da física, de caráter não-determinístico, probabilístico e imprevisível, inicia-se em 1900 com a

hipótese da quantização de energia na solução da radiação do corpo negro proposta por Max Planck. Poucos anos depois, em 1905, Albert Einstein publica na revista alemã *Annalen der Physik* os artigos que tratam do quantum de luz e do efeito fotoelétrico, do movimento browniano e da teoria da relatividade especial. A estrutura teórica da física moderna somente se completaria no final de 1920, com Schrödinger, de Broglie, Heisenberg, Pauli e Dirac, entre outros, o que resultaria em acelerado avanço tecnológico.

Como forma de fazer com que o aluno conheça essas teorias e conseqüentes inovações tecnológicas, faz-se necessário trabalhar com conteúdos da FMC, desde o ensino médio, conforme preconizam os PCN e PCNs

¹E-mail: denyssales@cefetce.br.

+ Ensino Médio: Orientações Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais [2].

Ostermann e Moreira [3] fizeram uma extensa pesquisa bibliográfica sobre FMC no ensino médio e concluíram que a preocupação com o seu ensino em nível internacional intensificaram-se na Conferência sobre o Ensino de Física Moderna realizada no Fermi National Accelerator Laboratory, em abril de 1986 nos Estados Unidos.

Vários motivos podem ser apontados para o ensino da FMC, dos quais destacam-se analisar conceitos físicos tratados de forma incorreta pelos meios de comunicação e contribuir para que o aluno construa uma idéia de ciência e das características do trabalho científico mais adequado ao fenômeno real [4].

No Brasil, a inserção da FMC no ensino médio é proposta que vem sendo apresentada em vários trabalhos científicos, mesmo antes da promulgação da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional – LDB/1996, e inspirou o XII Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF realizado em Belo Horizonte - MG de 27 a 31 de janeiro de 1997.

Os PCNs+ [2], no lugar de conteúdos gradeados, propõem temas estruturadores, entre eles aqueles relacionados à FMC: matéria e radiação e, universo, terra e vida; e sugerem uma nova matriz curricular para as três séries do ensino médio.

Entretanto, vários entraves têm surgido à implementação das propostas sugeridas por estes documentos. Ricardo [5] aponta a falta de espaço na escola para uma ampla discussão e construção de seu projeto político-pedagógico de forma coletiva e a própria incompreensão por parte dos professores que não os leram, nem discutiram, tendo em vista a estrutura atual de hierarquia verticalizada da escola. Acena ainda para a dimensão da reforma pretendida e a necessidade de se rever práticas educacionais correntes em sala de aula. Por fim, reforça o convite para que todos os professores sejam protagonistas desta reforma, em vez de meros executores de programas impostos.

Dando sua parcela de contribuição, a Sociedade Brasileira de Física (SBF) vem, desde o ano de 2002, demonstrando sua preocupação em inserir a FMC no ensino médio. Para tanto, tem motivado os interessados a contribuírem com artigos direcionados à área para serem publicados em suas revistas.

Tal preocupação levou a SBF, em 2003, a iniciar a organização de uma série de livros dirigidos a professores de física do ensino médio que abordem a FMC.

Ainda em 2003, a diretoria da SBF nomeia uma comissão para elaborar o projeto “Física para o Brasil”, cujo objetivo prospectivo é traçar metas para o desenvolvimento da física e do ensino de física para o próximo decênio 2005-2015. E faz o apelo para o engajamento de “todos os profissionais da física” [6].

O resultado deste trabalho, na forma de livro, lançado em 2005 no XVI Simpósio Nacional de En-

sino de Física, aponta os problemas, desafios e faz recomendações para a física no Brasil nas mais diversas áreas. Chaves e Shellard [7] ao referirem-se à formação de professores nos cursos de licenciatura de física, cuja prioridade tem sido as disciplinas de física clássica, citam que “[...] a desconsideração da física moderna e contemporânea é muito grave, já que os professores formados para o ensino médio não estão preparados [...]”. Esse quadro exige mudanças, caso contrário a física poderá cair numa relativa marginalização”.

Isto aponta que os currículos dos cursos de licenciatura em física precisam ser reformulados e “conter mais física moderna e contemporânea” [7], fator imprescindível na formação do futuro professor, que trabalhará com FMC no ensino médio. Segundo [8]: “A lacuna provocada por um currículo desatualizado resulta numa prática pedagógica desvinculada e descontextualizada da realidade do aluno”.

De alguma forma, as Universidades, principalmente as públicas, têm contribuído para a inserção de FMC nos currículos do ensino médio, quando passaram a exigí-la em seus vestibulares. Por um lado, isto revela o engessamento e o direcionamento que causa esta modalidade de acesso ao Ensino Superior em nosso país, mas por outro, força que tópicos de FMC sejam trabalhados em sala de aula.

Apesar de toda esta mobilização, a intenção de introduzir a FMC ainda permanece no imaginário dos professores e está longe de ser concretizada, principalmente na escola pública [6].

Expostas as justificativas da inserção da FMC no ensino médio, defendemos o uso de ambientes computacionais como vetores de facilitação da aprendizagem.

A proposta desse artigo é apresentar uma experiência do uso de ambientes informatizados de aprendizagem para trabalhar os conteúdos da FMC, sem anular a importância da experimentação ou qualquer outro recurso de ensino, ressaltando sua potencialidade em transformar seus modelos virtuais em cenários de percepção e construção de conceitos e significados para a compreensão de fenômenos abordados na FMC.

O uso de um ambiente informatizado servindo de laboratório virtual de física justifica a relação custo-benefício, pois, em se tratando de FMC, pensar em material experimental, alternativo ou não, implica elevados investimentos financeiros, seja em equipamentos e/ou infra-estrutura, sem contar as limitações de ordem operacional, que exigem qualificação de profissional capacitado [9].

O uso de ferramentas computacionais para modelagem no ensino de física vem se apresentando como um recurso de grande potencialidade no processo de aprendizagem. Tais ferramentas vão desde papel e lápis até a utilização de tecnologias interativas computacionais [10]. Em física, a versão em papel de um modelo revela sua natureza estática, na qual é privilegiada uma versão instantânea da realidade. Já uma versão compu-

tacional é dinâmica, na medida em que o modelo pode ser realimentado ou reiniciado. Os resultados dessa dinamicidade auxiliam a refletir e pensar uma nova compreensão da realidade, além de permitir a realização de cálculos que vislumbram uma melhor evolução temporal da situação estudada.

Um dos recursos que atualmente se apresentam como ferramentas para modelagem são os Objetos de Aprendizagem (OA). No presente trabalho, discutiremos a aplicação de um OA chamado pato quântico, por meio da realização de atividades de modelagem exploratória no cálculo da constante de Planck. Este artigo está dividido nas seções que se seguem abaixo: na seção 2 é apresentado o referencial teórico do trabalho; na seção 3 é abordada a metodologia e a dinâmica do experimento com alunos do ensino médio e apresentado o OA - pato quântico e suas características; na seção 4 são apresentados os resultados obtidos; e por fim, na seção 5, são feitas as considerações finais e a conclusão do trabalho.

2. Referencial teórico

O presente artigo pressupõe uma discussão sobre paradigmas educacionais que embasem o uso de ambientes computacionais. Outro tópico são os modelos físicos que se formam quando se interage com o objeto do conhecimento a ser apreendido. Por último, discute-se também objetos de aprendizagem e outros aparatos computacionais para o ensino de conceitos científicos. Esses tópicos serão abordados nas próximas seções.

2.1. Paradigmas educacionais

O desenvolvimento e uso de software educativos ou ambientes educacionais requerem paradigmas educacionais que os subsidiem. Um software apoiado em um paradigma instrucionista irá priorizar mecanismos de transmissão de informações e de exercitação de habilidades como memória. Já em um software educativo baseado em um paradigma construtivista de aprendizagem valoriza-se principalmente a interação social aluno/professor e aluno/aluno e a mediação propiciada pelo computador. A interatividade aluno/computador/software assume assim, papel de fundamental importância no processo de aprendizagem. Nesse paradigma, centrado na aprendizagem, no aluno e na construção do conhecimento, compreende-se aluno como um ser ativo que gerencia sua própria aprendizagem: pensando, articulando idéias e construindo representações mentais na solução de problemas, constituindo-se no gerador de seu próprio conhecimento.

Para adequar-se a este paradigma, propõe-se a transformação da sala de aula em um ambiente interativo de aprendizagem, como cenário das interações sociais necessárias ao desenvolvimento cognitivo, em

que professores e alunos venham a fazer do ambiente computacional um instrumento auxiliar de mediação destas interações e o elo entre conhecimento e aprendizagem de modelos físicos. É neste ambiente interativo onde se estabelecem as condições necessárias para que o aluno desenvolva suas funções psicológicas superiores, que estão ligadas à consciência, como: estabelecer relações, planejar, comparar, lembrar e imaginar, desta forma, amplificando sua capacidade cognitiva e socioafetiva, proporcionando-lhe o aprendizado [11].

Impelido por suas necessidades, o aluno, enquanto ser ativo, desenvolverá atividades ou ações no processo de apreensão dos objetos culturais que o rodeiam (interiorização), e para que isto se concretize é necessária a inclusão do outro, daí a importância da interação social, pois este outro contribui com sua experiência no uso desses objetos como instrumentos e produtos do ambiente cultural.

Outro aspecto relevante nas teorias construtivistas é a mediação. O processo de mediação, através de instrumentos e signos, é fundamental para o desenvolvimento das funções psicológicas superiores: “A função do instrumento é servir como um condutor da influência humana sobre o objeto da atividade; ele é orientado externamente [...] O signo, por outro lado, não modifica em nada o objeto da operação psicológica. Constitui um meio da atividade interna” [11, 12].

A interação com o ambiente virtual e softwares educativos, que assumem a função de instrumentos da atividade mediada, tem por fim dotar de significados e mediar a compreensão inicial do fenômeno físico abordado, e transformar-se-á, em momentos posteriores, em signos que auxiliarão na representação mental de modelos físico-matemáticos, necessários à compreensão e aprendizagem dos conceitos estudados. Existem inúmeras teorias que seguem a proposta construtivista. O presente trabalho, usou o modelo de Ausubel, discutido a seguir.

2.2. A teoria cognitivista de Ausubel

De acordo com a teoria de Ausubel para que se estabeleça uma aprendizagem significativa é necessário, *a priori*, que se estabeleça uma comparação entre as concepções alternativas que o aluno já possui e o novo conceito a ser apreendido. Para isto o professor precisa conhecer as estruturas cognitivas prévias do aluno para que possa conduzir seu ambiente de aprendizagem no sentido de conectá-las às estruturas conceituais do fenômeno ou conceito físico em estudo.

Para Ausubel este processo envolve a interação da nova informação com uma estrutura de conhecimento específica, existente na estrutura cognitiva do indivíduo, a qual define como subsunçor.

O subsunçor é uma estrutura específica a que uma nova informação pode se integrar e se organizar hierarquicamente no cérebro humano. São como idéias re-

levantantes e necessárias, pré-concebidas pelo aluno, que lhe dão consciência e maturidade frente a uma nova situação-problema. Funciona como verdadeira âncora que trará significado ao objeto em estudo e que despertará a motivação, bem como aguçará a intuição do aprendiz.

Os subsunçores permitem disponibilizar o material a ser apreendido de maneira mais subjetiva ou relacionável, ou ainda incorporável, à estrutura cognitiva do aprendiz de maneira não literal e não arbitrária [13].

Ademais, quando se cria um ambiente propício à aprendizagem, evitando-se a aprendizagem mecânica e fazendo com que a linguagem exerça seu papel de socialização do saber em sala de aula, o aprendiz numa postura pró-ativa poderá manifestar uma disposição para relacionar de maneira substantiva o novo material potencialmente significativo à sua estrutura cognitiva.

Como forma de condução do aluno para uma aprendizagem significativa, estratégias metodológicas devem ser programadas com o objetivo de estabelecer os “organizadores prévios” (material introdutório), estratégia proposta por Ausubel com fins de manipular a estrutura cognitiva, cujo intuito é provocar correlações entre o conhecimento que o aprendiz sabe e o que ele deverá vir a saber, para que esse conhecimento seja apreendido de forma significativa. Portanto, o “organizador prévio” facilita a interação entre os subsunçores e a nova informação ou conceito a ser apreendido, funcionando como uma ponte cognitiva [14].

Este processo de aprendizagem significativa é definido por Ausubel como assimilação, segundo Cardoso [15],

A característica fundamental da assimilação é o fato de que das interações entre o novo conceito e o subsunçor emerge uma nova idéia semântica ou “novo” conceito que passa a integrar na estrutura cognitiva do aprendiz. Isto implica dizer que tanto o conceito de referência, o subsunçor, como o novo conceito são transformados ou adaptados para, juntos, comporem novo elemento significativo, sem, no entanto, perderem seus significados individuais, caso seja necessário retomá-los.

Neste sentido, espera-se que o aluno, como um ser que apresenta predisposição em aprender [16], construa os novos conceitos decorrentes das teorias quânticas, ou seja, sem se alijar de vez dos conceitos clássicos, que neste caso formam os subsunçores, o aprendiz forma os novos conceitos. Afinal, em alguns casos, a nova física apenas constitui um limite, como por exemplo, nas teorias da relatividade, cujos conceitos de massa, espaço, tempo e energia tiveram de ser modificados, permanecendo os conceitos anteriores válidos para modelos físicos a baixas velocidades.

O tópico a seguir trata de modelos e sua importância na aprendizagem significativa de um fenômeno físico em estudo.

2.3. O modelo físico

Ao dissecar um objeto do conhecimento, ou tentar compreender um fenômeno físico, o indivíduo vale-se de modelos. Estabelecido em pensamento, no plano das representações ideais, o modelo físico, é apenas uma aproximação, muitas vezes bem afastado da realidade.

Segundo, Young e Freedman [17]: “Na física, um modelo é uma versão simplificada de um sistema físico que seria muito complicado se fosse analisado com detalhes completos”. Por ser simplificado o modelo já constitui uma limitação. Portanto, ao se antever as regularidades de um sistema, já estão implícitas as limitações impostas pelo modelo idealizado, que por sua vez limita nossas previsões.

São sobre estes modelos idealizados que se constroem as teorias e analisam-se suas aplicações. Fundamentado em Einstein, Infeld e em filósofos russos, Medvediev [18] cita que os elementos essenciais da macroestrutura de uma teoria são:

1. O plano de descrição dos objetos e dos fenômenos (o plano fenomenológico do conteúdo de uma teoria, ou dos fenômenos físicos, são apresentados diretamente, em estado puro).
2. A representação desta teoria, com a ajuda de modelos, destacando os seus conceitos essenciais e os princípios (Plano das representações ideais de uma disciplina).
3. O tratamento da teoria com a ajuda de um “aparato-matemático-formal” (plano dos significantes: símbolos, gráficos...)

São estes três elementos citados, na ordem: o plano fenomenológico da descrição da realidade, o modelo físico e o aparato matemático-formal da teoria que em relações recíprocas levam o indivíduo à compreensão do funcionamento deste ou daquele conceito [18].

Retornando à questão central deste trabalho vale ressaltar que a mudança conceitual que se pretende investigar não é aquela que implique na substituição tácita das teorias ou conceitos prévios de natureza clássica pelos novos conceitos de natureza quântica. A intenção é que o aluno compreenda a limitação do modelo clássico e incorpore em suas estruturas cognitivas e representações esquemáticas os modelos oriundos de interpretação quântica da natureza.

Estas mudanças conceituais estão imbricadas com a construção de novos modelos mentais que sejam funcionais e satisfatórios. Para Moreira e Pinto [19], um modelo mental adequado que produza uma aprendizagem significativa de uma lei física deve ser um modelo

que permita: “descrevê-la, explicá-la e usá-la para fazer previsões”.

Moreira e Pinto [19] alertam quanto à percepção dos alunos referente às leis físicas, que são vistas apenas como método, ou fórmulas aplicadas na resolução de problemas, destacando que “são necessárias mudanças profundas no ensino da física, se nosso intuito é, de fato, querermos uma aprendizagem significativa e não mecânica-formulista dessa Ciência”.

Para auxiliar na construção destes modelos, esta pesquisa propõe o uso de ambientes informatizados de aprendizagem, em que o software educativo e/ou OA sejam o elo entre o objeto do conhecimento e o modelo físico que se pretende estabelecer.

2.4. O ambiente computacional como recurso auxiliar na aprendizagem

O computador como ferramenta intelectual possibilita a seus usuários a oportunidade de descobertas e aprendizagens. Para Tavares [20], “As simulações computacionais possibilitam o entendimento de sistemas complexos para estudantes de idades, habilidades e níveis de aprendizagem variados”.

Os softwares educativos podem ampliar as nossas capacidades cognitivas. Entretanto, ao optar pelo uso de softwares, cuidados devem ser tomados. Para Carraher [21]: “Via de regra, um software não funciona automaticamente como estímulo à aprendizagem. O sucesso de um software em promover a aprendizagem depende da integração do mesmo no currículo e nas atividades de sala de aula”. É necessário que os professores assumam a postura de “[...] arquitetos cognitivos, dinamizadores da inteligência coletiva [...]” [22] ao planejarem suas metas de ação integradas ao uso do software, a fim de explorarem bem suas potencialidades no trabalho junto aos alunos.

Reforçando as idéias acima, a mediação pedagógica de alguém mais experiente é de singular importância no trabalho de sala de aula, sem obviamente anular a livre descoberta por parte de alguns alunos.

Auxiliado pelo ambiente computacional, o professor, numa aula de física, além de ganhar tempo para as atividades de resolução de problemas ou de discussões conceituais, pode operacionalizar a alteração de dados em situações inconcebíveis no referencial do laboratório, criando rapidamente novas situações-problema com resultados imediatos, que poderão estimular reflexões e oferecer uma gama maior de variáveis.

Segundo Sales [23],

O uso de um ambiente informatizado servindo de laboratório virtual de física justifica-se pela relação custo-benefício. Pois muitas vezes, montar experimentos, alternativos ou não, implicam elevados inves-

timentos financeiros, sejam em equipamentos e/ou infra-estrutura, sem contar as limitações de ordem operacional, que exigem predisposição e qualificação de profissional capacitado.

Frente a estas ferramentas tecnológicas, professores de física deviam tentar não fazer uso tão freqüente das palavras “imagine que”, “suponha que”, criando um verdadeiro abismo entre o fenômeno físico real e o modelo que se pretende estabelecer. Como alternativa a este imaginário, que pode não despertar a motivação e vontade de aprender por parte dos alunos, os professores deveriam conduzir seus alunos a explorarem os softwares educativos fazendo o papel de mediador, conduzindo-os a ir e vir do real para o virtual.

Entretanto, para que estes recursos didáticos digitais sejam efetivamente incorporados às salas de aula de física no nível médio, “é essencial fomentar uma cultura que propicie sua apreciação e utilização crítica pelos docentes” [24].

Existem inúmeros softwares educativos que possibilitam o uso de experimentos virtuais e de modelagem, dos quais destacam-se o Modellus [25], NetLogo [26] e o *Interactive Physics* [27]. Esses softwares têm se mostrado úteis na exploração de conceitos tanto da física clássica quanto da FMC. Entretanto, possuem algumas limitações como o fato de necessitarem ser instalados, de serem de difícil utilização e também de não poderem ser executados em qualquer plataforma (exceção feita para o NetLogo que por ser desenvolvido em Java, é considerado multiplataforma).

Uma alternativa recente a essas dificuldades são os objetos de aprendizagem, discutidos no próximo tópico.

2.5. Objeto de aprendizagem

Objetos de aprendizagem, doravante chamados apenas por OA são recursos digitais para dar suporte à aprendizagem [28-30]. Os OA surgiram com a intenção de minimizar os problemas de armazenamento e distribuição de informações [31].

A importância do uso de OA para o estudo de conceitos matemáticos e científicos reside no fato deles serem de fácil utilização, possuírem objetivos específicos bem definidos, já estarem prontos para serem utilizados, não requerendo instalação ou configuração. Outra vantagem é que inúmeros OA são encontrados na rede web de forma gratuita, tais como os fornecidos pela Rede Interativa Virtual de Educação (RIVED²), um programa da Secretaria de Educação a Distância – SEED do Ministério da Educação que visa a produção de conteúdos pedagógicos digitais [32]. Os OA do RIVED podem ser integrados no currículo da Educação Básica, de modo a ampliar as ferramentas de ensino-aprendizagem disponíveis para professores e alunos.

²www.rived.mec.gov.br

Em geral, os OA abrangem conteúdos que podem se beneficiar das potencialidades tecnológicas disponíveis, como simulações no caso da física.

Apesar do seu grande desenvolvimento, ainda há poucos estudos que enfatizem o uso de OA na aprendizagem da física. Segundo Castro Filho [33], a maioria dos estudos concentra-se em áreas da matemática.

É de se esperar que, auxiliado pelos OA, o professor ganhe tempo para as atividades de resolução de problemas e/ou mais discussões conceituais, podendo operacionalizar a alteração de dados em situações inconcebíveis no referencial do laboratório, criando rapidamente novas situações-problema com resultados imediatos, que poderão estimular reflexões e oferecer uma gama maior de variáveis. Além disso, o uso de experimentos virtuais possibilita atividades de modelagem computacional, discutidos na próxima seção.

2.6. Modelagem computacional

A construção de um modelo sobre uma teoria em física, apresenta-se principalmente no ensino médio, através de modelos matemáticos didáticos. Tais modelos constituem-se como um conjunto de símbolos e relações matemáticas que expressam e interpretam uma ou mais hipóteses de maneira quantitativa de uma situação próxima da realidade [34].

Uma das formas de se trabalhar a modelagem aplicada a tópicos referentes ao ensino em Ciências pode ser feita a partir do uso de recursos computacionais. Um Ambiente de Modelagem Computacional (AMC) consiste em uma ferramenta onde os estudantes podem construir modelos a partir de suas próprias concepções sobre um fenômeno ou explorar modelos já prontos. Essas ferramentas são denominadas de ambiente de modelagem devido ao fato de haver uma proposta educacional associada à sua utilização [10]. Além disso, ambientes computacionais em geral aplicados ao ensino, tais como softwares educativos, podem ser utilizados como AMC, desde que seu uso seja realizado a partir de atividades de modelagem, através da exploração de suas ferramentas disponíveis.

A atividade de modelagem computacional apresenta-se de dois tipos [34]: (a) modelagem exploratória: nesta atividade o aluno é levado a explorar um modelo previamente conhecido ou construído pelo professor sobre um determinado fenômeno; (b) modelagem expressiva: nesta atividade o aluno é levado a construir seus próprios modelos a partir de suas próprias concepções sobre um fenômeno ou sistema estudado.

Várias pesquisas têm sugerido que o uso de recursos computacionais aliados à modelagem computacional, voltados ao ensino de física, são excelentes ferramentas para prover a resolução de dificuldades na aprendizagem. A atividade de modelagem desenvolvida a partir de um software educativo poderá apresentar-se como uma proposta viável para melhorar os níveis de com-

preensão dos conteúdos tratados pelo professor em sala de aula [34]. Este artigo relata resultados e perspectivas do uso de um OA como ferramenta de modelagem exploratória a partir da análise referente ao cálculo da constante de Planck. A partir da fundamentação exposta, desenvolveu-se a metodologia do estudo, apresentada a seguir.

3. Metodologia e dinâmica do experimento

O estudo foi conduzido com uma turma de 32 estudantes de ensino médio do Centro Federal de Educação Tecnológica do estado do Ceará (CEFET-CE). O estudo aconteceu durante o primeiro semestre de 2006 e constou de atividades de modelagem exploratória durante a utilização de um OA intitulado pato quântico [35], descrito a seguir.

3.1. O OA pato quântico

Este OA tem por objetivo facilitar a compreensão do efeito fotoelétrico, que trata da remoção de elétrons de uma superfície metálica quando nela incide luz (fótons) de determinada frequência, fenômeno este devidamente explicado por Einstein. Ao supor que a matéria e a radiação podem interagir apenas por meio da troca de quanta de energia, Einstein desenvolveu uma correta explicação para o efeito fotoelétrico ao considerar que a radiação eletromagnética incidente numa superfície metálica consistia de pacotes de energia que viajavam à velocidade da luz, podendo ser refletidos, ou mesmo, desaparecer. Neste caso, cada fóton cede toda sua energia para apenas um elétron, que poderá se desligar ou não da superfície metálica. Elétrons da superfície metálica vencem mais facilmente a atração causada pelas cargas positivas e a barreira de energia potencial por elas criada nesta interação.

Einstein, aplicando então a lei da conservação da energia, mostrou que a máxima energia cinética (E_{cmax}) de cada elétron ejetado, após a colisão com o fóton, é dada pela Eq. (1), onde ϕ é uma propriedade do metal chamada de função trabalho, que representa a quantidade de energia mínima necessária para o elétron se desligar do metal

$$E_{cmax} = E_{foton} - \phi. \quad (1)$$

Atribuindo à energia do fóton a mesma expressão da hipótese de Planck, chega-se à equação de Einstein (2)

$$E_{cmax} = h \cdot f - \phi. \quad (2)$$

Ao substituir o valor da energia cinética máxima do elétron ejetado na Eq. (2) por $e \cdot V_0$, tem-se a Eq. (3)

$$e \cdot V_0 = h \cdot f - \phi. \quad (3)$$

Outra forma de expressar a equação de Einstein para o efeito fotoelétrico é dada na Eq. (4)

$$V_0 = \left(\frac{h}{e}\right) \cdot f - \frac{\phi}{e}. \quad (4)$$

Pode-se prever também a existência de uma frequência de corte (f_{\min}) abaixo da qual não se verifica o efeito fotoelétrico. Para tanto, basta fazer $V_0 = 0$ na Eq. (2) e isolar f_{\min}

$$0 = h \cdot f_{\min} - \phi, \quad (5)$$

$$f_{\min} = \frac{\phi}{h}. \quad (6)$$

No OA pato quântico, a metáfora de patos em constante movimento no poleiro quântico simboliza a natureza dual, onda-partícula, dos elétrons ligados à superfície metálica ou catodo. No canhão de fótons (Fig. 1), é possível regular a intensidade da luz fazendo variar o número de fótons-bala. Para tanto, basta clicar nas bolinhas do canto superior esquerdo abaixo do nome *Fótons* na barra de ferramentas, que elas vão se depositando dentro do canhão, como também é possível variar a cor dos fótons alterando sua frequência, barra multicolorida abaixo do nome *freqüência* da barra de ferramentas [23].

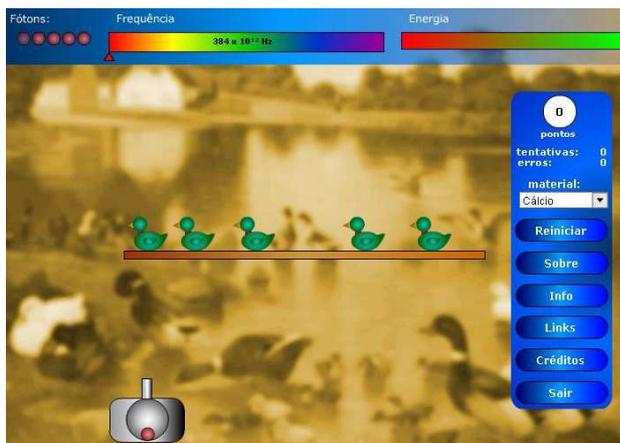


Figura 1 - Frame do OA pato quântico.

Para movimentar o canhão para a direita ou esquerda e efetuar os disparos, deve-se posicionar e clicar o mouse sobre a base do canhão de fótons. Quanta de luz, ou fótons, representados pelos fótons-bala, serão arremessados na direção dos elétrons-patos. No quadro destacado em azul, à direita do OA, encontram-se outras opções. Dentre as quais destaca-se o botão *Info*, o qual fornece a função trabalho dos metais do poleiro quântico, material da barra em que se encontram os elétrons-patos. As opções são: cálcio, céso, potássio, platina e sódio. Estas ações, associadas ao pato quântico, devidamente mediadas pelo professor, visam aumentar a compreensão e estruturação do modelo quântico do efeito fotoelétrico.

O quadro azul (Fig. 1) traz ainda o contador de pontos, como se trata de um jogo, quanto mais elétrons-patos voarem mais pontos serão feitos. Para tanto, é disponibilizada certa quantidade máxima de energia ao usuário que é representada na figura acima por uma barra bicolor no canto superior direito. Essa barra bicolor possui duas cores, o verde e o vermelho, para indicar a quantidade de energia disponível, onde o verde simboliza que há energia disponível e o vermelho que a energia está cada vez mais escassa. Cada fóton-bala utilizado decresce a energia disponibilizada. Na busca de jogadas mais efetivas, o aluno deverá fundamentar suas estratégias de jogo e com isto desenvolver sua capacidade cognitiva, que o levará à aprendizagem [23].

O experimento visou estudar como se comportam os alunos desenvolvendo uma atividade de modelagem no cálculo da constante de Planck utilizando o OA pato quântico, conforme descrito a seguir.

3.2. A atividade de modelagem

No momento inicial com os alunos, tratou-se dos fundamentos teóricos de física moderna relacionados ao conteúdo que seria proposto na realização do trabalho de modelagem.

O principal tema abordado neste experimento era o cálculo da Constante de Planck, nos quais os alunos aprenderam a lidar com conceitos fundamentais sobre o efeito fotoelétrico e o cálculo da frequência mínima para diferentes materiais. Os alunos foram divididos em duplas, as quais receberam uma ficha de aplicação, em que constavam atividades para o cálculo do h de Planck. Além de realizarem tal cálculo eles também deveriam apresentar o procedimento de realização, expondo o número de tentativas, erros, quantidade de vezes que reiniciaram a atividade e os valores encontrados para cada material.

Durante o 1º momento do experimento, foram ministrados todos os conceitos envolvidos na resolução da atividade, inclusive com a apresentação de situações cotidianas que envolviam o problema, além de exercícios que demonstravam os procedimentos de realização da tarefa. No experimento um dos quesitos pesquisados é se as duplas foram capazes de lembrar desta resolução e melhorá-la para o caso do cálculo da constante. Ou seja, trata-se de um caso de aplicação dos conceitos já estudados.

No 2º momento do trabalho, após a divisão dos alunos, cada dupla teve a chance de testar inicialmente o OA que seria utilizado, explorando seus recursos e conhecendo as principais ferramentas de trabalho. De acordo com as regras do experimento, os mediadores da aplicação poderiam intervir para esclarecer alguma dúvida dos estudantes no que se referisse ao uso do OA pato quântico. Porém, isso deveria ocorrer apenas, nos casos em que, acompanhando as duplas o mediador notasse que os mesmos estivessem com dificuldades

na manipulação dos recursos disponíveis no OA, ou até mesmo na utilização do computador. Em relação às estratégias e procedimentos de resolução da atividade de modelagem, cada dupla deveria realizar seu trabalho individualmente, de tal forma que, duas ou mais duplas não trocassem estratégias ou soluções para a realização do trabalho. Neste sentido, ficou estabelecido também que os alunos poderiam trocar sim, idéias e experiências sobre o uso do OA, criando assim um ambiente de trabalho ético e colaborativo.

No 3º e último momento do experimento, foi realizada a atividade de modelagem exploratória a partir do OA. Após o recebimento das fichas em que os alunos deveriam registrar todos os dados da modelagem, as duplas iniciaram seus trabalhos. À medida que cada dupla finalizava sua atividade, os mesmos recebiam um dossiê avaliativo (Anexo 1) na forma de múltipla escolha, em que os alunos avaliaram como tinha sido a experiência do uso do OA para o ensino de física.

Após a conclusão do experimento, foi realizada a análise dos dados, descrita a seguir.

4. Discussão dos resultados

A análise foi realizada sob duas óticas: o trabalho de modelagem com o uso do pato quântico e a avaliação de usabilidade deste OA para o ensino de física. As duas próximas seções apresentam uma análise (qualitativa e quantitativa) das fichas de atividades das duplas e dos resultados obtidos com o dossiê avaliativo.

4.1. Análise dos dados da atividade de modelagem

A Tabela 1 é uma compilação dos dados coletados relevantes à análise de como se deu a atividade realizada por cada dupla de alunos. A legenda cál, cés, pot, sód, Pla, correspondem aos materiais utilizados para realizar o cálculo da constante de Planck. A partir destes dados podemos verificar os valores encontrados por cada uma das duplas de alunos da referida constante procurada. Além disso, verificamos o tempo gasto em minuto para a realização deste cálculo por material, além do seu número de tentativas e o número de erros.

Tabela 1 - Dados coletados das atividades de modelagem.

Alunos	Valores calculados da constante de Planck (10^{-15} eV.s)					Tempo gasto para a realização do cálculo (em minutos)				
	Cál	Cés	Pot	Sód	Pla	Cál	Cés	Pot	Sód	Pla
Dupla 1	4,14	4,13	4,14	4,14	4,14	3	10	4	2	3
Dupla 2	4,14	4,14	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Dupla 3	4,13	4,125	5,56	5,52	1,537	5	10	3	2	7
Dupla 4	4,14	4,14	4,15	NR	NR	5	6	2	NR	NR
Dupla 5	4,14	4,14	4,15	4,14	4,3	3	3	3	NR	2
Dupla 6	4,14	4,14	NR	NR	NR	6	8	NR	NR	NR
Dupla 7	4,12	4,12	NR	NR	NR	9	5	NR	NR	NR
Dupla 8	4,12	4,12	4,15	4,13	1,53	8	5	3	10	12
Dupla 9	4,137	4,125	4,137	NR	NR	14	9	9	NR	NR
Dupla 10	4,14	4,13	NR	NR	NR	7	10	NR	NR	NR
Dupla 11	4,13	4,1257	4,1366	4,13	NR	6	12	3	NR	NR
Dupla 12	4,13	4,12	4,12	3,69	NR	8	3	2	2	NR
Dupla 13	4,14	4,14	4,13	4,14	1,5	14	20	5	5	20
Dupla 14	4,13	NR	NR	4,13	1,534	2	NR	NR	2	6
Dupla 15	4,14	4,14	NR	NR	NR	5	10	NR	NR	NR
Dupla 16	4,1	4,1	NR	NR	NR	4	2	NR	NR	NR

Alunos	Numero de tentativas por material					Numero de erros por material				
	Cál	Cés	Pot	Sód	Pla	Cál	Cés	Pot	Sód	Pla
Dupla 1	8	10	6	2	2	3	4	3	NR	1
Dupla 2	7	6	NR	NR	NR	5	5	NR	NR	NR
Dupla 3	4	7	NR	NR	9	2	7	NR	NR	4
Dupla 4	8	8	6	NR	NR	2	3	2	NR	NR
Dupla 5	3	3	3	3	3	1	2	3	1	3
Dupla 6	8	11	NR	NR	NR	7	8	NR	NR	NR
Dupla 7	NR	7	NR	NR	NR	NR	2	NR	NR	NR
Dupla 8	NR	7	7	14	12	NR	2	4	8	5
Dupla 9	3	3	NR	NR	NR	2	1	NR	NR	NR
Dupla 10	9	8	NR	NR	NR	4	5	NR	NR	NR
Dupla 11	2	16	4	2	NR	1	5	3	1	NR
Dupla 12	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Dupla 13	6	9	14	10	17	1	2	6	7	13
Dupla 14	2	NR	NR	2	14	1	NR	NR	1	14
Dupla 15	4	12	NR	NR	NR	2	5	NR	NR	NR
Dupla 16	5	NR	NR	NR	NR	0	NR	NR	NR	NR

Como exemplo, podemos analisar os dados apresentados pela Dupla 1 usando no cálculo o material sódio. Nesta situação, estes alunos encontraram um valor de aproximadamente $4,14 \times 10^{-15}$ eV.s para a constante de Planck em um tempo de aproximadamente 2 minutos, realizando 2 tentativas e não responderam (NR) ao número de erros que cometeram para a resolução desta constante.

Por meio da Tabela 1 é possível comparar também o desenvolvimento dos alunos em cada uma das atividades com um material específico. Um exemplo disso ocorre quando comparamos o cálculo dos valores da Constante de Planck para o cálcio e célio. Verifica-se que a maioria das duplas não obteve dificuldade em determinar o valor que deveria ser alcançado. Já para o caso da platina a maioria das duplas não apresentou resposta para esta questão. Analisando as variáveis tempo, erro e tentativa para estes mesmos materiais, percebe-se que este comportamento é mantido. Esta observação pode ser alcançada a partir da análise de qualquer dupla. Tomando como exemplo a Dupla 9, temos o seguinte cenário: (a) o cálculo da constante de Planck usando os materiais cálcio, célio e potássio foram alcançados com êxito (aproximadamente $4,14 \times 10^{-15}$ eV.s) diferentemente dos demais materiais que não foram respondidos (NR); (b) quando comparamos o tempo gasto no desenvolvimento da atividade, percebe-se que nos materiais iniciais este tempo é elevado e tem uma tendência a diminuir. Entretanto, ao compararmos com a platina estes valores também não foram informados pelas duplas; (c) o número de tentativas/erros são pequenos para os dois materiais iniciais, já para os demais estas informações não são disponibilizadas pela dupla.

A média dos valores encontrados pelos alunos durante todo o experimento pode ser vista no gráfico da Fig. 2. O gráfico mostra que o CMCP (◆) - cálculo médio da constante de Planck para o cálcio, o célio, o potássio e o sódio apresentados pelas duplas foi de aproximadamente $4,14 \times 10^{-15}$ eV.s e que apenas para a platina este valor foi de $2,8 \times 10^{-15}$ eV.s. Estes valores decorrem do fato de que, quando apresentamos os exercícios iniciais demonstrando os procedimentos de realização da tarefa de modelagem, os alunos utilizaram o mesmo procedimento para a realização da tarefa, com o cálcio, o célio, o potássio e o sódio. Porém para o cálculo da constante na platina, o objetivo era determinar a frequência mínima e não o valor de h . Esta situação nova pela qual os estudantes demoraram a perceber acabou sendo um fator comprometedor no desenvolvimento da modelagem de cada equipe. Este desafio foi planejado propositalmente, para que realizássemos observações dos comentários e estratégias utilizadas pelas duplas.

Verificou-se ainda que o TMCC (■), que é o tempo médio para o cálculo da constante foi maior quando os alunos desenvolveram as atividades para o cálcio (6,4

minutos) e o célio (8,13 minutos) e que estes valores reduziram bastante no cálculo do potássio e do sódio, chegando a 3,4 e 3,57 minutos respectivamente. Acreditamos que nestes casos o tempo foi maior para os primeiros materiais (cálcio e célio), pois os alunos ainda estavam se familiarizando com o ambiente e no decorrer da atividade o tempo foi sendo reduzido. Porém, para a platina percebeu-se um aumento bastante acentuado, em que foram gastos em média 8,33 minutos para a determinação da constante, isto devido à situação desafio citada acima.

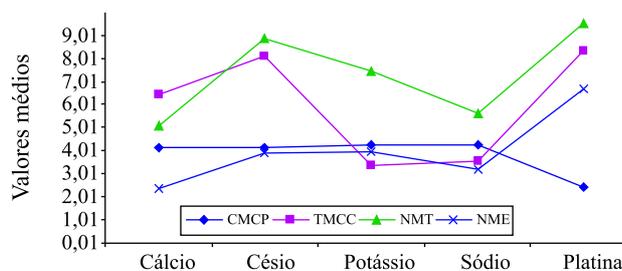


Figura 2 - Gráfico da média dos valores encontrados pelos alunos.

Através do gráfico da Fig. 2, podemos ainda analisar o número de tentativas e de erros de cada dupla para determinar a constante dos materiais disponíveis no software. No NMT (▲) - número médio de tentativas para a realização da atividade proposta, percebe-se que o cálcio foi o material em que as duplas tiveram menos trabalho para realizar o cálculo, com apenas 5,1 tentativas. Já para os outros materiais, estes valores foram 8,86 (célio), 7,49 (potássio) e 5,6 (sódio). No entanto, podemos ainda verificar através dos gráficos, que no caso da platina o número médio de tentativas para resolver a atividade é bem maior do que os demais (9,5). No que se refere ao NME (×) - número médio de erros no desenvolvimento dos problemas propostos verificamos que o cálcio (2,4) foi o material em que os alunos cometeram um menor número de erros. É perceptível no gráfico que a platina apresenta-se como o material pelo qual os alunos erraram mais (cerca de 6,1 vezes). Para os outros materiais como o célio (3,8), o potássio (3,85) e o sódio (2,98), o erro ficou dentro da média esperada.

4.2. Análise do dossiê avaliativo do OA

O dossiê avaliativo permitiu diagnosticar a opinião dos alunos sobre o OA utilizado no experimento. As questões foram apresentadas na Fig. 3.

O gráfico da Fig. 3 mostra que para a maioria dos estudantes (54%) a principal proposta do OA utilizado durante o experimento era a compreensão do efeito fotoelétrico. Para cerca de 27% deles a proposta principal do software é apenas calcular a constante de Planck e para a minoria (19%) o objetivo é estudar o conceito de frequência mínima. Este gráfico mostra que os alunos compreenderam a proposta do *pato quântico* para

o ensino de física quântica e não simplesmente para a realização do cálculo de uma constante.

Na sua opinião, qual foi a proposta do OA utilizado?

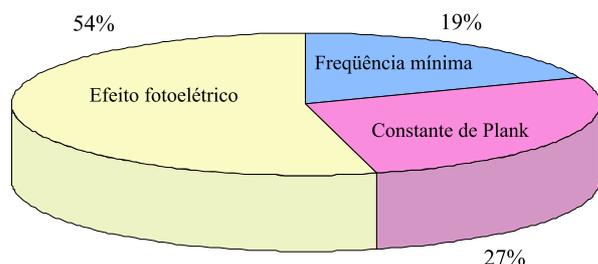


Figura 3 - Gráfico do uso de OA na opinião dos alunos.

A partir da Fig. 4, podemos perceber que na opinião da maioria dos alunos (88%) que participaram do experimento, o OA pato quântico é um objeto motivador para aprender o conteúdo e que apenas 12% acham que não.

O gráfico da Fig. 5, é uma outra representação relevante do Dossiê aplicado com os alunos, no qual demonstra que para a maioria dos estudantes (57%) a Interatividade é o principal motivo da viabilidade desse OA para o ensino de física. Porém, 31% dos alunos acham que pelo fato de ser divertido o OA permite uma melhor aprendizagem dos conteúdos de física e apenas 12% acham que a principal razão da importância deste tipo de ferramenta é o estímulo que o uso de software provoca nos alunos. Os gráficos acima são apenas uma amostra dos dados coletados durante toda a aplicação junto aos estudantes.

Ao utilizar o OA, você sentiu-se motivado para aprender o conteúdo?

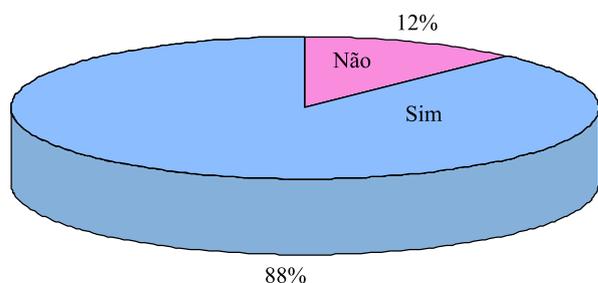


Figura 4 - OA na aprendizagem.

Por que você gostou desse OA para ensinar física?

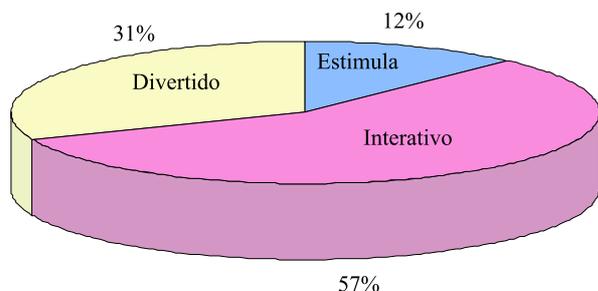


Figura 5 - OA no ensino de física.

A Tabela 2 apresenta os resultados de todas as questões presentes no dossiê avaliativo. Os resultados das perguntas 2, 3, 8 e 11 demonstram que a maior parte dos usuários consideram viável o uso desta tecnologia no processo de ensino-aprendizagem do conteúdo proposto. Já as questões 1 e 4 apresentam resultados que nos levam a concluir que para os usuários a proposta de trabalho com o conteúdo exposto no OA ficou bem objetiva. No que se refere a usabilidade deste recurso as respostas alcançadas com a pergunta 7 demonstram a objetividade e fácil navegabilidade.

Tabela 2 - Resultados do dossiê avaliativo.

Resultados	
Perguntas	Percentual das respostas
1. Em sua opinião qual a Proposta do OA utilizado?	54% - Efeito fotoelétrico 27% - Cálculo da constante de Planck 19% - Cálculo da frequência mínima
2. Você gostou de utilizar este OA para física?	95% - Sim 5% - Não
3. Por quê? (caso sim na Pergunta 2). Porque ele é:	31% - Ensina divertindo 57% - Interativo e dinâmico 12% - Estimula a aprendizagem
4. Que conceitos puderam ser trabalhados por você no uso deste OA?	25% - Frequência do fóton 24% - Função do trabalho 51% - Constante de Planck
5. As informações contidas neste OA foram suficientes para utilizá-lo?	75% - Sim 25% - Não
6. Você conseguiu realizar todas as atividades proposta para este?	60% - Sim 40% - Não
7. A navegação deste OA permite liberdade de exploração?	98% - Sim 2% - Não
8. Este OA é fácil de ser utilizado?	95% - Sim 5% - Não
9. Ao utilizar o OA, você se sentiu motivado para aprender o conteúdo:	12% - Sim 88% - Não
10. O OA adapta-se ao seu ritmo de aprendizagem em física?	80% - Sim 20% - Não
11. O OA atendeu as suas expectativas quanto ao ensino de física pelo computador?	90% - Sim 10% - Não

4.3. Análise qualitativa do OA na modelagem exploratória

Na interação aluno/software foram evidenciadas as características do pato quântico como um modelo de OA de simulação com concepção construtivista, que busca a não-linearidade e procura fazer uso de metáforas, e que, com sua interface intuitiva, trabalha aspectos lúdicos característicos dos jogos. Nesta interação, pode-se, também, suscitar questionamentos acerca da dualidade onda-partícula e quantização de energia, com a hipótese da proporcionalidade entre energia e frequência, estendida por Einstein ao espectro eletromagnético.

A arquitetura deste OA é baseada na não-linearidade, ou seja, não apresenta uma seqüência temporal de ações. Isso fica comprovado quando se observa que os alunos iniciaram suas ações por onde eles quiseram: municiando o fóton-canhão com o número de fótons-bala que desejavam, variando o cursor de frequência conforme sua vontade, trocando o material do poleiro quântico, e, ou mesmo, acessando links na Internet, indicados no software.

Como forma de provocar situações de conflito entre as idéias prévias da física clássica, que os alunos já possuem, e os novos modelos quânticos a serem construídos, constatou-se durante esta experiência de ensino que os objetos de aprendizagem podem ser um caminho prazeroso de descobertas e uma via de facilitação do desenvolvimento cognitivo nessas mudanças conceituais.

Ao longo da interação com o OA, os alunos manifestavam suas dúvidas acerca de dualidade onda-partícula, fótons e energia. Além disso, ao calcularem a constante de Planck nos metais disponíveis, os alunos indicaram satisfação, curiosidade e espírito investigativo. Tal fato evidencia que o OA pode colaborar com a formação de conceitos relacionados a modelos e/ou objetos quântico.

5. Considerações finais

Os dados coletados no experimento por meio das atividades de modelagem, apontam que o ensino mediado por um OA a partir da modelagem exploratória, apesar de não ser uma metodologia familiar aos alunos, revela ser acessível ao ensino de alguns conceitos físicos. Observou-se ainda que os estudantes conseguiram manipular o modelo para o cálculo do h para diferentes materiais, com uma quantidade de erros mínima e em tempo razoavelmente pequeno. Tem-se, no entanto que, para o caso da platina, os valores encontrados divergem do valor esperado. Este fato pode ser justificado pelas

características da atividade, que buscou por meio deste material uma situação desafio, em que os estudantes deveriam refletir antes de apresentar uma possível solução do problema. Contudo, a maior parte dos cálculos realizados na atividade de modelagem apresentou comportamento próximo do esperado quando foram simulados no OA, uma vez que os valores encontrados a partir de atividades de modelagem exploratória também são suscetíveis a pequenos erros no processo de construção dos modelos.

Através dos dados apresentados no Dossiê de Avaliação, podemos perceber que a maioria dos estudantes compreendeu a proposta do trabalho realizado, apontando que o objetivo da atividade tinha como enfoque a compreensão do efeito fotoelétrico e não apenas o cálculo da frequência mínima ou mesmo da constante de Planck.

Enfim, a interação dos estudantes com o software resultou em uma aprendizagem significativa do fenômeno efeito fotoelétrico, com eficiente transposição didática dos conteúdos e o fortalecimento de mudanças conceituais.

Por se tratar de um ambiente de experimentação na forma de um jogo, o pato quântico é atrativo e pode levar à aprendizagem com satisfação. Entretanto, nenhum recurso pedagógico, por si só, será suficiente, uma vez que é necessário o engajamento por parte dos outros atores do cenário pedagógico, visando transformar a sala de aula em um espaço mais motivador.

Portanto, por meio da modelagem exploratória, objetos de aprendizagem podem apresentar-se como uma ferramenta de auxílio ao professor em sala de aula, colaborando para desmitificar a aprendizagem em física, considerada difícil, e possibilitando uma melhor compreensão dos fenômenos quânticos.

A metodologia ora apresentada pode auxiliar na construção dos novos modelos físicos, decorrentes da física quântica e possibilitar o que há cem anos, só era possível por meio de experimentos *Gedanken*, como sugeria Einstein em seus ensaios de pensamento.

Por fim, este estudo gerou resultados que contribuíram para o delineamento e o desenvolvimento de metodologias voltadas ao ensino de física por meio de atividades de modelagem exploratória em ambientes computacionais. Destacamos ainda, como trabalhos futuros, a comparação dos resultados alcançados por cada dupla neste experimento, além da realização de novas pesquisas utilizando outros objetos de aprendizagem no contexto do ensino de física.

6. Anexo 1

Dossiê avaliativo do OA aplicado aos alunos.

Dossiê avaliativo de objeto de aprendizagem – pato quântico	
Perguntas	Opções de respostas
1. Em sua opinião qual a Proposta do OA utilizado?	a. <input type="checkbox"/> Efeito fotoelétrico b. <input type="checkbox"/> Cálculo da constante de Planck c. <input type="checkbox"/> Cálculo da frequência mínima
2. Você gostou de utilizar este OA para física?	a. <input type="checkbox"/> Sim b. <input type="checkbox"/> Não
3. Por quê? (caso sim na Pergunta 2). Porque ele é:	a. <input type="checkbox"/> Ensina divertindo b. <input type="checkbox"/> Interativo e dinâmico c. <input type="checkbox"/> Estimula a aprendizagem
4. Que conceitos puderam ser trabalhados por você no uso deste OA?	a. <input type="checkbox"/> Frequência do fóton b. <input type="checkbox"/> Função do trabalho c. <input type="checkbox"/> Constante de Planck
5. As informações contidas neste OA foram suficientes para utilizá-lo?	a. <input type="checkbox"/> Sim b. <input type="checkbox"/> Não
6. Você conseguiu realizar todas as atividades proposta para este?	a. <input type="checkbox"/> Sim b. <input type="checkbox"/> Não
7. A navegação deste OA permite liberdade de exploração?	a. <input type="checkbox"/> Sim b. <input type="checkbox"/> Não
8. Este OA é fácil de ser utilizado?	a. <input type="checkbox"/> Sim b. <input type="checkbox"/> Não
9. Ao utilizar o OA, você se sentiu motivado para aprender o conteúdo?	a. <input type="checkbox"/> Sim b. <input type="checkbox"/> Não
10. O OA adapta-se ao seu ritmo de aprendizagem em física?	a. <input type="checkbox"/> Sim b. <input type="checkbox"/> Não
11. O OA atendeu as suas expectativas quanto ao ensino de física pelo computador?	a. <input type="checkbox"/> Sim b. <input type="checkbox"/> Não

Referências

- [1] Ministério da Educação e do Desporto, *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*, (MEC/SENTEC, Brasília, 1999).
- [2] Ministério da Educação e do Desporto, *PCNs+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais, Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias* (MEC/SENTEC, Brasília, 2002).
- [3] F. Ostermann e M.A. Moreira, *Investigações em Ensino de Ciências* **5**, 1 (2000).
- [4] I. Arriasecq e I. M. Greca, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* **3**, 1 (2004). Disponível em http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen3/Numero2/ART7_Vo13_N2.pdf Acesso em 18/6/2005.
- [5] E.C. Ricardo, *Física na Escola* **4**(1), 8 (2003).
- [6] N. Studart, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **25**, 257 (2003).
- [7] A. Chaves e R.C. Shellard, *Física para o Brasil: Pensando o Futuro. O Desenvolvimento da Física e sua Inserção na Vida Social e Econômica do País* (Sociedade Brasileira de Física, São Paulo, 2005).
- [8] F.F. de Oliveira, D.M. Vianna e R.S. Gerbassi, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **29**, 447 (2007).
- [9] G.L. Sales, J.A. de Castro Filho, C.R. de O. e Silva, R.S.T. Vieira, in *Atas do II Congresso Nacional de Ambientes Hipermídia para Aprendizagem* (CONAHPA, Florianópolis, 2006).
- [10] R.R. Oliveira, *O Estudo da Modelagem Qualitativa Através do Fenômeno de Difusão de Gás: Um estudo Exploratório com Estudantes Universitários*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo, 2006.
- [11] L. Vygotsky, *A Formação Social da Mente: O Desenvolvimento dos Processos Psicológicos Superiores*, Organizado por Michael Cole et al. (Ed. Martins Fontes, São Paulo, 1998), 6^a ed.
- [12] L. Vygotsky, *Pensamento e Linguagem* (Ed. Martins Fontes, São Paulo, 1998), 2^a ed.
- [13] M.A. Moreira, *Aprendizagem Significativa* (Editora Universidade de Brasília, Brasília, 1999).
- [14] M.A. Moreira, *Pesquisa em Ensino: Aspectos Metodológicos e Referenciais Teóricos à Luz do Vê Epistemológico de Gowin* (Ed. EPU, São Paulo, 1990).
- [15] N.L. Cardoso, *A Utilização do Software Educacional de Simulação e Modelagem “Interactive Physics” como Instrumento de Promoção da Aprendizagem*

- gem Significativa de Conceitos de Física: Uma Investigação Pedagógica a Partir da Proposição de Situações-Problema. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.
- [16] J. de S. Nogueira, C. Rinaldi, J. M. Ferreira e S.R. de Paulo, Revista Brasileira de Ensino de Física **22**, 517 (2000).
- [17] H.D. Young and R. A. Freedman, *Sears e Zemansky, Física I: Mecânica* (Addison Wesley, São Paulo, 2003), 10^a ed.
- [18] A. Medvediev, in *Após Vygotsky e Piaget: Perspectiva Social e Construtivista. Escolas Russa e Ocidental*, editado por C. Garnier, N. Bednarz, I. Ulanovskaya et al. (Ed. Artes Médicas, Porto Alegre, 1996), p. 169-175.
- [19] M.A. Moreira e A.O. Pinto, Revista Brasileira de Ensino de Física **25**, 127 (2003).
- [20] R. Tavares, Revista Ciências & Cognição **13**, 94 (2008). Disponível em <http://www.fisica.ufpb.br/~romero/pdf/2008ASECiencias.pdf>. Acesso em 23/5/2008.
- [21] D.W. Carraher, in Alencar, *Novas Contribuições da Psicologia aos Processos de Ensino e Aprendizagem*, editado por Eunice M.S. Soriano (Ed. Cortez, São Paulo, 2001), 4^a ed.
- [22] A.C. Ramal, *Educação na Cibercultura: Hipertextualidade, Leitura, Escrita e Aprendizagem* (Ed. Artmed, Porto Alegre, 2002).
- [23] G.L. Sales, *Quantum: Um Software para Aprendizagem dos Conceitos da Física Moderna e Contemporânea*. Dissertação de Mestrado, CEFET-CE, (2005). Disponível em http://www.redenet.edu.br/publicacoes/arquivos/20060828_142921.Dissertacao%20-%20CEFET-CE%20-%20Gilvandenys.pdf Acesso em 22/5/2008.
- [24] D.I. Machado e R. Nardi, Revista Brasileira de Ensino de Física **28**, 473 (2006).
- [25] Software Modellus, disponível em <http://modellus.fct.unl.pt/>. Acesso em 10/6/2008.
- [26] Software NetLogo, disponível em <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. Acesso em 10/6/2008.
- [27] *Interactive Physics*, Disponível em <http://www.design-simulation.com/ip/index.php>. Acesso em 10/6/2008.
- [28] IEEE Learning Tecnology Standard Committee (LTSC), in: WG12 - Learning Object Metadata. Disponível em <http://ieeeltsc.org/>. Acesso em 10/1/2006.
- [29] D.A. Willey. *Connecting Learning Objects to Instructional Design Theory: A Definition, a Metaphor, and a Taxonomy* (2002). Disponível em <http://reusability.org/read/chpters/wiley.doc>. Acesso em 10/1/2006.
- [30] L.M.R. Tarouco, M.L.P. Konrath, M.J.S. Carvalho e B.G. Avila, Revista Novas Tecnologias na Educação **1**, 1 (2006). Disponível em http://www.cinted.ufrgs.br/renote/jul2006/artigosrenote/a20_21173.pdf. Acesso em (23/5/2008).
- [31] L.M.A. Santos, M.L.P. Flores e L.M.R. Tarouco, Revista Novas Tecnologias na Educação **5**, 1 (2007). Disponível em <http://www.cinted.ufrgs.br/renote/dez2007/artigos/4dMaria%20Flores.pdf>. Acesso em 24/5/2008.
- [32] A.C. Nascimento, (2005). *Construindo Comunidades de Elaboradores de Objetos de Aprendizagem através de Conteúdo, Tutoria e Interação dos Pares*. Disponível em http://www.rived.mec.gov.br/site_objeto.lis.php. Acesso em 9/6/2007.
- [33] J.A. Castro Filho, in Atas do IX Encontro Nacional de Educação Matemática (ENEM), Belo Horizonte, 2007.
- [34] H. Mellar and J. Bliss, in *Learning with Artificial Worlds: Computer-Based Modelling in the Curriculum*, edited by H. Mellar, J. Bliss, R. Boohan, J.T. Ogborn (The Falmer Press, London & Washington D.C., 1994), chap. 1, p. 1-7.
- [35] Objeto de Aprendizagem Pato Quântico. Disponível em http://gilvandenys.cefetce.br/0a/Pato/oa_patos.swf. Acesso em 22/5/2008.