

# INTERATIVIDADE EM RECURSOS COMPUTACIONAIS APLICADOS AO ENSINO-APRENDIZAGEM DE FÍSICA<sup>1</sup>

Ives Solano Araujo<sup>2</sup> e Eliane Angela Veit<sup>3</sup>  
Instituto de Física, UFRGS

É consenso nos dias atuais que a interatividade desempenha um papel decisivo no processo de ensino-aprendizagem, sendo dada especial ênfase à sua importância para o engajamento do aluno em atividades voltadas para a construção de seu próprio conhecimento. Não menos importante, mas muitas vezes considerada como intrínseca e automática, é a reflexão crítica sobre a matéria de estudo. Neste artigo focamos nossa atenção na potencialidade da interatividade em atividades de simulação e modelagem computacionais aplicadas ao ensino de Física como meio para fomentar aprendizagens significativas.

## I. Introdução

O engajamento do estudante com seu próprio aprendizado é, consensualmente, um dos fatores mais importantes envolvidos no processo de ensino-aprendizagem (e.g., Redish e Wilson (1993) e Hake (1998)). É a partir do seu envolvimento ativo, que o aluno torna-se co-responsável desse processo, podendo, desejavelmente, desenvolver habilidades relacionadas à metacognição, ou seja, aprendendo a aprender. Obviamente, essa é uma estrada longa, e para que possamos auxiliá-lo em sua caminhada, é preciso que nós, professores, tenhamos em mente a íntima relação entre o engajamento cognitivo e as possibilidades de interação dos estudantes entre si, com o professor e com o material didático. No presente trabalho, discutiremos brevemente o papel da interatividade possibilitada por certo tipo de recurso didático, mais especificamente, o computador.

Antes de prosseguirmos nessa discussão, é preciso que delimitemos o significado particular que adotamos para o polissêmico termo *interatividade*. Neste texto interatividade refere-se às possibilidades de interação do aprendiz, centro do processo educativo, com recursos computacionais, ferramentas auxiliares desse processo. Esses recursos englobam a exploração de simulações computacionais (atividades exploratórias), bem como o processo de construção das mesmas (atividades expressivas). Apesar de nos restringirmos à Física, área de nossa atuação, muitas das idéias que apresentaremos podem ser transpostas para as Ciências Naturais e para a Matemática por especialistas das respectivas áreas.

---

<sup>1</sup> Trabalho publicado nos Anais da 14ª Jornada Nacional de Educação. Santa Maria : Editora da Unifra, 2008.

<sup>2</sup> E-mail: ives@if.ufrgs.br

<sup>3</sup> E-mail: eav@if.ufrgs.br

Tendo em vista as diversas acepções que podem ser encontradas na literatura para os termos animação, simulação, modelo e modelagem computacionais, faz-se necessário também uma explicitação dos significados que a eles atribuímos:

- *modelagem computacional* é o processo de construção, implementação e uso de uma simulação (modelo) computacional, a partir, principalmente, de modelos lógicos (regras lógicas), matemáticos (equações) ou icônicos (metafóricos). A construção de simulações computacionais com os aplicativos *Worldmaker*, *Modellus* e *Powersim*, respectivamente, ilustra esse processo;
- *simulações computacionais*, sinônimo de modelos computacionais, são versões computacionais de representações de conceitos fatuais (com base empírica) ou formais (matemáticos);
- *animações computacionais* são representações gráficas de elementos visuais em movimento.

A interatividade dos estudantes com os recursos computacionais pode ser explicitada a partir da distinção entre atividades exploratórias e expressivas, feita anteriormente. Nas atividades exploratórias, o aluno recebe pronta uma animação ou simulação computacional e, dependendo do recurso usado, pode alterar parâmetros, valores iniciais e tipos de relações entre variáveis para explorar suas conseqüências (simulações) ou apenas controlar a execução, com ações do tipo iniciar, parar, pausar, avançar ou retroceder rápida ou lentamente (animações).

Nas atividades expressivas a interatividade é maior, pois o aluno constrói seu próprio modelo computacional a partir dos elementos mais básicos oferecidos pela ferramenta utilizada para implementá-lo computacionalmente, tais como os “tanques” e “torneiras” no *Powersim*, a inserção de equações “manuscritas” no *Modellus* e as funções e rotinas pertencentes à sintaxe de linguagens de programação como o *StarLogo*.

Embora tenhamos destacado a importância da interatividade como forma de promover o engajamento cognitivo dos estudantes nas tarefas trabalhadas, salientamos que esse não é um fim em si. Discutiremos nas seções seguintes as condições que precisam ser satisfeitas por atividades com recursos computacionais para que auxiliem os alunos na aprendizagem de conteúdos de Física. Para tanto, apresentamos algumas das vantagens e desvantagens apontadas na literatura no uso de simulações computacionais como auxiliares para a aprendizagem de Física, incluindo uma reflexão crítica sobre os perigos do uso indiscriminado de animações e simulações computacionais no ensino (seção II). Na seqüência (seção III), respondemos à seguinte questão: como fazer para que as vantagens apontadas no

uso de simulações computacionais se reflitam na aprendizagem significativa de conteúdos específicos? E apresentamos nossos comentários finais.

## II. Vantagens e desvantagens no uso de simulações computacionais

Desde o advento do uso de simulações computacionais no ensino muitas justificativas têm surgido para o seu uso. Por exemplo, em sua tese de doutorado Gaddis (apud MEDEIROS e MEDEIROS, 2002) fez um vasto levantamento das vantagens apontadas na literatura para o uso de simulações no ensino de Ciências e algumas delas são:

- permitir aos estudantes gerarem e testarem hipóteses;
- engajar os estudantes em tarefas com alto nível de interatividade;
- envolver os estudantes em atividades que explicitem a natureza da pesquisa científica;
- apresentar uma versão simplificada da realidade pela destilação de conceitos abstratos em seus mais importantes elementos;
- tornar conceitos abstratos mais concretos;
- reduzir a ambigüidade e ajudar a identificar relacionamentos de causas e efeitos em sistemas complexos;
- desenvolver habilidades de resolução de problemas;
- promover habilidades do raciocínio crítico;
- fomentar uma compreensão mais profunda dos fenômenos físicos;
- auxiliar os estudantes a aprenderem sobre o mundo natural, vendo e interagindo com os modelos científicos subjacentes que não poderiam ser inferidos através da observação direta. (ibid., p. 80)

Essas são, indiscutivelmente, características desejáveis, que poderiam ser apontadas como objetivos específicos a serem atingidos no uso das simulações computacionais como auxiliares a aprendizagens significativas em Ciências. Porém, muitas das simulações que encontramos disponíveis na *internet*, por exemplo, costumam oferecer pouquíssimos recursos de interatividade e, não raro, quando usadas em sala de aula, não apresentam várias (e por vezes sequer uma única) dessas características. E ainda, mesmo que seja alta a correlação entre uma dessas características desejáveis e as simulações em si, o uso que dela se faz é que determinará o alcance ou não do respectivo objetivo específico. Logo, não basta termos boas ferramentas em mãos, se não as usarmos de forma coerente. Em outras palavras, usar de forma acrítica simulações, como alertado por Medeiros e Medeiros (2002), entre outros, pode trazer poucos benefícios ou até mesmo, prejuízos ao ensino. Tendo em vista que em nossa atividade de ensino, os modelos computacionais estudados tencionam em última instância a representação de objetos e fenômenos supostos como reais, diversos pontos precisam ser destacados. Em particular, os autores supracitados apontam:

Seria primordial notar-se que um sistema real é freqüentemente muito complexo e as simulações que o descrevem são sempre baseadas em modelos que contém, necessariamente, simplificações e aproximações da realidade. (ibid., p. 80)

Pressupostos contidos nas necessárias simplificações que fundamentam os modelos, nos quais as simulações estão baseadas, passam freqüentemente despercebidos pelos estudantes e mesmo por muitos professores. (...) Toda animação está baseada em uma modelagem do real. Se essa modelagem não estiver clara para professores e educandos, se os limites de validade do modelo não forem tornados explícitos, os danos potenciais que podem ser causados por tais simulações são enormes. Tais danos tornar-se-ão ainda maiores se o modelo contiver erros grosseiros. (ibid., p. 81)

Ora, tais pertinentes comentários são igualmente apropriados às aulas tradicionais, que reduzem a Física à mera aplicação de fórmulas, empregadas sem qualquer discussão preliminar sobre pressupostos assumidos e o contexto de validade dos resultados, nem mesmo sobre o papel dos modelos e do processo de modelagem no desenvolvimento científico. Nesse sentido, as questões levantadas, ainda que absolutamente oportunas, não estão particularmente associadas aos recursos computacionais em si, mas remetem à necessidade de se rever o ensino de Física de modo a contemplar a contextualização. Nas palavras de Brandão, Araujo e Veit:

...estratégias didáticas baseadas na noção e uso de modelos surgem como alternativas para inserção de conteúdos de natureza epistemológica que, imbricados com conteúdo de física, propiciam aos alunos uma visão mais holística sobre a natureza e a construção do conhecimento científico (2008, p. 10).

Consideramos que as atividades exploratórias, e especialmente as expressivas, podem se constituir em proficuo meio na consecução desse objetivo, desde que fomentem a reflexão do aluno sobre as relações entre a teoria em estudo e a simulação computacional à sua disposição ou em construção.

Ainda em relação ao uso de simulações computacionais no ensino de Física, conforme apontamos em outro trabalho (ARAUJO, VEIT e MOREIRA, 2007), o entusiasmo diante das possibilidades oferecidas por recursos tecnológicos pode muitas vezes ultrapassar seu potencial didático. Parte-se do falso pressuposto que certas representações visuais “falam por si” e que assim como somos capazes de enxergar os conteúdos físicos que as embasam, os alunos de pronto também o podem, bastando visualizá-las para que o entendimento do conteúdo emerja. Salientamos uma vez mais, que tão importante quanto ter uma boa ferramenta para promover o aprendizado é saber usá-la adequadamente, e no caso da simulação e da modelagem computacionais é necessário incentivar os alunos a pensarem reflexivamente sobre aquilo que estão fazendo, sob o risco de tornar nossas estratégias nada mais do que simples jogos de entretenimento para os estudantes (ibid, p. 505).

Nessa breve apresentação de potencialidades e limitações das simulações no ensino de Ciências, ignoramos a discussão sobre seu uso em substituição a experiências de laboratório em geral porque, além de o considerarmos inapropriado, nosso foco está no papel

das simulações como representações de modelos teóricos. Passamos então à discussão de características desejáveis em simulações computacionais apropriadas para o ensino de Física.

### **III. Como fazer para que as vantagens apontadas se reflitam na aprendizagem?**

Por mais de duas décadas tem sido reiteradamente apontada na literatura a visão equivocada de alunos e professores de Física sobre a construção do conhecimento científico (e.g. Gil-Pérez et al. (2001) e sua extensa relação de referências). Uma das mais marcantes conseqüências em sala de aula dessa distorção é a destacada ênfase atribuída ao chamado empirismo-indutivismo no trabalho experimental, que, em síntese, considera que o conhecimento científico emana da observação atórica dos fatos, através de um “método científico”, que resulta na “descoberta” de “perenes” leis científicas. Outra destacada conseqüência que avilta a “aula teórica” é a lacuna existente entre os modelos teóricos abordados e a realidade que se pretende descrever, reduzindo-se o ensino à aplicação de valores numéricos em fórmulas decoradas. Não podemos aqui estender essa discussão, porém, é imperioso que se realce o papel dos modelos e da modelagem científica como elo entre a teoria e a realidade<sup>4</sup>, pois são também os modelos que fazem a mediação entre a teoria e a simulação computacional.

Em relação ao uso de modelos, é importante distinguir três aspectos (BUNGE, 1974): i) o sistema real com toda sua riqueza e complexidade, ii) o sistema idealizado que resulta do processo de modelagem (representação esquemática) do sistema real e iii) o modelo matemático subjacente ao sistema idealizado. É esse que governa o modelo computacional, quando se usa uma versão computacional como representação do modelo teórico. Na passagem do sistema real (i) para o idealizado (ii) fazem-se recortes na realidade, atentando-se para os aspectos mais relevantes e ignorando-se todo o restante. Por exemplo, ao descrever um objeto que oscila preso a um fio pelo modelo do pêndulo simples, idealiza-se o objeto como pontual, o fio como inextensível e sem massa e despreza-se a resistência do ar. Mais ainda, para se ter uma expressão simples para o período do pêndulo, limita-se o ângulo de oscilação a pequenos ângulos. Muitas vezes tais pressupostos teóricos não são sequer explicitados, sendo assumidos tácita e acriticamente. Outras tantas vezes, constituem parte do enunciado dos problemas acadêmicos, mas não adquirem qualquer significado para o aluno, que os decora, como o faz com as fórmulas, pois as estratégias didáticas empregadas não contribuem para a adequada conceitualização da matéria em estudo.

---

<sup>4</sup> Como leitura introdutória para esse tema recomendamos Brandão, Araujo e Veit (2008).

Para que as simulações, além de elementos ilustrativos, desempenhem um papel heurístico na formação do aluno, é indispensável que apresentem algumas características específicas e que, adicionalmente, em algum momento nas atividades computacionais propostas, o aluno seja incitado a refletir sobre questões do tipo: quais as idealizações assumidas? Quais os efeitos desprezados? Até que ponto as aproximações feitas são aceitáveis? Qual o contexto de validade do modelo? Como o modelo poderia ser melhorado ou generalizado?

Quanto às características específicas desejáveis em simulações computacionais que visam a aprendizagem de fenômenos de Física, consideramos adequada a proposta de Zacharias e Anderson (2003, p. 619), que sugerem que a simulação deve:

- ser interativa e focada no tópico específico a ser aprendido;
- permitir que sejam alteradas todas as variáveis associadas com o fenômeno físico simulado, mesmo aquelas que não afetam o fenômeno em estudo;
- permitir ao estudante fazer observações enquanto roda a simulação (permitir a visualização em câmara lenta quando relevante);
- não conter elementos irrelevantes ou que dispersem a atenção enquanto roda;
- ter um formato e apresentação tão simples quanto possível, para garantir que toda modificação introduzida pelo usuário produza um resultado facilmente observável na tela;
- ser facilmente manipulável.

Obviamente, mesmo que as simulações tenham essas características inerentes, não se têm garantia de que efetivamente contribuirão para o processo de aprendizagem, porque, como mencionado, essa questão está intimamente relacionada com a estratégia didática em que se baseia.

Uma das estratégias didáticas mais disseminadas é o chamado método P.O.E. (Predizer-Oberver-Explicar) no qual inicialmente se apresenta uma situação-problema ao aluno, na forma de uma animação, por exemplo, e se solicita que ele prediga o que irá acontecer devido à configuração mostrada<sup>5</sup>. A seguir, os alunos têm plena liberdade para interagir com a simulação computacional e observar os resultados, avaliando o que efetivamente ocorre. Finalmente, devem explicar as discrepâncias de suas predições em relação aos resultados obtidos (TAO e GUSTONE, 1999).

---

<sup>5</sup> Esse método também é muito usado sem o emprego de recursos computacionais.

Outra estratégia, mais recente e menos conhecida, é o chamado diagrama AVM (Adaptação do Vê de Gowin para a Modelagem computacional). O diagrama AVM (Araujo, Veit e Moreira, 2006) é um instrumento heurístico elaborado para auxiliar os alunos na construção ou exploração de simulações computacionais de fenômenos naturais. De modo geral, o diagrama AVM busca explicitar as relações entre os domínios teórico (idealizações, referentes, teorias, princípios, leis...) e metodológico (registros, representações, elementos interativos...) subjacentes à construção e ao uso de modelos computacionais aplicados ao ensino de Ciências. Nesse instrumento, a discussão sobre os fenômenos de interesse, situações-problema e questões-foco envolvidos no processo de modelagem computacional são elementos centrais.

Um aspecto importante dessas duas estratégias é que elas partem de questões-foco a serem respondidas pelos alunos. Para que as atividades computacionais tenham valor formativo, é desejável que tais questões gerem um conflito cognitivo, na forma de desafios, e enfatizem o comportamento geral das grandezas relevantes associadas ao fenômeno de interesse, levando o aluno à reflexão. De nada adianta dispor de maravilhosas simulações computacionais se elas forem usadas apenas para que os alunos possam responder questões numéricas mais rapidamente. Usar recursos computacionais para resolver problemas acadêmicos, desprovidos de significado para os alunos, deixando de discutir os pressupostos teóricos assumidos e o significado das respostas encontradas, é prestar um desserviço à causa do ensino, repetindo um erro histórico que tem ocorrido nas “aulas teóricas”.

Para que possamos promover adequadamente o processo de reflexão crítica sobre os conteúdos trabalhados com as simulações computacionais, é preciso, além dos fatores citados, que se propiciem oportunidades de interação social entre o professor e os alunos, e deles entre si. Sem entrar em detalhes, para não fugir do escopo do presente trabalho, destacamos que, sempre que possível, as atividades devam ser planejadas para serem feitas pelos alunos em duplas, ou trios, mesmo que a instituição de ensino disponha de uma máquina por aluno na sala de aula. Muito mais do que uma contingência de escassez, o trabalho em grupo com o computador deve ser visto como uma forma de promover o desenvolvimento cognitivo dos alunos através da interação social (VYGOTSKY, 2003).

Em síntese, para que as vantagens apontadas no uso de simulações computacionais se reflitam na aprendizagem consideramos recomendável:

- definir conceitos e procedimentos associados ao conteúdo que se deseja que os alunos aprendam, ou seja, o professor deve ter clareza do que pretende com o uso dos recursos computacionais;
- contextualizar as simulações, ou seja, descrever as situações físicas do mundo real que se pretende descrever com as simulações;
- estabelecer conexões entre as situações reais e as idealizadas nas simulações, salientando o caráter representativo dos modelos;
- propor questões instigantes, que requeiram interação com o recurso computacional para que sejam respondidas;
- definir objetivos a serem alcançados nessa interação de modo que o aluno tenha liberdade para explorar as simulações, mas não disperse sua atenção com excessivas opções de controle (e.g., campos, barras de rolagens e botões para o ajuste de parâmetros de valores iniciais das variáveis);
- incentivar o trabalho em pequenos grupos (duas ou três pessoas) de modo a promover interações sociais entre os alunos, sem deixar de oportunizar a interação desses grupos com o professor;
- criar momentos e condições propícias para a troca de significados no pequeno e grande grupo e também para que haja a diferenciação progressiva e reconciliação integradora dos conceitos trabalhados;
- **promover reflexão por parte do aluno, tanto sobre os resultados imediatos de suas ações quanto sobre a razoabilidade física dos resultados encontrados;**

#### **IV. Comentários finais**

Há muito anos Hodson (1994) defende a idéia de que é necessário diminuir o trabalho nos laboratórios didáticos de Física e aumentar as atividades orientadas à reflexão, ancorado no argumento de que boa parte das atividades experimentais está mal concebida, é confusa e carece de valor educativo real (ibid, p. 304). Por outro lado, é sobejamente sabido que as chamadas “aulas teóricas” têm sido insatisfatórias, quer porque carecem de contextualização, quer porque oferecem poucas oportunidades de conceitualização aos alunos. Também nessas aulas seria desejável reflexão por parte do aluno, promovida por meio de estratégias múltiplas que requeressem sua participação ativa e o engajamento emocional e cognitivo. Algumas dessas estratégias, nos dias atuais, são concebidas e implementadas com o uso de recursos computacionais, porém, não é difícil antever que, se os devidos cuidados no desenvolvimento



e/ou seleção de propostas de atividades computacionais com suas correspondentes estratégias de uso não forem levados em consideração, corre-se o sério risco de que também as atividades computacionais conduzam meramente a uma aprendizagem mecânica, desprovida de qualquer valor formativo.

Ao longo desse texto discutimos a importância da interatividade do aluno com os recursos computacionais, como meio para fomentar a sua participação ativa e reflexiva. Foram apontadas algumas vantagens e desvantagens em relação ao uso de simulações computacionais aplicadas ao ensino de Ciências em geral, e Física em particular. Salientamos que entre essas vantagens, se destaca a capacidade desse tipo de ferramenta em tornar o aluno (co)responsável pela sua própria aprendizagem, na medida em que favorece seu engajamento cognitivo com atividades potencialmente motivadoras. Em relação a possíveis desvantagens, a perda da conexão entre as simulações e os sistemas reais que essas buscam representar talvez seja a maior delas. Entretanto, como observado anteriormente, isso não é um problema intrínseco às simulações, mas sim um produto de uma abordagem demasiadamente teórica dos conteúdos, sendo seus efeitos mais visíveis quando as usamos.

## Referências

ARAUJO, I. S. ; VEIT, E. A. ; MOREIRA, M. A. Um estudo exploratório sobre as potencialidades do diagrama AVM na aprendizagem significativa de tópicos de Física. In: Encuentro Internacional sobre Aprendizaje Significativo, 2006, Madrid. *Indivisa, Boletín de Estudios e Investigación*, 2006. v. 1. p. 503-514, 2007.

ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. & MOREIRA, M. A.. Adapting Gowin's V diagram to computational modelling and simulation applied to physics education. In: GIREP 2006 Conference, Amsterdam. **Proceedings of the GIREP 2006**, 2006.

BRANDÃO, R. V, ARAUJO, I. S. e VEIT, E.A. A modelagem científica de fenômenos físicos e o ensino de física. *Física na Escola*, v. 9, n. 1, p. 10-14, 2008.

BUNGE, M. **Teoria e realidade**. São Paulo: Perspectiva, 1974.

GIL-PÉREZ, D.; MONTORO, I. F., ALÍZ, J. C.; CACHAPUZ, A. e PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência e Educação*, v.7, n.2, p. 125-153, 2001.

HAKE, R. R. Interactive-engagement versus traditional methods: a six thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics* 66(1), p. 64-74, 1998.

HODSON, D. Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, v.12, n.3, p.299-313, 1994.

MEDEIROS, A. & MEDEIROS, C. F. de; Possibilidades e limitações das simulações computacionais no Ensino de Física – **Revista Brasileira de Ensino de Física** – São Paulo, v. 24, n. 2, p. 77-86, 2002.

REDISH, E. F. e WILSON, J. M. Student programming in the introductory physics course: M.U.P.P.E.T. *American Journal of Physics*. Woodbury. 61:p. 222-232, 1993.

TAO, P. K. & GUNSTONE, R. F. The process of conceptual change in force and motion during computer-supported physics instruction. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 36, n. 7, p. 859-882, Sept. 1999.

VYGOTSKY, L. S. **Pensamento e linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 2003.

ZACHARIAS, Z. C. & ANDERSON, R. The effects of an interactive computer-based simulation prior to performing a laboratory inquiry-based experiment on students' conceptual understanding of physics. **American Journal of Physics**, 71(6), 519-640, 2003.