

# Relatório Técnico

**Núcleo de  
Computação Eletrônica**

## **Modelagem Dinâmica Computacional e o Processo de Ensino-Aprendizagem: Algumas Questões para Reflexão**

**Fábio Ferrentini Sampaio**

**NCE - 36/99**

**Universidade Federal do Rio de Janeiro**

# **MODELAGEM DINÂMICA COMPUTACIONAL E O PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM: ALGUMAS QUESTÕES PARA REFLEXÃO<sup>1</sup>**

**Fábio Ferrentini Sampaio**

Professor do Mestrado IM-NCE/UFRJ, Pesquisador do NCE/UFRJ.

Caixa Postal 2324 – Rio – RJ. CEP 20001-970 – Brasil email – 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 para esta área ainda incipiente em termos de pesquisa (e aplicações em sala de aula) no Brasil.

## **ABSTRACT**

This work presents some ideas related to the use of models and modelling in education (particularly science education), relating them to other areas of research such as cognition, education and informatics. The aim of this work is to stimulate other researchers to investigate in this field, which is still incipient in terms of research in Brazil.

---

<sup>1</sup> Artigo Publicado nas Atas da Conferencia Internacional de Informatica e Educação do Chile - TISE'98. Projeto financiado pelo CNPq (No. 520802/97-7) e FUJB/UFRJ

## **I – 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.

## **II - 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.

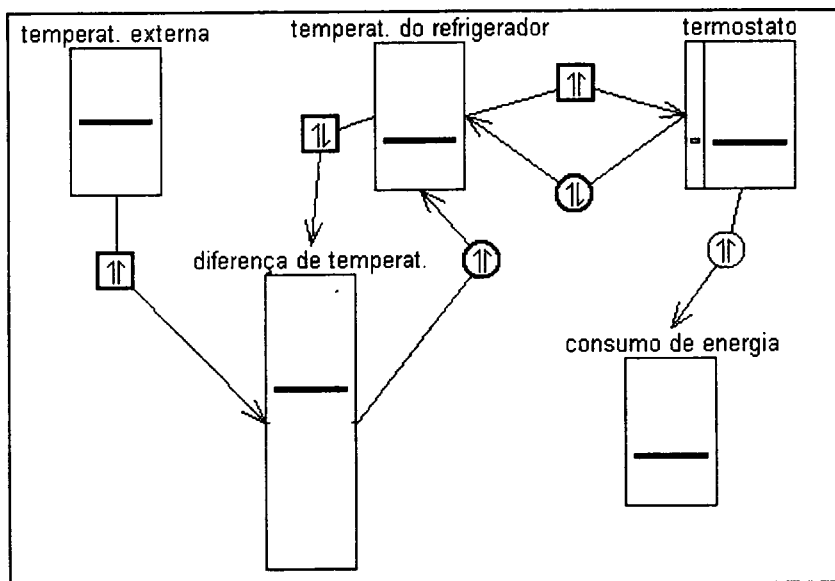
A palavra **modelo** tem diferentes significados para diferentes áreas do conhecimento tais como lógica, engenharia ou senso comum. O modelo de um sistema de axiomas, por exemplo, pode ser visto como uma estrutura de dados onde os axiomas são válidos e interpretados como um conjunto de “leis” que governam 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 de 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 LinkIt (Sampaio, 95) permite a criação, entre outros, de um modelo que representa o funcionamento de um sistema de refrigeração (Fig.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 WLinkIt

### III – Uma Classificação de Modelos e Sistemas de Modelagem

Existem diferentes características dos sistemas de modelagem que 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 & Ogborn(1992a) quando então trabalhavam no desenvolvimento e aplicação de ambientes de modelagem em escolas inglesas [Bliss et all, 1992b).

**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 (evoluem) 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>2</sup>.

**Modelos quantitativos** – São fortemente baseados numa descrição matemática das variáveis e relações existentes entre as mesmas para descrever (ou modelar) 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 veiculo se modifica ao

longo de um período de tempo, passa necessariamente pela formulação e solução de um sistemas de equações do tipo<sup>3</sup>:

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

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 quantitativos.

**Modelos qualitativos** – Fortemente baseados numa especificação descritiva dos objetos e suas relações do 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 Linx88 (Briggs et all, 1989), VARILAB (Hartley et all, 1991) e 'Explore your Options'(Bliss & Ogborn, 1992a), permitem que tais descrições sejam feitas utilizando uma metáfora de grafos orientados, de forma que uma certa automação possa ser atingida.

**Modelos semi-quantitativos** – Caracterizados pela descrição de objetos e eventos de uma forma ordinal (em contrapartida à forma numérica como nos modelos

---

<sup>2</sup> Neste trabalho trataremos apenas dos modelos e sistemas de modelagem dinâmica.

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 sejam 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; Kuipers, 1994) .

#### **IV – Modelagem em Sala de Aula – Justificativas**

A questão da modelagem no ensino pode ser abordada a partir de pelo menos 3 perspectivas: construção do conhecimento em Ciências; explicitação e refinamento das representações mentais sobre um conhecimento; e 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

---

<sup>3</sup> Aqui está parcialmente apresentado o Método de Euler para solução de equações diferenciais, onde V é a velocidade final a ser calculada, V<sub>0</sub> a velocidade inicial, DT o incremento de intervalo de tempo, a a aceleração,



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 2.

Este processo requer a manipulação de um conjunto de habilidades cognitivas tais como formulação e teste de hipóteses; abstração; idealização; etc. 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 (Harper et ali, 1988).

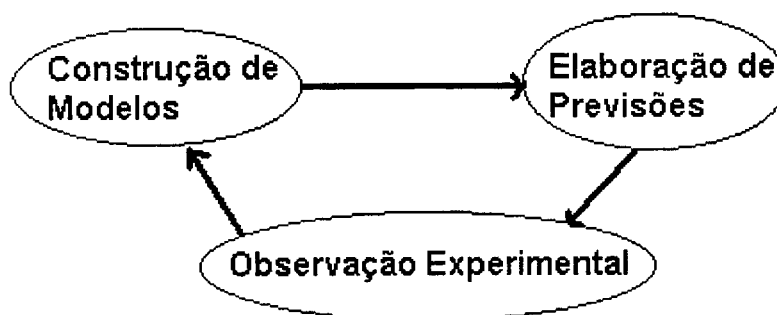


Figura 2: Ciclo que retrata a dinâmica da metodologia científica

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, permitem 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 os estudantes irem além na exploração destes conhecimentos, investigando as relações entre diferentes objetos, formulando e testando hipóteses, etc (Mellar et al, 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> (Webb, 1990) .

**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 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 (Kurtz dos Santos, 1995, Forrester, 1990).

Três importantes conceitos estão associados a esta idéia: relações de causa e efeito, ciclos de retroalimentação (“feedback loops”) e processos cibernéticos (Forrester,1968, Roberts,1983, Kurtz dos Santos, 1995). Do ponto de vista educacional, o entendimento e aplicação destes conceitos abre aos estudantes a possibilidade de entender sistemas dinâmicos complexos, focando tanto as formas de um determinado sistema, quanto também o como e o porque tais sistemas mudam com o passar do tempo (Roberts,1983, Mandinach,1994, CC-STADUS,98).

## **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

---

<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.

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 das mesmas por parte dos alunos. A proposta de Dinâmica de Sistemas pode suprir esta necessidade uma vez que (Toval & Flores,1990, Roberts,1983): permitem 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 diversas escolas e Universidades nos EUA<sup>5</sup> e Europa. No Brasil existem trabalhos em desenvolvimento na Fundação Universidade do Rio Grande focando aspectos de ecologia e meio-ambiente, no Núcleo de Computação Eletrônica da UFRJ onde investiga-se o desenvolvimento e utilização de novos ambientes de modelagem e no Modelab da UFES onde é estudada a relação dos modos de raciocínio baseados no senso comum em Ciências e modelagem (Ferracioli & Caldas, 1998). Na grande maioria destes projetos, o software escolhido para

---

<sup>5</sup> Para mais informações de projetos nos EUA, consultar <http://www.vensim.com/sdmail/sdbib.html>

construção e exploração de modelos é o STELLA (**S**tructural **T**hinking **E**xperimental **L**earning **L**aboratory with **A**nimation) com versões para IBM PC compatíveis e Macintoshes (HPS, 98).

O olhar sobre a questão da modelagem em sala de aula abre-se em diversas questões ainda por serem respondidas. Questões essas que podem ser tratadas por novas pesquisas tanto em educação quanto informática e cognição. 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**

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

**Bliss, J., Mellar, H., Ogborn, J., & Nash, C. (1992b).** Tools for Exploratory Learning Programme - Technical Report 2: Semi-quantitative Reasoning - Expressive (ESRC Information Technology In Education Initiative - End of Award Report). King's College London, Imperial College, Institute of Education - London.

**Briggs, J., Nichol, J., Brough, D., & Dean, J. (1989).** Linx88. London: PEG.

**CC-STADUS, (1998).** Cross Curricular Systems Thinking and Dynamics Using STELLA. <http://www.teleport.com/~sguthrie/cc-stadus.html> (acesso: Junho/98)

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

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

**Ferracioli, L. & Caldas, (1998),** Cadernos do Model@ab (<http://www.cce.ufes.br/dfis/lab/Modelab.html>), Instituto de Física da UFES, Vitória

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

**Hartley, J. R., Byard, M. J., & Mallen, C. L.** (1991). Qualitative Modelling and Conceptual Change in Science Students. In International Conference on the Learning Science, (pp. 222-230). Chicago: Northwestern University .

**Harper, B., Ceccon, C., Oliveira, M. D., Oliveira, S. D.** (1989). Cuidado, Escola ! Desigualdade, domesticação e algumas saídas. Editora Brasiliense, 26<sup>a</sup>. edição

**HPS – High Performance System** (1998). <http://www.hps-inc.com/>

**Johnson-Laird, P. N.** (1983). Mental Models: Towards a cognitive science of language, inference and consciousness. Cambridge, MA: Harvard University Press.

**Kuipers, B.** (1994). Qualitative Reasoning: Modelling and Simulation with Incomplete Knowledge. Cambridge: The MIT Press.

**Kurtz dos Santos, A. C.** (1995). Introdução a Modelagem Computacional na Educação. Rio Grande: Editora da Furg - Brazil.

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

**Mellar, H., Bliss, J., Boohan, R., Ogborn, J., & Tompsett, C.** (Eds.). (1994). Learning with Artificial Worlds: Computer Based Modelling in the Curriculum (1st. ed.). London: The Falmer Press.

**Novak, J. D., & Gowin, D. B.** (1984). Learning How to Learn. Cambridge University Press.

**Papert, S.** (1980). Mindstorms, children, computers and powerful ideas. NY: Basic Books.

- Riley, D.** (1990). Learning about Systems by Making Models. *Computers and Education*, 15(1), 255-263.
- Roberts, N.** (1983). *Introduction to Computer Simulation - A systemic dynamics modelling approach* (1st. ed.).
- Sampaio, F.F.** (1995). Ferramenta de modelagem dinâmica sem matemática. VI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação. Florianópolis, Brasil
- Sowa, J. F.** (1984). *Conceptual Structures Information Processing in Mind and Machine*. MA: Addison-Wesley Publishing Company.
- Steed, M.** (1992). STELLA, A Simulation Construction Kit: Cognitive Process and Educational Implications. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 11, 39-52.
- Toval, A., & Flores, M.** (1987). Computer Systems Simulation in Education: Description of an Experience. *Computers and Education*, 11(4), 293-303.
- Vitale, B.** (1988). 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.
- Webb, M.** (1990). Learning by Building Computer Based Qualitative Models. *Computer Education* (66), 6-8.
- Wong, E. D.** (1993). Self-generated Analogies as a Tool for Constructing and Evaluating Explanations of Scientific Phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(4), 367-380., & Sloep, P. B. (1992). *Mathematical Modelling in the Life Science*.