



## A modelagem dinâmica computacional no processo de ensino-aprendizagem: algumas questões para reflexão

**Fábio Ferrentini Sampaio**

Núcleo de Computação Eletrônica – NCE/UFRJ

ffs@nce.ufrj.br

### Resumo

O presente trabalho apresenta algumas questões relativas ao uso de modelos e modelagem no ensino - em particular no ensino de ciências - relacionando-as com outras áreas de pesquisa em cognição, educação e em informática. O objetivo primeiro do trabalho é o de despertar o interesse de outros pesquisadores e professores para esta área ainda incipiente em termos de pesquisa e aplicações em sala de aula no Brasil.

**Palavras-chave:** Modelagem e Ensino; Informática e Educação; Ensino de Ciências.

### Introdução

Com o objetivo de ressaltar a importância da pesquisa em modelos e modelagem num contexto de educação e despertar o interesse de outros pesquisadores/professores para esta área, optou-se por iniciar o presente trabalho com a definição de alguns conceitos básicos em modelagem, passando então para a apresentação de justificativas de sua utilização em sala de aula. O trabalho termina, não com resultados encontrados, mas com algumas perguntas de pesquisa ainda por serem respondidas e que contribuirão para que se continue pensando sobre a utilização desse ferramental em sala de aula.

### Definição de Modelos, Modelagem e Simulação

Um modelo pode ser visto como um novo mundo construído para representar fatos/eventos/objetos/processos que acontecem no nosso mundo ou num mundo imaginário. Normalmente tais modelos são mais simples que o 'mundo a ser modelado' e na maioria dos casos interagimos com esses modelos com o claro objetivo de melhor compreender o mundo modelado.

Um outro importante aspecto dos modelos e do processo de modelagem é que uma mesma realidade pode ser modelada de diferentes maneiras, representando diferentes aspectos do problema ou diferentes visões do modelador. O modelo de funcionamento da economia de um país e suas implicações nas

políticas econômicas e sociais são, em geral, bastante diferentes, dependendo do ponto de vista político. Neste caso, no entanto, não se busca o exato entendimento do funcionamento da economia de um país (o que talvez seja impossível de se atingir), mas sim as possibilidades de discussão das idéias em torno de um determinado problema.

A palavra **modelo** tem diferentes significados para diferentes áreas do conhecimento tais como lógica e engenharia. O modelo de um sistema de axiomas, por exemplo, pode ser visto como uma estrutura de dados onde os axiomas são válidos e interpretados como um conjunto de “leis” que governam um determinado mundo. No entanto quando alguém fala de um modelo de um aeroplano, o que o indivíduo está certamente interessado é num sistema simplificado capaz de simular algumas características significativas de um outro sistema (neste caso o próprio avião) que pertence ao mundo real. Por sua vez, o modelo de um pássaro (ou como alguns cognitivistas preferem chamar – modelo prototípico) é um exemplo ideal ou padrão utilizado por nós para fazer comparações ou identificar/categorizar outros animais.

Cada um dos exemplos acima captura um diferente aspecto dos sistemas de modelagem: permitem a representação de estruturas significantes e eventos de um determinado mundo; contêm um conjunto de regras que governam o funcionamento de suas partes; e podem ser utilizados para comparar/descrever diferentes representações (SOWA, 1984). Softwares

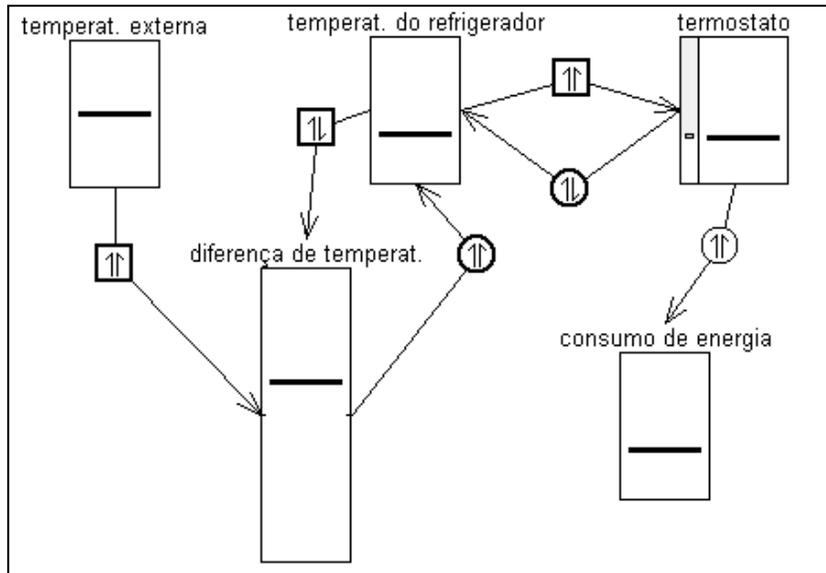
computacionais que trabalham desta forma são chamados de sistemas ou ambientes de modelagem computacional.

Por sua vez, **simulação** está associada a idéia de um componente de software que objetiva imitar o comportamento de um certo domínio. De acordo com STEED (1992) a diferença entre **modelos** e **simulações** é que

“(modelos são) uma representação de estruturas, enquanto que a simulação infere um processo de iteração entre as estruturas que compõem o modelo com o objetivo de criar um comportamento”.

Em outras palavras pode-se dizer que as **simulações** focam os resultados (saídas) gerados pela execução do modelo (a qual o usuário não tem acesso) que elas contêm.

Um sistema de modelagem pode ser utilizado tanto para criar modelos, quanto simulações. Por exemplo, um sistema como o JLinkIt (PEDRO E SAMPAIO, 2007) permite a criação na web de um modelo, entre outros, que representa o funcionamento de um sistema de refrigeração (Figura 1). Alunos interessados em estudar as relações entre temperatura externa e consumo de energia podem simular algumas situações com o modelo criado através da mudança de alguns de seus parâmetros (ex. variável *temperat. externa*).



**Figura 1** - Modelo de funcionamento de um refrigerador representado no sistema JLinkIt.

### Uma Classificação de Modelos e Sistemas de Modelagem

Diferentes características dos sistemas de modelagem podem ser utilizadas para classificá-los. No entanto aqui serão enfocados os aspectos pertinentes ao uso educacional destes ambientes. A classificação apresentada foi concebida por Bliss e colaboradores (1992) quando então trabalhavam no desenvolvimento e aplicação de ambientes de modelagem em escolas inglesas.

**Modelos dinâmicos versus estáticos** – Uma importante dimensão dos sistemas de modelagem trata da sua relação com o tempo. Sistemas de modelagem que permitem a construção de modelos que se modificam com o tempo são conhecidos como ferramentas de modelagem dinâmica. Caso contrário estes ambientes são ditos estáticos. Um exemplo de um modelo dinâmico é do comportamento do sistema econômico de um país citado anteriormente. Já o modelo em escala de um avião para testagem num túnel de ar, pode ser visto como um modelo estático<sup>1</sup>.

**Modelos quantitativos** – São fortemente baseados numa descrição matemática das variáveis e relações existentes entre as mesmas para descrever uma determinada situação do mundo representado. Nestes ambientes, para descrever um problema é necessário que os usuários identifiquem suas principais variáveis e especifiquem a exata relação funcional entre as mesmas. Dentro desta perspectiva, a tentativa de explicar como a velocidade de um determinado veículo se modifica ao longo de um período de tempo, passa necessariamente pela formulação e solução de um sistema de equações do tipo<sup>2</sup>:

<sup>1</sup> Neste trabalho tratamos apenas dos modelos e sistemas de modelagem dinâmica.

<sup>2</sup> Aqui está parcialmente apresentado o Método de Euler para solução de equações diferenciais, onde  $V$  é a velocidade final a ser calculada,  $V_0$  a velocidade inicial,  $\Delta T$  o incremento de intervalo de tempo,  $a$  aceleração,  $X$  a posição final a ser calculada,  $X_0$  a posição inicial.

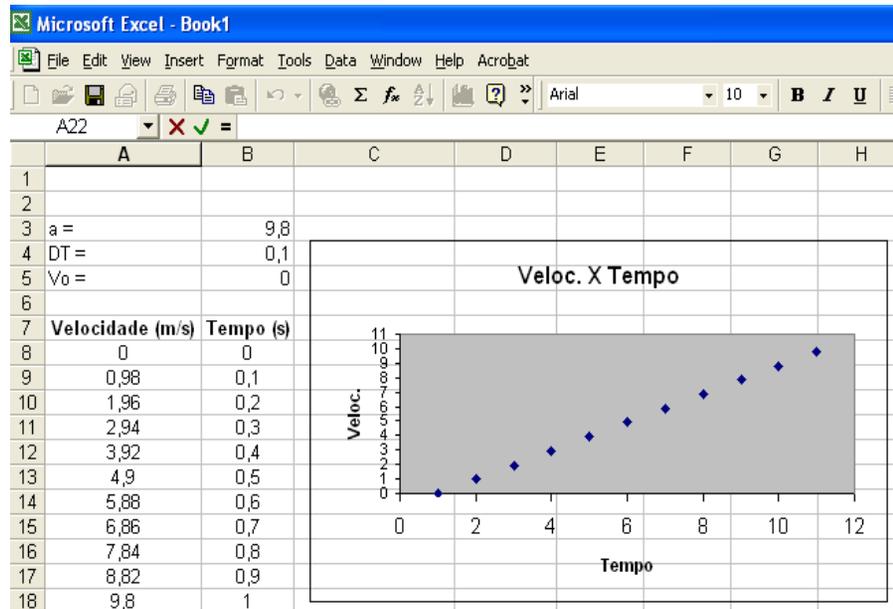
$V := V_0 + a * DT;$   $X := X_0 + V * DT;$   $a := ?;$   $DT := ?;$   
 $V_{inicial} := ?;$   $X_{inicial} := ?$

Ambientes de modelagem quantitativa são provavelmente os mais conhecidos, com exemplos de aplicação tanto em atividades do dia-a-dia, quanto no suporte a trabalhos científicos. Entretanto, esta abordagem analítica de representação de idéias não permite um maior aprofundamento em questões relativas ao *como* um determinado comportamento acontece (DILLON, 94). Planilhas eletrônicas do tipo Excel são um dos exemplos mais comuns de ambientes de modelagem quantitativo. Na Figura 2 abaixo temos o exemplo de uma planilha apresentando o gráfico de velocidade de um corpo em queda livre com aceleração constante igual a  $9,8\text{m/s}^2$ .

**Modelos qualitativos** – São fortemente baseados numa especificação descritiva dos objetos e suas relações com o mundo a ser modelado. No nosso dia-a-dia estamos bastante acostumados a utilizar este tipo de mecanismo para explicar a outras pessoas como determinados fenômenos ocorrem. Apesar destes tipos de modelos não serem muito apropriados para apresentação automática e repetição de simulações, algumas ferramentas computacionais como WorldMaker<sup>3</sup> (LAW, 2004), permitem que tais descrições sejam feitas utilizando conceitos de automatos celulares e probabilidades.

<sup>3</sup> Uma versão em Inglês do software pode ser baixada em <http://people.cite.hku.hk/nlaw/>. Uma versão em Português do software foi implementada pelo Modelab da UFES: [www.modelab.ufes.br](http://www.modelab.ufes.br).

**Modelos semi-quantitativos** – São caracterizados pela descrição de objetos e eventos de uma forma ordinal (em contrapartida à forma numérica adotada pelos modelos quantitativos) tais como “X aumenta Y” ou “X diminui Y”. Da mesma forma que os modelos qualitativos, são bastante utilizados na descrição de situações do dia-a-dia tais como “Se o número de clientes num banco aumenta então o tamanho da fila dos caixas também vai aumentar... Se  aumentarmos o número de caixas, o tamanho da fila diminuirá”. Apesar de relacionamentos do tipo aumenta, diminui, maior, menor, etc. não serem matematicamente precisos, servem para externalizar importantes informações sobre o *como* e o *porque* da ocorrência de mudanças em determinados fenômenos/situações. Ao contrário do que possa parecer, este tipo de construção não é apenas empregada por cidadãos comuns para explicar situações do dia-a-dia. Pesquisadores na área de cognição e inteligência artificial têm argumentado que o raciocínio a nível semi-quantitativo também é largamente empregado por especialistas para dar explicações causais de sistemas físicos (de KLEER & BROWN, 1983; DILLON, 1994).



**Figura 2** - Exemplo de uso de planilha Excel para representar o modelo de um corpo em queda livre.

### Modelagem em Sala de Aula – Justificativa

A questão da modelagem no ensino pode ser abordada a partir de pelo menos três perspectivas: a construção do conhecimento em Ciências; a explicitação e refinamento das representações mentais sobre um conhecimento; e a percepção do mundo a partir de uma visão de dinâmica de sistemas.

**Construção do conhecimento em Ciências** - O objetivo primeiro das ciências é o de tentar entender e explicar fenômenos que ocorrem no mundo real. Os modelos têm papel fundamental neste processo, sendo utilizados pelos cientistas como importantes “ferramentas do pensamento” no auxílio ao desenvolvimento de suas atividades. Dentro desta perspectiva, a atividade (ou metodologia) científica pode ser vista como o ciclo apresentado na Figura 3.

Este processo requer a manipulação de um conjunto de habilidades cognitivas tais como formulação e teste de hipóteses; abstração; idealização; etc. (ENEM, 2002). Entretanto, a grande maioria das escolas que temos hoje não enfatiza estes aspectos da construção do conhecimento. Na maioria dos casos limitam-se a ensinar conceitos “vazios de conhecimento” e sem relação direta com o dia-a-dia dos alunos (SCHEKER, 2008; HARPER e outros, 1988).



**Figura 3** - Ciclo que retrata a dinâmica da metodologia científica.

Permitir aos estudantes tornarem-se “alfabetizados em ciências” é essencialmente dar-lhes a oportunidade de pensar de forma crítica sobre conceitos científicos e questioná-los (PAPERT, 1980; STEED, 1992; WONG, 1993). O importante então não é o de fazê-los encontrar respostas corretas pela simples aplicação de fórmulas, mas dar-lhes a oportunidade de tornarem-se aprendizes ativos, engajando-os em atividades através das quais podem desenvolver seu próprio conhecimento dos fenômenos naturais. Em tais ambientes educacionais as ferramentas de modelagem computacional podem ser utilizadas para “... explorar domínios onde os professores sabem um pouco mais que os alunos, mas não conhecem todas as respostas. Domínios que eles podem modelar com suas classes, (...) sobre os quais ambos podem compartilhar importantes momentos de descoberta (...)” (VITALE, 1988, p. 227).

**Explicitação e refinamento das representações mentais** – O trabalho com instrumentos de representação física como o

papel e lápis, permite a externalização de conceitos e significados que fazem parte das representações mentais de um indivíduo sobre um determinado fenômeno, ajudando-o a pensar sobre o que se intenciona representar [NOVAK & GOWIN, 1984]. A principal vantagem educacional neste tipo de abordagem é o de se criar a possibilidade de “dar uma forma concreta a idéias abstratas”. Os computadores – e em particular as ferramentas de modelagem – permitem aos estudantes ir além à exploração destes conhecimentos, investigando as relações entre diferentes objetos, formulando e testando hipóteses, etc. (MELLAR e outros, 1994). Na verdade o que se estará proporcionando em tais ambientes é a reconstrução dos modelos mentais (Johnson-Laird, 1983) dos alunos sobre um determinado conhecimento. No momento em que os estudantes se confrontam com as inadequações de seus modelos mentais, abre-se a oportunidade para que eles procurem formas alternativas de entendê-los, ou seja, a busca por modelos mentais alternativos<sup>4</sup> (MELLAR e outros, 1994).

**Percebendo o mundo a partir de uma visão de dinâmica de sistemas** – A teoria geral sobre sistemas pode ser entendida como uma “nova” forma de entender fenômenos

<sup>4</sup> Neste processo os professores têm papel fundamental para levar os alunos a construir modelos internos que conformam com as teorias científicas aceitas.

dinâmicos - sejam eles físicos, biológicos ou sociais - que ocorrem no nosso dia-a-dia, levando-se em conta não apenas as relações causais entre pares de variáveis, mas o comportamento do sistema como um todo. Suas origens estão na engenharia de sistemas de controle e comunicação onde se procura, principalmente, entender o funcionamento dos sistemas servomecânicos (ANDERSON e JOHNSON, 1997; FORRESTER, 1990; KURTZ DOS SANTOS, 1995).

Três importantes conceitos estão associados a esta idéia: relações de causa e efeito, ciclos de retroalimentação ("feedback loops") e processos cibernéticos. Do ponto de vista educacional, o entendimento e aplicação destes conceitos abre aos estudantes a possibilidade de entender sistemas dinâmicos complexos, focando tanto nas formas de um determinado sistema, quanto também o *como* e o *porque* tais sistemas mudam com o passar do tempo (ROBERTS, 1996; MANDINACH e CLINE, 1994; CLEXCHANGE, 2009).

### Considerações Finais

A justificativa principal para a utilização de ambientes de modelagem em sala de aula pode ser dada pelo fato de que

através da expressão e construção de modelos, os estudantes podem desenvolver o seu próprio entendimento a cerca do funcionamento de sistemas dinâmicos (RILEY, 1990). Durante tais atividades os alunos estão num constante processo de "externalização" de seus modelos mentais, dando formas concretas a idéias abstratas. Neste processo, importantes habilidades cognitivas tais como abstração, formulação e testagem de hipóteses são trabalhadas.

A implantação destes sistemas em ambientes educacionais necessita de uma metodologia que facilite o entendimento e utilização dos mesmos por parte dos alunos. A proposta de Dinâmica de Sistemas pode suprir esta necessidade uma vez que segundo (ROBERTS, 1996): permite uma maior clareza no entendimento do comportamento de sistemas, apresentando os seus principais conceitos a partir de uma linguagem gráfica inteligível (conhecida como diagramas causais); naturalmente exploram o *como* e o *porque* do comportamento dos sistemas a partir de uma abordagem sequencial, em estágios, do tipo top-down, favorecendo a introdução e um melhor entendimento dos mesmos.

Diferentes enfoques de introdução de modelos e modelagem no processo de ensino-aprendizagem de Ciências, a partir de uma perspectiva da Dinâmica de Sistemas, vêm ocorrendo em diferentes Escolas e Universidades nos EUA e Europa (CLE, 2009; OXFORD, 2009; IDN, 2009). No Brasil existem trabalhos

em desenvolvimento na Fundação Universidade do Rio Grande, focando aspectos de ecologia e meio-ambiente (<http://www.modelciencias.furg.br/bin/downloads/index.php>), no Núcleo de Computação Eletrônica da UFRJ onde investiga-se o desenvolvimento e utilização de novos ambientes de modelagem (OLIVEIRA e SAMPAIO 2008; CARDOSO, 2004; ([www.nce.ufrj.br/ginape](http://www.nce.ufrj.br/ginape)) e no Modelab da UFES onde é estudada a relação dos modos de raciocínio baseados no senso comum em Ciências e modelagem (<http://www.modelab.ufes.br/>).

Na grande maioria dos projetos desenvolvidos fora do Brasil é utilizado o software para construção e exploração de modelos chamados STELLA (**S**tructural **T**hinking **E**xperimental **L**earning **L**aboratory with **A**nimation) com versões para IBM PC compatíveis e Macintosh (HPS, 2009). Aqui no Brasil temos disponível para download gratuito o ambiente de modelagem JlinkIt (<http://www.nce.ufrj.br/ginape/jlinkit/index.htm>) e o SQRLab (<http://sqrllab.modelab.org/>).

O olhar sobre a questão da modelagem em sala de aula nas escolas brasileiras abre-se em diversas questões ainda por serem respondidas. Algumas dessas questões estão sendo tratadas por diferentes pesquisas, tanto em educação quanto informática e cognição, desenvolvidas pelos grupos mencionados acima. Abaixo relacionamos algumas delas.

### Algumas questões gerais

- Como motivar professores e alunos a se engajarem em projetos que incluam a utilização da modelagem dinâmica em sala de aula, uma vez que o assunto não faz parte do nosso currículo escolar?
- De que forma introduzir modelos e modelagem em sala de aula de forma a promover uma integração entre as disciplinas da área de ciências exatas (tais como Física e Biologia) e sociais (tais como História, Geografia)?

### Algumas questões específicas

- Que elementos básicos (*building blocks*) deve possuir um determinado ambiente de modelagem a fim de permitir, de forma simples e coerente, a externalização das representações mentais dos alunos? Estes elementos básicos são/devem ser diferentes para alunos de diferentes idades?
- Como os alunos utilizam ambientes de modelagem para externalizar seus conhecimentos sobre um determinado assunto?
- Que relações podem ser feitas entre modelos construídos/explorados por alunos e suas concepções espontâneas sobre determinado conteúdo? É possível



trabalhar com estes ambientes de forma a promover uma mudança conceitual por parte dos alunos?

### Referências bibliográficas

ANDERSON, V.; JOHNSON, L. **Systems Thinking Basics – From concepts to causal loops**. Pegasus Communications. 1997.

BLISS, J., MELLAR, H., & OGBORN, J. **Tools for Exploratory Learning Programme - Technical Report 2 and 3: Semi-quantitative Reasoning - Exploratory (ESRC Information Technology In Education Initiative - End of Award Report)**. King's College, Imperial College and Institute of Education - London. 1992.

CARDOSO, R. P. **Um Estudo Exploratório sobre a Utilização do Ambiente de Modelagem Computacional WlinkIt na Introdução de Gráficos Lineares com Estudantes da 7a. Série do Ensino Fundamental**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Informática IM/NCE. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2004.

CLEXCHANGE. Creative Learning Exchange. [www.cle.org](http://www.cle.org) (Acesso em Janeiro de 2009).

DE KLEER, J., & BROWN, J. S. Assumptions and Ambiguities in Mechanistic Mental Models. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), **Mental Models**. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum. 1983.

DILLON, C. Qualitative Reasoning about Physical Systems - An Overview. **Studies in Science Education**. 23, 39-57. 1994.

ENEM . Matriz das 5 competências e 21 habilidades avaliadas pelo ENEM. **Revista do ENEM - INEP**. 2, 2. 2002.

FORRESTER, J. M. **Principles of Systems**. Cambridge, MA: Wright-Allen Press Inc. 1968.

HARPER, B., CECCON, C., OLIVEIRA, M. D., OLIVEIRA, S. D. **Cuidado, Escola ! Desigualdade, domesticação e algumas saídas**. {26<sup>a</sup>. edição} Editora Brasiliense. 1989.

HPS – HIGH PERFORMANCE SYSTEM. <http://www.hps-inc.com/>. (Acesso em Janeiro de 2009).

IDN. Institute of Science Education. Bremen. Alemanha. [http://www.idn.uni-bremen.de/idpstart\\_eng.php](http://www.idn.uni-bremen.de/idpstart_eng.php) (Acesso em Maio 2009).

JOHNSON-LAIRD, P. N. **Mental Models: Towards a cognitive science of language, inference and**



**consciousness.** Cambridge, MA: Harvard University Press. 1983.

KURTZ DOS SANTOS, A. C. **Introdução a Modelagem Computacional na Educação.** Rio Grande: Editora da Furg - Brasil. 1995.

LAW, N. Scaffolding Scientific Conceptualizations: From iconic modelling & simulations to collaborative gaming. In M. Kankaanranta, P. Neittaanmaki & P. Hakkinen (Eds.), **Elektronisten pelien maailmoja** (in Finnish). Jyvaskyla: Institute for Educational Research & Agora Center, University of Jyvaskyla. 2004.

MANDINACH, E. B., & CLINE, H. F. **Classroom Dynamics: Implementing a Technology -Based Learning Environment.** Hillsdale, N.J: Lawrence Erlbaum Associates. 1994.

MELLAR, H., BLISS, J., BOOHAN, R., OGBORN, J., & TOMPSETT, C. (Eds.). **Learning with Artificial Worlds: Computer Based Modelling in the Curriculum** (1st. ed.). London: The Falmer Press. 1994.

NOVAK, J. D., & GOWIN, D. B. **Learning How to Learn.** Cambridge University Press. 1984.

OLIVEIRA, C. B. P.; SAMPAIO, F. F. Teaching Physics to High Schools Students with JlinkIt Computer Modeling Tool Using

the Ideas of System Dynamics and Exploratory Learning . In CLE Systems Thinking and Dynamic Modeling Conference. 2008. Wellesley, MA (USA).

OXFORD University. Projeto Modelling4All .  
<http://modelling4all.nsms.ox.ac.uk/community/index.html> .  
(Acesso em Maio de 2009).

PAPERT, S. **Mindstorms, children, computers and powerful ideas.** NY: Basic Books. 1980.

PEDRO, M. V.; SAMPAIO, F. F. JlinkIt: Um ambiente de modelagem dinâmica computacional para o ensino-aprendizagem de Ciências. In XVIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação. 2007. **Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação.** São Paulo, Brasil.

RILEY, D. Learning about Systems by Making Models. **Computers and Education**, 15, 1, 255-263. 1990.

ROBERTS, N. **Introduction to Computer Simulation - A system dynamics modelling approach** (1st. ed.). Productivity Press. 1996.

SCHECKER, H. Modeling physics: System dynamics in physics education. **The Creative Learning Exchange** 5, 2008.



SOWA, J. F. **Conceptual Structures Information Processing in Mind and Machine**. MA: Addison-Wesley Publishing Company. 1984.

STEED, M. STELLA, A Simulation Construction Kit: Cognitive Process and Educational Implications. **Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching**, 11, 39-52. 1992.

VITALE, B. Psycho-Cognitive Aspects of Dynamic Model-Building in LOGO: A Simple Population Evolution and Predator/Prey Program. **Journal of Educational Computing Research**. 4, 3, 227-251. 1988.

WONG, E. D. Self-generated Analogies as a Tool for Constructing and Evaluating Explanations of Scientific Phenomena. **Journal of Research in Science Teaching**. 30, 4, 367-380. 1993.

### Sobre o autor

Fábio Ferrentini Sampaio é Doutor em Educação/Tecnologias no Ensino pela Universidade de Londres e atua na área de Informática, Educação e Sociedade do Programa de Mestrado em Informática da UFRJ. Coordena a Pós-Graduação em Tecnologias da Informação Aplicadas à Educação (PGTIAE) do NCE/UFRJ.

## Dynamic computational modeling in the teaching-learning process: issues for reflection

### Abstract

This work presents some questions related to the use of models and of modeling in teaching – in particular in science teaching and establishes relationships between these questions and other research areas such as cognition, education and information systems. The main goal of this paper is to raise interest of other researchers and teachers in this area, which is relatively new in terms of research and classroom applications in Brazil.

**Keywords:** modeling and teaching; information systems and education; science teaching