

Aprendizagem sobre epidemias com simulações computacionais

Learning about epidemics with computational simulations

Manoel Messias Santos Sobrinho

Antônio Tarciso Borges

Resumo

O estudo dos processos epidêmicos no âmbito do ensino médio apresenta dificuldades relacionadas às escalas de tempo e espaço em que eles ocorrem, bem como no entendimento dos mecanismos de transmissão e evolução temporal do número de indivíduos afetados. O uso de ambientes virtuais de modelagem, particularmente os de softwares de simulação orientada a objetos, aparenta ser um recurso promissor em processos de ensino e aprendizagem sobre as doenças epidêmicas e suas dinâmicas. O objetivo desse artigo é descrever uma unidade de ensino elaborada para o estudo de epidemias por alunos do Ensino Médio. Duplas de estudantes realizaram atividades de exploração com modelos computacionais que representavam processos epidêmicos e responderam a questões sobre o que acontecia nos modelos. Os estudantes manipularam facilmente o software utilizado e conseguiram discutir conceitos epidemiológicos importantes nessas atividades, o que justifica o uso desse tipo de abordagem no ensino e aprendizagem dos processos epidêmicos.

Palavras-chave: epidemias, ensino de ciências, modelos e modelagem no ensino de ciências, simulação, currículo CTSA.

Abstract

In the study of the epidemic processes in the final years of secondary education students face difficulties related to the time and space scales involved, and related to understanding the mechanisms of spread and the fast growth of the number of individuals affected. The use of virtual modelling environment, particularly object-oriented simulation packages, appears to be a promising resource to teaching and learning about epidemic diseases and its dynamics. The objective of this article is to describe a teaching sequence developed for the study

of epidemics in secondary school. Pairs of students conducted exploratory activities with computational models that represented epidemic processes, and answered questions about what happened in the models. Students had no difficulties handling the software and they were able to learn and use important epidemiologic concepts in these activities, which seems to support the use of this approach in the teaching and learning about epidemic processes.

Keywords: epidemics, science teaching, models and modelling in science teaching, simulation, STS curriculum.

Introdução

O objetivo desse artigo é descrever uma unidade de ensino elaborada para o estudo de epidemias na disciplina de Biologia para o 2º ano de Ensino Médio. Procuramos com essa seqüência, localizar o estudo dos processos epidêmicos no contexto da gripe aviária, uma doença que, na época em que iniciamos esse trabalho, anunciava-se potencialmente assustadora e perigosa. Para isso planejamos uma série de atividades que permitiriam aos estudantes explorar cenários e modelos baseados em um software de simulação computacional. Com ele, desenvolvemos modelos da dinâmica de uma doença epidêmica, que visavam promover a compreensão dos mecanismos de transmissão, da disseminação espacial da doença e da evolução temporal do número de indivíduos contaminados. A opção por fazer uso da simulação computacional como parte das ferramentas para estudo da dinâmica das epidemias é justificada pelas próprias características desses processos: eles são de difícil estudo no laboratório por uma série de razões, tais como: requerem mecanismos de segurança muito elaborados que não são encontrados nos laboratórios escolares, apresentam altos custos financeiros para sua implantação, envolvem questões muito polêmicas relacionadas à bioética. Além disso, são fenômenos que ocorrem em escalas do tempo e de espaço de difícil controle e reprodução. Os processos epidêmicos, se adequadamente modelados, podem ter seu estudo e compreensão facilitados pela utilização desses softwares integrados ao conteúdo curricular a ser trabalhado com os estudantes e ao contexto de mundo que eles vivenciam naquele momento. Esse último aspecto é amplamente justificado num currículo CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente).

As doenças epidêmicas

A importância do estudo dos processos epidêmicos e de suas dinâmicas transcende a ciência escolar, e torna-se uma questão de saúde pública, em vista dos surtos de graves patologias que costumam irromper no Brasil ao longo do ano. No outono e no inverno surgem as epidemias de gripes, resfriados e outras doenças respiratórias, relacionadas às temperaturas mais

baixas e à aglomeração de pessoas em locais fechados. Na primavera e no verão deparamos com a ameaça de dengue, febre amarela e leptospirose, doenças típicas do período quente e chuvoso.

Apesar dos estudantes receberem a todo o momento informações nas mídias impressa, televisiva e digital sobre essas e outras doenças, muitas vezes endêmicas, mas com potencial para se tornarem epidêmicas, nem sempre há nessa comunicação uma preocupação em utilizar corretamente os conceitos epidemiológicos ou em analisar com rigor as relações de causalidade existentes na dinâmica de uma epidemia, como nos exemplos:

“Em seu quarto ano de funcionamento, o Programa de Controle de Roedores da cidade de São Paulo começa a dar resultados. Os números de imóveis com ratos e de vítimas da leptospirose caíram. Ambos, no entanto, continuam altos. Somente em 2008, 127 pessoas foram infectadas pela doença causada (sic) pela urina do rato. Destas, 23 morreram. Em todo o ano de 2007, foram 274 doentes e 57 mortos.” (O Globo.com, 09 de novembro de 2008) ¹

“Especialista no combate à moléstia, o infectologista Marcelo Simão Ferreira, da Universidade Federal de Uberlândia (MG), conta que há pelo menos três anos não há transmissão da Doença de Chagas pela picada (sic) de seu vetor, o barbeiro.” (JB Online, 02 de julho de 2008) ²

No primeiro exemplo, há uma afirmação de que a leptospirose é causada pela urina do rato, quando na realidade a urina de ratos infectados pela bactéria leptospira é o meio de transmissão da doença. No segundo exemplo indica-se que o barbeiro transmite a Doença de Chagas através de sua picada, ao passo que a transmissão não ocorre dessa forma e sim, mais frequentemente, pelas fezes do vetor contaminadas com as formas infectantes do *Trypanosoma cruzi*. Tais situações, retiradas de veículos de comunicação conceituados e de grande circulação, justificam o estudo das doenças epidêmicas e endêmicas na educação básica. Cabe notar que na televisão e programas de rádio, esses equívocos e imprecisões costumam ser mais frequentes,

¹ Disponível em:

<http://oglobo.globo.com/sp/mat/2008/11/09/leptospirose_ja_matou_23_pessoas_em_2008586321443.asp>. Acesso em: 01/12/08.

² Disponível em:

<<http://quest1.jb.com.br/editorias/textosdoimpresso/jornal/pais/2008/11/02/pais20081102010.html>>. Acesso em 01/12/08.

conforme discute um artigo publicado no site Com Ciência¹, uma revista eletrônica da SBPC. Essa necessidade é reconhecida, por exemplo, no tema estruturador “Qualidade de vida das populações humanas”, dos PCN+ Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias (Brasil, 2002). Nele encontramos uma ampla discussão sobre o conceito de saúde, sua relação com as condições sócio-econômicas dos indivíduos e o papel do ambiente para a qualidade de vida das populações humanas, fazendo referência a vários termos usados na epidemiologia.

Os principais conceitos tratados nos estudos epidemiológicos dizem respeito aos mecanismos de transmissão, controle e tratamento das doenças, bem como às condições de vida dos indivíduos afetados, que contribuem para o surgimento desses males. É recorrente o uso de expressões como: contágio, vetor, hospedeiro, profilaxia, medidas terapêuticas, endemia, epidemia, pandemia, incidência, grupo de risco, higiene, vacinação, mortalidade, letalidade, dentre outras. Quando damos oportunidade ao estudante de realizar atividades em que esses termos são empregados com propriedade, tornamos possível o início de discussões sobre seus significados e usos. Se essas atividades forem elaboradas para utilização em situações localizadas em contextos realísticos, possibilitamos ao aluno perceber a importância do estudo do tópico e melhorar seu entendimento acerca dos temas estudados, como é sugerido nos PCN + Ensino Médio.

As epidemias, em que a taxa de crescimento no número de doentes é elevada e a área atingida pode crescer bastante durante um certo intervalo de tempo, diferem das endemias – com um número restrito de casos, circunscritos a uma dada região geográfica – não só pela sua disseminação no tempo e no espaço, mas pelo caráter único que leva ao seu surgimento. Isso depende do contexto em que ela ocorre, e não apenas da doença em questão. Barreto (1998) argumenta ainda que os eventos mórbidos possuem três planos: biológico, temporal e espacial; que se somam na formação da sociedade. Barata (1987) observa que a essência de uma epidemia não está numa doença em particular, mas é dada por um conjunto de circunstâncias ambientais e temporais. As epidemias, dessa forma, não são situações acidentais (Barreto, 1998). Antes disso, são resultantes de uma série de opções político-sociais, quase nunca escolhidas pelos indivíduos mais afetados nesses contextos coletivos de adoecimento, e que têm uma etiologia e uma dinâmica que precisam ser entendidas, para facilitar seu reconhecimento e tratamento, e evitar sua disseminação rápida.

¹ Disponível em:

<<http://www.comciencia.br/comciencia/handler.php?section=8&edicao=37&id=444>>. Acesso em: 04/11/2008.

Nossa opção pelo desenvolvimento de uma seqüência de ensino relacionada à gripe aviária deve-se em grande parte ao contexto da época (meados de 2007) em que ela foi aplicada. A doença já era caracterizada pelas mídias escrita e eletrônica como epidêmica. Reportagens da época aventavam a possibilidade do vírus H5N1, causador dessa patologia, sofrer mutações que possibilitassem a contaminação entre seres humanos, fato esse que mais tarde seria confirmado com vítimas na China (dezembro de 2007) e no Paquistão (abril de 2008). A preocupação dos governos e das populações dos países afetados pela doença era tema freqüente do noticiário sobre o assunto, despertando grande interesse dos alunos, situação observada por um dos autores desse artigo em suas aulas de biologia para estudantes do ensino médio.

Um dos modelos computacionais utilizados na seqüência de ensino, e que será descrito mais adiante, foi elaborado para permitir a simulação de contaminação entre humanos, além da que já era conhecida entre aves. Pretendíamos com isso permitir que essas duas situações, a possibilidade da gripe aviária se desenvolver como uma epidemia entre as aves, e até uma pandemia, e o contágio entre seres humanos, fossem estudados pelos alunos de maneira a identificar as semelhanças existentes entre diferentes processos epidêmicos.

O caráter explosivo das doenças epidêmicas, cujo crescimento em escala geométrica é um fator a ser considerado para sua caracterização, dificulta seu estudo em laboratório. Isso se torna ainda mais difícil se pensarmos no laboratório escolar. As condições operacionais e éticas para se reproduzir um processo epidêmico são alguns obstáculos aos estudos empíricos de doenças epidêmicas em nível da academia, tornando-os impossíveis de serem realizados em escolas de ensino médio. Dentre eles, a garantia de integridade física dos aprendizes e professores, o grande número de cobaias para servirem de hospedeiros, o manuseio de microorganismos infecciosos, os gastos com mecanismos de biossegurança, as questões éticas relacionadas ao uso de seres vivos em pesquisa. Estudos desse porte normalmente são feitos com variedades vegetais de importância agrícola, contaminadas por fungos ou outros agentes patogênicos em lavouras que reproduzem as condições ambientais de culturas comerciais. O estudo das epidemias humanas e animais é geralmente realizado a partir de dados epidemiológicos fornecidos pelos sistemas de saúde e de vigilância sanitária específicos de cada um desses segmentos. Apesar disso, os alunos devem ter acesso a essa problemática, em função da importância que ela assume num país que ainda está longe de solucionar suas mazelas relacionadas à saúde pública, de preferência em situações que os façam refletir sobre as condições de seu cotidiano.

Simulando as doenças epidêmicas

Face às dificuldades anteriormente apresentadas para o estudo das epidemias, observamos que esse tema geralmente é apresentado para os alunos dos níveis fundamental e

médio através de aulas expositivas e textos. Por ser um fenômeno complexo, uma epidemia apresenta comportamentos e inter-relações que não são óbvios. O uso de simulações computacionais é importante já que elas podem auxiliar no entendimento desses processos. Com as simulações podemos representar partes menores dos sistemas a serem estudados, partindo de modelos com poucos elementos em interação, o que torna mais fácil seu entendimento, mas com a possibilidade de progredir para modelos mais complexos, visando estudos mais aprofundados sobre o sistema modelado.

Acreditamos que o estudo de uma epidemia de forma a visualizar seu comportamento e evolução temporal e espacial, em tempo real, como é possível através de simulações computacionais, é um importante fator a ser considerado quando do ensino desse conteúdo. É comum, ao se tratar do tema epidemia em livros didáticos ou em questões de vestibular, o uso de gráficos que representam as relações Número de doentes X Tempo ou Taxa de morbidade X Meses do ano. Tal recurso é valioso, considerando o meio físico que dá suporte a essa representação, mas os programas de simulação permitem formas complementares e, até mesmo, suplementares de inscrição¹, potencializando as formas de análise das situações simuladas e criando condições para inferências mais elaboradas sobre o assunto ali representado. Muitos softwares de simulação permitem a construção de gráficos que evoluem à medida que o modelo é utilizado.

Softwares como Stella² e Modellus³ utilizam valores numéricos exatos para estudos de cenários específicos. Algumas ferramentas como Wlinkit⁴ e VISQ⁵ trabalham com raciocínios não numéricos, do tipo: “se A aumentar, B deve...”, onde A e B são variáveis que apresentam relação de causalidade, direta ou inversamente proporcional. Nesse caso não há preocupação com valores, mas como cada elemento da simulação faz variar a(s) outra(s) variável(is) a ele ligada(s). Em outros softwares, Modelab2⁶, WorldMaker⁷, AUTCEL-RCO⁸, mundos virtuais são criados e seus elementos (objetos) apresentam comportamentos ditados por regras pré-estabelecidas. Alguns desses aplicativos são produtos comerciais e o usuário deve adquirir licenças para seu uso,

¹ Moreira e Borges (2001) atribuem o termo inscrição a “todo tipo de representação que agrega um conjunto articulado de informações a textos escritos.”

² Disponível em: <<http://www.iseesystems.com/>>. Acesso em 12/09/08.

³ Disponível em: <<http://modellus.fct.unl.pt/>>. Acesso em 12/09/08.

⁴ Disponível em: <<http://www.nce.ufrj.br/ginape/wlinkit/index.htm>>. Acesso em 12/09/08.

⁵ Disponível em: <<http://www.modelciencias.furg.br/bin/downloads/visqjava.rar>>. Acesso em 12/09/08.

⁶ Disponível em: <<http://modelab2.modelab.org/>>. Acesso em 12/09/08.

⁷ Disponível em: <<http://worldmaker.cite.hku.hk/worldmaker/pages/>>. Acesso em 12/09/08.

⁸ Disponível em: <<http://www.fisica.furg.br/profcomp/programs/autcelrco.zip>>. Acesso em 12/09/08.

enquanto outros foram desenvolvidos para pesquisa e de distribuição gratuita, inclusive com versões para Linux e em Java. O professor interessado em usar esses aplicativos deve procurar alternativas que satisfaçam às suas necessidades.

As saídas desses aplicativos são complementadas com gráficos dinâmicos – ou seja, produzidos em tempo real – e gerados na interação das variáveis ou objetos, permitindo uma visualização das variações das quantidades de cada um desses elementos. O usuário tem assim duas fontes de dados para analisar: as mudanças visuais que ocorrem nos elementos dependentes do tempo (variáveis ou objetos), e as alterações do gráfico dinâmico produzido que, na maioria das vezes, é persistente, ou seja, faz um registro de grande parte ou de todo o intervalo de tempo simulado. Vê-se aqui a vantagem, já citada, frente aos gráficos estáticos dos livros didáticos, pois o aluno tem oportunidade de modificar as condições do modelo e examiná-lo novamente. Isso possibilita gerar entendimentos mais elaborados sobre as condições existentes, naquele mundo virtual, para a construção do gráfico que ora observa e sobre o comportamento do sistema modelado.

A exploração de modelos já prontos e as atividades de construção e reformulação de novos modelos, ou seja, a modelagem, representam importantes ferramentas no processo de ensino-aprendizagem de ciências. Clement (1989) ressalta que “o processo de aprendizagem via construção de modelos parece ser central para a formação teórica em ciências e para a instrução em ciências”. Assim, as atividades de modelagem e de exploração de modelos permitem também aos estudantes entender a função e papel dos modelos científicos na ciência. O trabalho de Justi e Gilbert (2002) indica que os estudantes, na aprendizagem de ciências, usam os modelos e a modelagem para aprender não apenas sobre o tema abordado, mas também sobre a natureza, o escopo e as limitações da maioria dos modelos científicos.

A aprendizagem de ciências pode ser feita pelo uso de modelos prontos ou pela construção de novos modelos. Mellar e Bliss (1994) classificam essas atividades de aprendizagem, respectivamente, como: i) exploratória, em que o aprendiz explora idéias sobre um tópico apresentado por alguém; ii) expressiva, que envolve o aprendiz na expressão de suas próprias idéias. Diversos estudos (Clement, 1989; Barab *et al.*, 2000a; Passmore e Stewart, 2001; Justi e Gilbert, 2002, Bensson e Viennot, 2004) relatam situações em que essas duas abordagens estão sendo utilizadas por estudantes e professores para o ensino e a aprendizagem de ciências. A escolha pela exploração de modelos prontos ou pela produção de novos modelos deve ser feita considerando as vantagens e desvantagens de cada uma dessas metodologias de ensino.

A atividade exploratória pode eximir o estudante de conhecer profundamente as ferramentas de criação de relações ou regras dos softwares de simulação. Caso o professor e sua turma disponham de pouco tempo para uso do computador, usar um modelo pronto talvez seja

uma boa opção. Por outro lado, se o tempo não é um limitador da atividade de modelagem, a produção de modelos pode permitir que o aluno tenha condições de aprender a expressar suas idéias sobre um dado tema, dando oportunidade ao professor de entender melhor o que o estudante sabe ou aprendeu sobre o tópico modelado. Outra vantagem apresentada pelas formas de simulação exploratória e expressiva, é que os softwares utilizados para simulação educacional “escondem” seus algoritmos dos usuários, não exigindo conhecimentos de programação de computadores dos estudantes. No entanto, esses aplicativos permitem que os estudantes possam criar relações complexas de modo intuitivo, o que lhes dá acesso a formas representacionais dinâmicas. A dinamicidade existente nesses modelos de mundo possibilita extrapolar os dados que normalmente obtemos ao analisar representações estáticas, e isso pode servir como mecanismo para melhor compreender certos sistemas, como observado nos estudos de Barab e colaboradores (2000b) sobre o entendimento de conceitos tridimensionais ligados à astronomia.

A possibilidade de visualização de conceitos abstratos representa um fator encorajador para a utilização de modelos e simulações computacionais no ensino de ciências (Barab *et al.*, 2000a). Seu uso, no entanto, deve levar em conta que os estudantes necessitam ter uma certa experiência para poder empregar os modelos como ferramentas intelectuais (Grosslight, Unger e Jay, 1991). Dessa forma, uma ferramenta de modelagem deve ser adequada ao público que fará uso dela, aos objetivos educacionais pretendidos e ao fenômeno que se deseja modelar. Um software de simulação computacional não pode representar, por si só, um fator impeditivo à expressão das idéias do estudante durante seu processo de construção de novos modelos ou uso e reconstrução de modelos prontos. Ao contrário, é fundamental que ele apresente recursos amigáveis suficientes para seu uso em situações de ensino e aprendizagem.

Doenças epidêmicas e Currículo

A organização do currículo se mostra um componente importante a ser considerado para o uso adequado dos modelos e modelagens nos processos de aprendizagem em que eles são utilizados. Fatores como a composição do currículo e o período de tempo reservado para a aprendizagem em atividades que envolvem modelos e modelagem são citados como vitais para uma eficiente utilização dos modelos (Saari e Viiri, 2003; Barab *et al.*, 2000a).

A abordagem da Educação CTSA parece ir ao encontro desse intento. Preocupada numa mudança na ênfase curricular, a Educação CTSA propõe que a ciência e a tecnologia seriam referências para os saberes escolares e utilizaríamos nosso mundo como cenário de aprendizagem (Ricardo, 2007). Ainda na visão desse autor, o currículo das escolas deveria abrir espaço para que as disciplinas realizassem a integração da tecnologia moderna com a realidade de vida dos estudantes, possibilitando que eles desenvolvam uma atitude crítica frente a essa

tecnologia, entendam a relação entre os fatores econômicos, sociais, políticos e culturais, e construam respostas para problemas concretos.

Acreditamos que o estudo das epidemias nas aulas de biologia do ensino médio pode ser estruturado em consonância com essa abordagem. A seqüência de ensino que descrevemos a seguir procura usar a tecnologia computacional para trabalhar um problema prático, a epidemia de gripe aviária, buscando criar uma interface entre o conhecimento teórico do tema, abordado nas aulas de biologia, e o que poderia ser vivenciado pelos estudantes frente a uma situação real ou compreender o alcance das notícias abordadas pela mídia acerca de doenças epidêmicas.

Metodologia

Esta pesquisa foi desenvolvida com um grupo de 40 alunos, com idades entre 16 e 17 anos, do 2o ano do ensino médio de uma escola particular de Belo Horizonte - MG, e inserida no contexto do conteúdo de Biologia. Os estudantes, seus responsáveis, a coordenação pedagógica e a direção da escola autorizaram a coleta de dados, sendo previamente informados sobre os propósitos da pesquisa mediante o uso de um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, com documentos específicos para cada um desses segmentos.

A seqüência de ensino foi implementada com uso de diferentes recursos didáticos voltados para o ensino dos processos epidêmicos, com foco na gripe aviária, tais como: aulas expositivas sobre doenças viróticas e bacterianas, textos informativos retirados de revistas e outras publicações eletrônicas, modelos computacionais, mapas conceituais, mapas causais e redações. Nesse trabalho descreveremos as atividades exploratórias e expressivas desenvolvidas com os modelos computacionais, analisados por duplas de alunos no laboratório de informática da escola e acompanhadas de roteiros com orientações e questões.

Utilizamos o software de modelagem orientado a objetos Modelab2 (Silva, Gomes e Ferracioli, 2006), desenvolvido no Laboratório de Tecnologias Interativas Aplicadas à Modelagem Cognitiva da Universidade Federal do Espírito Santo, por Ferracioli e colaboradores.

Optamos por utilizar o Modelab2 visto que nele é possível criar mundos virtuais (florestas, cidades, tubos de ensaio, etc.) onde objetos (animais, homens, moléculas e outros) se relacionam de acordo com as regras relativamente simples especificadas na criação do modelo. Essas regras especificam, por exemplo, posição na cadeia alimentar, tipo de movimento, comportamento com a mudança de algum parâmetro como temperatura, presença de vizinhos próximos, ou comportamento frente ao ambiente no seu entorno. A principal vantagem desse software é que não é necessário construir um ambiente complicado e exaustivamente especificado para que ele exiba comportamentos complexos. Além disso, é um aplicativo livre desenvolvido por

pesquisadores brasileiros para o ensino de tópicos de ciências, e suas as instruções e comandos escritos em português. Esses objetos (atores, na terminologia empregada no software) estão instalados sobre certos ambientes de fundo (cenários) e podem então sofrer variações em sua quantidade naquele mundo, o que é representado por uma saída gráfica que se modifica ao longo do tempo.

A primeira atividade desenvolvida pelos estudantes com o Modelab2 foi elaborada para possibilitar o contato inicial com o software e suas ferramentas, e a compreensão do papel das regras. Para isso utilizamos o modelo Lebre-Coelho, adaptado de uma simulação disponível no site do software WorldMaker, citado anteriormente. Consideramos o uso do modelo Lebre-Coelho como eminentemente exploratório, já que não houve criação de novos modelos ou alteração no modelo proposto. Essa fase também foi utilizada para avaliar os entendimentos dos estudantes sobre equilíbrio dinâmico, situação em que as variações sofridas pelos elementos em interação ocorrem dentro de certos limites numéricos. No modelo Lebre-Coelho (Figura 1) uma população de lebres vive num campo. Os quadrados em laranja representam o solo descoberto (sem grama). A quantidade de animais varia com o tempo, de acordo com os parâmetros que especificam as taxas de natalidade e mortalidade do momento. As lebres movimentam-se em busca de alimento (grama, em verde) e parceiros sexuais, reproduzindo-se com certa taxa percentual na combinação daqueles dois fatores. Elas morrem de fome, ou não se reproduzem, caso fiquem muito tempo sobre solo descoberto, ou isoladas de outras lebres. As telas exibem em sucessão o que acontecem com ambas as populações à medida que o tempo transcorre. Cada tela corresponde a um incremento de um dia no tempo.

canto superior direito da tela e observe as ações (regras) do animal que aparecem no Editor de Regras, no canto inferior direito. Faça o mesmo com a LEBRE. Prestando atenção nessas regras e em seus valores, dê uma nova explicação para o que ocorreu naquele ecossistema quando os coelhos foram introduzidos.

A introdução da temática voltada para as epidemias ocorreu com o modelo Gripe Fazenda, representado na Figura 2. Esta atividade apresentou caráter misto: exploratório e expressivo, em função do uso inicial do modelo pronto, finalizando com a realização de alterações em suas regras. No modelo Gripe Fazenda há uma granja com dois galinheiros, o da direita protegido por uma barreira fitossanitária. Essa barreira impede a penetração de organismos estranhos ao galinheiro, salvaguardando as galinhas do seu interior de riscos de contaminação por fatores externos. No entanto, é possível alterar as regras do modelo que controlam a eficiência de isolamento dessa barreira. Chega pelo lado sul um bando de aves migratórias que traz o vírus da gripe aviária. As galinhas expostas às aves migratórias podem adoecer ao ter contato com o vírus, infectando também às galinhas vizinhas. Com esse modelo pretendíamos simular algumas condições envolvidas na propagação de uma epidemia e suas formas de prevenção, tais como: mecanismos de transmissão, tempo e formas de manifestação, agente etiológico, agente transmissor, hospedeiro e profilaxia. O aspecto tratamento da doença não foi discutido nesse modelo.

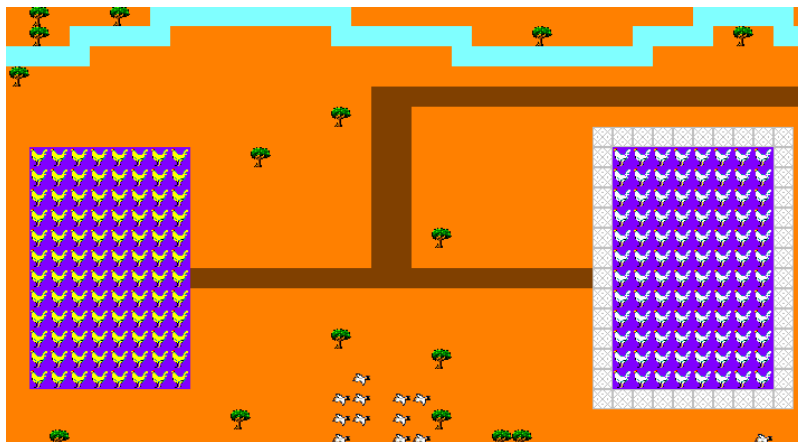


Figura 2 – Modelo Gripe Fazenda

Solicitamos, no roteiro dessa atividade, que o modelo fosse ativado até atingir 400 dias, para que os alunos respondessem à questão: A) O que aconteceu com a quantidade de frangos protegidos, desprotegidos e doentes/mortos (observe o gráfico) nesse intervalo de tempo? Explique o porquê desse fato. Nova ativação até 500 dias foi pedida, com a pergunta: B) Houve

alteração no gráfico? Que relação tem isso com o isolamento dos frangos da direita. Mais questões foram propostas: C) Que tipo de medidas você acha que o granjeiro adotou para não deixar os frangos da direita entrarem em contato com aves doentes? D) Clique sobre o retornar (<<). Clique em Limpar os dados da simulação e responda Sim. Clique na ave migratória da guia Atores, à direita. Observe o Editor de Regras. Aumente a probabilidade de contaminação das aves saudáveis através da barreira para 50%. Faça rodar até 200 dias. O que aconteceu? Explique fazendo referência ao tempo assinalado no gráfico. E) Clique novamente sobre o retornar (<<). Clique em Limpar os dados da simulação e responda Sim. Diminua a probabilidade de contaminação para 40% e observe o gráfico. Refaça essa operação diminuindo a probabilidade de contaminação de 10 em 10%. Existe um valor seguro no qual os frangos ficam realmente protegidos? Qual é esse valor? F) Que conclusões práticas um granjeiro poderia tirar da sua resposta para a questão anterior? Algumas dessas questões possibilitam observar se os estudantes percebem a variação súbita do número de frangos doentes durante a realização da simulação, situação identificada em surtos epidêmicos reais. Apesar disso, elas não fazem referências explícitas a tal variação e essa percepção, ou a falta dela, será evidenciada em nossa análise dos resultados.

A última atividade, também mista, foi realizada com o modelo Gripe Brasil (Figura 3), que representava um grupo de aves migratórias descendo o litoral brasileiro e levando o vírus da gripe aviária para as populações humanas das diferentes regiões de nosso país. Na elaboração desse modelo consideramos a condição da gripe aviária apresentar transmissão ave-homem, sem, no entanto, especificar os mecanismos que possibilitassem a passagem do vírus através do contato entre seres humanos. Tal situação seria simulada pelos alunos ao fazerem alterações nesse modelo. Na época em que iniciamos o desenvolvimento da seqüência de ensino e sua utilização, a transmissão do vírus da gripe aviária entre humanos era uma possibilidade e merecia destaques nas investigações dos cientistas preocupados com a questão. Independente da comprovação da possibilidade, como já citado, não observada até o momento da implementação dessa seqüência de ensino, mas posteriormente confirmada por casos comprovados de transmissão entre humanos em diferentes países, a atividade apresentava mais um cenário do tipo “e se acontecer isso?”. A simulação, explorando o efeito dos diversos parâmetros do modelo, permite formular hipóteses sobre cenários diferentes, que estão presentes em surtos epidêmicos.

O roteiro desse modelo ressaltava que cada bonequinho do mapa correspondia a um milhão de habitantes, estando representado aproximadamente o número de pessoas de cada região. Pedimos que os alunos executassem o modelo até 1000 dias e observassem simultaneamente a evolução do gráfico que assinalava o número de doentes em cada região. As questões iniciais eram: A) Qual é o número de doentes na região Norte? E no Sudeste? B) Esses valores são proporcionais às populações dessas regiões (Norte=12 milhões de habitantes e Sudeste=70 milhões)? Dê uma explicação em que você use as expressões: contaminação e

densidade demográfica. Em seguida, o roteiro pedia que os alunos retornassem ao ponto inicial da simulação e dava instruções de como observar as regras do modelo para a contaminação das pessoas pelo vírus da gripe aviária, onde era possível verificar que ela só ocorria de pássaro para homem. Uma terceira questão foi proposta: C) E se os doentes passarem a contaminar as pessoas sadias, o que espera que aconteça? Foi proposto que os alunos simulassem essa situação com alterações nas regras de comportamento de uma das populações, conforme orientações do roteiro. Isso possibilitou a colocação de duas novas questões: D) O que essa regra que você criou faz? E) Faça o programa rodar até 1000 unidades de tempo. Explique o que aconteceu?

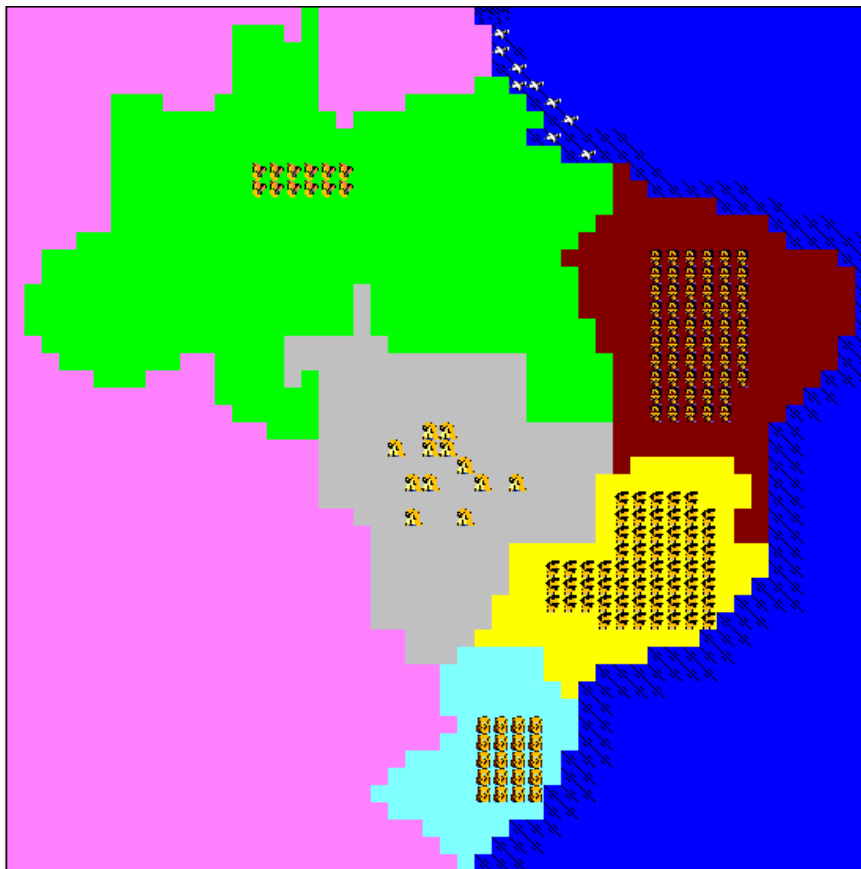


Figura 3 – Modelo Gripe Brasil

Resultados e Discussão

O exame do uso do modelo Lebre-Coelho pelos estudantes e dos argumentos elaboradas por eles ao responderem às questões do roteiro dessa atividade, nos permitem supor que nossos

objetivos iniciais foram alcançados. Observamos que os alunos não apresentaram grandes dificuldades para utilizar o Modelab2, talvez porque seu manuseio apresenta semelhanças com as ferramentas de desenho e os processadores de texto encontrados na maioria dos computadores, aos quais os jovens, de um modo geral, estão afeitos. Os alunos tiveram fácil acesso às ferramentas de controle do programa e aos gráficos dinâmicos gerados à medida que a simulação era realizada. A interface do software, numa avaliação baseada na observação das dúvidas apresentadas pelos alunos durante o uso do Modelab2, parece ser bastante amigável, pois não verificamos situações que impedissem os estudantes de realizar as atividades propostas.

Ao responderem a questão A do roteiro Lebre-Coelho, a maioria dos estudantes (70%), conseguiu observar a existência de um equilíbrio dinâmico entre a quantidade de lebres e grama, mas o restante dos alunos não visualizou essa situação. Esses últimos indicaram que a quantidade de lebres diminuiu, atentando-se apenas ao final da curva representativa dos animais no gráfico gerado pelo software. O índice de acerto na questão B aumentou para 83%, apesar de não ter sido feita qualquer alteração no modelo nesse momento. Chamados a explicar o que estava acontecendo naquele mundo, os alunos dividiram-se ao creditar esse equilíbrio a dois fatores principais: i) uma adaptação das lebres ao ambiente, como se a lebre tivesse capacidade de se “moldar” às condições impostas pelo ambiente, não conseguindo interferir na estrutura de seu habitat; ii) a relação de herbivorismo entre lebre e grama, sendo que o crescimento da população de lebres diminui a área coberta de grama, enquanto que o crescimento da área gramada possibilita, com o alimento que fornece ao animal, o crescimento da população do herbívoro.

A introdução da população de coelhos naquele ambiente, com a qual pretendíamos analisar o entendimento dos estudantes sobre a função das regras no modelo, possibilitou a colocação de quatro questões. Nas respostas dadas para as questões C e D, verificamos que todos os alunos identificaram o desaparecimento das lebres após a chegada dos coelhos no ambiente. No entanto, apenas pouco mais da metade dos estudantes (52%) respondeu corretamente quando questionado se o ambiente havia sido muito afetado por esse fato. A variação da área de pastagem durante a simulação foi mínima (-5%), mas ainda assim foi considerada muito representativa por 30% dos alunos. Novamente o herbivorismo (52%) foi utilizado como explicação para as mudanças sofridas pela grama, sendo que 29% dos estudantes atribuem essa variação à competição entre coelhos e lebres. Esse último argumento foi usado por quase todos os alunos (87%) para explicar a relação entre os animais do modelo (questão E). Houve cerca de 80% de acerto quanto à análise feita pelos estudantes das regras (questão F) que orientam o comportamento das populações de lebres e coelhos. Percebemos que o conhecimento dos parâmetros ou do efeito dessas regras permitiu que os estudantes entendessem as mudanças ocorridas naquele mundo virtual em função das interações de causalidade entre seus elementos, gerando explicações acertadas.

Em resumo, as situações de equilíbrio dinâmico foram identificadas pelos alunos e eles fizeram previsões ao longo da atividade que, em grande parte, foram confirmadas após a análise das regras de funcionamento do modelo Lebre-Coelho. Esperávamos que tais análises facilitassem a compreensão dos modelos relacionados à epidemia de gripe aviária.

O uso do modelo Gripe Fazenda e as outras atividades desenvolvidas pelos estudantes no estudo das epidemias parecem ter contribuído para que eles desenvolvessem bons entendimentos dos processos envolvidos. A análise das respostas dos roteiros dessa atividade indica que os alunos, de um modo geral, apresentaram bom entendimento sobre vários aspectos epidemiológicos da gripe aviária, o que possibilita que façam inferências acertadas sobre outras doenças epidêmicas. Notamos que a noção de equilíbrio dinâmico das populações envolvidas foi percebida pelos estudantes.

A questão A, que tratava da variação no número de frangos sadios e doentes, teve 96% de acerto. O equilíbrio dinâmico dos frangos protegidos foi relatado por 65% dos estudantes. Apenas metade dos estudantes elaborou uma explicação inicial para essa variação, estando principalmente divididos entre o fato dos frangos adoecerem (55% dos que responderam corretamente à questão A) e a presença das aves migratórias (27%). Nosso interesse ao elaborar essa questão era de apenas confirmar que o estudante havia percebido a contaminação dos frangos que tiveram contato com as aves migratórias, sem questionar explicitamente a ocorrência ou não de um equilíbrio dinâmico na população de frangos protegidos. Metade dos estudantes usou termos como: bruscamente, rapidamente, em pouco tempo, para descrever a grande variação ocorrida na quantidade de frangos desprotegidos para frangos doentes, indicando que perceberam o caráter epidêmico da doença que simulavam. Cerca de um terço dos alunos usou as palavras todos ou totalmente ao citar os resultados da simulação, sem fazer, no entanto, referência ao tempo decorrido no processo de adoecimento dos frangos.

No item B do roteiro, elaborado para confirmar o entendimento apresentado em A, teve também 96% de respostas corretas. Nesse grupo, 90% dos alunos creditam ao isolamento o fato dos frangos da direita não adoecerem. Quanto às medidas adotadas pelo granjeiro para proteger esses últimos frangos, tema da questão C, encontramos que 65% dos alunos entenderam o isolamento como única providência a ser tomada, mas 35% das respostas acrescentaram outras medidas, tais como: higiene, boa alimentação, vacinação, aquecimento, e outras.

A alteração feita na eficiência da barreira fitossanitária (questão D) foi percebida pela maioria dos estudantes (87%) como um fator desencadeante do adoecimento dos frangos (Figura 4), até então, protegidos. Sendo que 82% dos alunos indicaram o “0% de ultrapassagem da barreira” como o único valor seguro para a proteção dos frangos (questão E). Valores entre 0-30% foram admitidos por 18% dos estudantes. Talvez isso possa ser entendido a partir do fato de os

estudantes terem interrompido a simulação num espaço de tempo que não deu chance de haver a penetração de aves migratórias nos galinheiros.

Houve maior variedade de respostas na questão F, sobre as conclusões que um granjeiro poderia levantar ao tomar conhecimento dos resultados de E. Apesar do isolamento total dos frangos ser apontado como essencial para sua proteção, segundo 64% dos estudantes, 18% admitiram um isolamento parcial, repetindo os percentuais da questão anterior. A necessidade de eliminação do vetor (aves migratórias), o fato de o isolamento diminuir eventuais prejuízos, e até o de que a ave migratória é vetor da doença, foram conclusões alternativas do que o granjeiro poderia aprender com a simulação, na visão dos estudantes.



Figura 4 – Detalhe do modelo Gripe Fazenda que indica que naquele momento várias galinhas (em vermelho) já estavam contaminadas pelo vírus da gripe aviária.

Percebemos que vários dos conceitos epidemiológicos que pretendíamos discutir foram levantados pelos estudantes, seja para explicar o desenvolvimento da epidemia, seja para propor soluções para seu controle. Noções sobre vetor, formas de transmissão e de profilaxia foram apresentadas nas respostas do roteiro dessa atividade. A observação de que o sistema simulado acaba alcançando uma situação de equilíbrio dinâmico, espontaneamente explicitada por muitos estudantes, é particularmente interessante para a diferenciação dos processos endêmicos dos epidêmicos, haja vista a ruptura do equilíbrio, em relação à quantidade de indivíduos afetados, que ocorre nesses últimos. A diferença na qualidade e na variedade de respostas do item A para o F talvez reflita a contribuição específica do modelo Gripe Fazenda quanto ao entendimento dos processos epidêmicos desses jovens alunos, para além do subsídio que as outras atividades dessa seqüência de ensino possam ter dado.

O modelo Gripe Brasil finalizou as atividades no laboratório de informática dessa Seqüência de ensino. Entendemos, de acordo com as respostas elaboradas para o roteiro dessa atividade, que os estudantes perceberam a variedade de fatores que estão envolvidos nos

processos epidêmicos. Termos introduzidos no roteiro como densidade demográfica e formas de contaminação apareceram em suas respostas, mas também surgiram expressões relacionando novos vetores (os seres humanos) ao aumento na velocidade de contaminação, bem como a observação da relação entre a qualidade de vida das populações e a ocorrência de epidemias.

A questão A do roteiro apresentou respostas variadas quanto ao número de doentes nas populações de cada região brasileira, devido a um componente de imprevisibilidade no movimento das aves migratórias que voavam no sentido norte-sul. Apesar disso, 88% dos estudantes perceberam que a quantidade de doentes nas regiões Norte e Sudeste (questão B) não era proporcional às suas populações. A menor densidade demográfica observada no Norte foi a resposta dada por 63% dos alunos para explicar a falta de proporção entre os doentes das duas regiões. Outra justificativa apresentada dizia respeito à melhor qualidade de vida no Sudeste (25%), ou seja, pelo fato dessa região ser mais rica que o Norte, seus habitantes teriam melhor condições de higiene, assistência médica mais efetiva, uma alimentação mais nutritiva e, por isso, estariam sofrendo menos os efeitos da epidemia. Embora isso possa ser em parte correto, o modelo não continha nenhuma informação ou parâmetro descrevendo isso. Respostas que relacionavam a maior densidade demográfica a uma maior velocidade de contaminação (8%) foram dadas, mas não explicavam o que era observado na simulação naquele momento.

O item D perguntava o que o estudante esperava que ocorresse se os doentes humanos passassem a ser vetores da doença. Um aumento do número de doentes apareceu em 71% das respostas, sendo que 13% dos alunos indicaram que deveria ocorrer uma epidemia. O aumento da mortalidade (8%) e a idéia de que as aves não seriam mais vetor da doença (8%) também foram relatados nos roteiros. A maioria dos estudantes (84%) entendeu que a mudança que fizeram nas regras das populações (itens E e F) proporcionou que os doentes fossem convertidos a novos vetores da doença, persistindo em alguns alunos (8%) o entendimento incorreto que as aves não mais transmitiriam a gripe aviária. Outras respostas inconsistentes representaram 8% do total.

Na questão G houve grande variedade de respostas, sendo 81% delas consideradas consistentes. A mais numerosa indicava que o novo vetor propiciava um aumento na velocidade de contágios (33%). A densidade demográfica e a qualidade de vida foram novamente relacionadas, bem como o aumento do risco de epidemias e da quantidade de doentes. As análises feitas pelos estudantes durante o uso e modificação do modelo Gripe Brasil sugerem que houve um aprofundamento no entendimento dos riscos e situações associadas a uma epidemia. A busca de explicações relacionadas a múltiplos fatores, sejam eles econômicos, sociais, biológicos ou políticos, ou uma combinação de vários deles, pode ser percebida de maneira explícita e nas entrelinhas das respostas dos estudantes. Muitos alunos buscaram correlacionar o que

observavam na simulação com as condições vivenciadas em nosso país, o que, em última instância, seria a explicitação de um de nossos intentos, simular para compreender o mundo real.

Os modelos computacionais utilizados, a interface gráfica do software e as ferramentas que ele apresenta, aparentemente não impediram que boa parte dos estudantes entendesse as relações de causalidade ali representadas, bem como elaborasse explicações plausíveis para os comportamentos observados. O caráter lúdico das três atividades anteriormente descritas, especialmente em vista da semelhança entre essas simulações e jogos de computador, facilitou o aprendizado dos estudantes, e percebemos que eles souberam identificar a perspectiva de realidade presente em cada um dos mundos ali representados.

Conclusão

A utilização da simulação orientada a objetos pode ser apropriada para as situações de ensino e aprendizagem de epidemias em ambiente escolar. O uso, a construção e a reconstrução de modelos computacionais que representem os elementos, comportamentos e condições envolvidas no surgimento e propagação de um processo epidêmico parecem facilitar a sua compreensão. As vantagens advindas da utilização de simulações no estudo proposto na Sequência de ensino aqui relatada aparentemente superaram os erros de interpretação ou as dificuldades de extrapolação observadas nas respostas de alguns estudantes. Ao contrário, percebemos um alto índice de compreensão das situações-problema, com argumentações que superaram algumas de nossas expectativas iniciais.

A possibilidade de observação de um processo de difícil visualização em escala global, haja vista as grandezas de tempo e espaço que envolvem a disseminação das epidemias, pode representar uma ferramenta interessante para aproximar tal estudo do mundo real do aluno, possibilitando que a tecnologia se torne um meio de integração entre o conhecimento científico e os problemas reais aos quais nos confrontamos cotidianamente, em consonância com a educação CTSA. Para tanto, devemos repensar a organização curricular da área de ciências da educação básica. A inclusão de atividades de simulação computacionais integradas ao currículo de ciências e biologia pode representar um fator enriquecedor para todos os conteúdos da área, desde que sejam observadas as necessidades materiais e de tempo, bem como a utilização de softwares adequados, para que a simulação atenda aos seus objetivos educacionais. A frequência de uso de atividades de modelagem na escola e o número de horas dispensadas em cada atividade parecem ser determinantes para a melhor compreensão das ferramentas de simulação por parte dos estudantes, como já observado em estudos anteriores (Barab *et al.*, 2000a; Mulinari e Ferracioli, 2008).

Agradecimentos

Agradecemos ao professor Laércio Ferracioli e à equipe do Laboratório de Tecnologias Interativas Aplicadas à Modelagem Cognitiva da Universidade Federal do Espírito Santo pela permissão e colaboração durante o período que usamos o programa Modelab2.

Referências

BARAB, S. A., HAY, K. E., BARNETT, M. e KEATING, T. (2000a). Virtual Solar System Project: Building Understanding through Model Building. **Journal of Research in Science Teaching**, 37, 719-756.

BARAB, S. A., HAY, K. E., SQUIRE, K., BARNETT, M., SCHMIDT, R., KARRIGAN, K., YAGAMATA-LYNCH, L. e JOHNSON, C. (2000b). Virtual solar system project: Learning through a technology-rich, inquiry-based, participatory learning environment. **Journal of Science Education and Technology**, 9(1), 7-25.

BARATA, R. de C. B. Epidemias. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 1, Mar. 1987.

Disponível

em:<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102311X1987000100002&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 18 Nov. 2008. doi: 10.1590/S0102-311X1987000100002.

BARRETO, M. L. Por uma epidemiologia da saúde coletiva. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, 1 (2): 104 -122, 1998.

BENSSON, U. e VIENNOT, L. (2004). Using models at the mesoscopic scale in teaching physics: Two experimental interventions in solid friction and fluid statics. **International Journal of Science Education**, 26, 1083-1110.

Brasil. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCN + Ensino Médio: Orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília: Ministério da Educação, 2002.

CLEMENT, J. (1989). Learning via Model Construction and Criticism. In: J.A. Glover, R.R. Ronning & C.R. Reynolds (Eds.) **Handbook of Creativity** (341-381). New York: Plenum Press.

GROSSLIGHT, L., UNGER, C. e JAY, E. (1991). Understanding Models and their Use in Science: Conceptions of Middle and High School Students and Experts. **Journal of Research in Science Teaching**, 28, 799-822.

JUSTI, R.S. e GILBERT, J.K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. **International Journal of Science Education**, 24, 369-387.

MELLAR, H. e BLISS, J. (1994) Introduction: Modelling and Education. In: Mellar, H., Bliss, J., Boohan, R., Ogborn, J. & Topsett (Eds.) **Learning with Artificial Worlds: Computer-Based Modelling in the Curriculum**. The Falmer Press, London & Washington, D.C., 1994. Cap 1, p. 1-7.

MOREIRA, A. F. e BORGES, O. Práticas de interpretação mediadas por experimentos e simulações. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 3, 2001, Atibaia, SP. Atas [CD-ROM]. Organizadas por Marco Antônio Moreira, Ileana Maria Greca e Sayonara Cabral da Costa. Porto Alegre: s.n., 2001.

MULINARI, M. H. e FERRACIOLI, L. (2008). A Utilização da Tecnologia da Informação no Ensino de Biologia: Um Experimento com um Ambiente de Modelagem Computacional. Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia- **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v1,n1,pp98-115. 2008.

PASSMORE, C. e STEWART, J. (2001). A Modeling Approach to teaching Evolutionary Biology in High Schools. **Journal of Research in Science Teaching**, 39, 185-204.

RICARDO, E. C. (2007). Educação CTSA: obstáculos e possibilidades para sua implementação no contexto escolar. **Ciência & Ensino**, v. 01, p. 01-12, 2007.

SAARI, H. e VIIRI, J. (2003). A research-based teaching sequence for teaching the concept of modeling to seventh-grade students. **International Journal of Science Education**, 25, 1333-1352.

SILVA, R. M. A., GOMES, T. e FERRACIOLI, L. ModeLab2: Um Ambiente de Modelagem Qualitativa e Criação de Jogos. In: BRAZILIAN SYMPOSIUM ON COMPUTER GAMES AND DIGITAL ENTERTAINMENT, 5, 2006, Recife, PE. Computing short-papers... Recife: SB Games, 2006.

Manoel Messias Santos Sobrinho. Sistema Piaget de Ensino e professor PII da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. Mestre em Tecnologia pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. manoelmss@gmail.com

Antônio Tarciso Borges. Universidade Federal de Minas Gerais. Professor do Programa de Pós-graduação em Educação da UFMG. Doutor em Educação em Ciências - University of Reading. tarciso@coltec.ufmg.br