

## MODELAGEM COMO APRENDIZADO E O PAPEL DO MESTRE EM EDUCAÇÃO AMBIENTAL

ARION DE CASTRO KURTZ DOS SANTOS\*

Neste artigo tentaremos mostrar que a nova área conhecida por “Modelagem como aprendizado”, que tem como base a Dinâmica de Sistemas, suas técnicas e ferramentas, apresenta princípios compatíveis com um dos possíveis papéis do mestre em Educação Ambiental. O educador ambiental deverá possuir um conjunto de atributos que o qualifique para atuar junto a tomadores de decisão, como consultor para assuntos ambientais. Ele deverá estar apto a ser um mediador, dominando estruturas e técnicas de explicitação de conhecimento, sem ter a preocupação de usar os modelos para predizer, tendo a consciência de que estará entregando ao cliente um processo.

Abordaremos, brevemente, os seguintes aspectos que fundamentam a modelagem como aprendizado:

- *entrega de um processo*, que diz respeito a não desejarmos atuar como alguém com conhecimento superior ao do cliente;
- *desconfiança dos gerentes* quanto aos modelos apresentados por consultores especialistas;
- *modelos mentais* que os clientes articulam e são por nós explicitados;
- *explicitação do conhecimento* dos clientes através de técnicas diversas;
- *diagramas de elos causais e estruturas* como ferramentas de explicitação de conhecimento;
- *análise da complexidade dos modelos* utilizados para a tomada de decisão;
- *nosso papel como consultores* dentro do método de “modelagem como aprendizado”;
- *o papel do mestre em Educação Ambiental* no que diz respeito aos **princípios** da “modelagem como aprendizado”.

---

\* PhD em “Science Education”; Professor do Dep. de Física e do Mestrado em Educação Ambiental – FURG.

Telefone para contato: (0532) 30 1194

Email: arion@calvin.ocfis.furg.br.

Mais informações: <http://www.furg.br/projetos/profecamp>.

## Entrega de um processo

Tradicionalmente tem-se recomendado que um modelo desenvolvido sobre algum sistema particular seja o mais completo possível. Esse modelo deveria possuir o maior número de variáveis na tentativa de representar fidedignamente a realidade. O modelo seria desenvolvido seguindo-se algum referencial de modelagem e, após validado, seria utilizado para se fazer previsões sobre o comportamento das variáveis principais, em instantes de tempo futuros. Isto é, utilizaríamos o modelo para prever o futuro.

A idéia de usar modelos para **promover o aprendizado** requer mudanças em nossa visão tradicional de modelagem. Nosso objetivo será o de apoiar o raciocínio e o aprendizado, e não apenas fazer previsões mediante a utilização de modelos matemáticos. Entregaremos aos interessados um **processo** de aprendizagem e não um produto de difícil entendimento.

## Desconfiança dos gerentes

Provavelmente um gerente **não** reconhecerá como completo ou preciso um modelo computacional a ele apresentado por um consultor externo, sobre a dinâmica de sua companhia. Ele poderá não aceitar que o consultor seja, na verdade, especialista em gerenciamento e não adotará uma solução que não entenda, ou cujo proponente não tenha a sua confiança.

Os tomadores de decisão devem ser os autores dos seus próprios modelos, pois eles são os especialistas em sua área de atuação e não os mediadores. O mediador deverá ser um modelador, alguém que domine técnicas de explicitação de conhecimento, ajudando os tomadores de decisão a construir seus próprios modelos.

## Modelos mentais

Um modelo é um substituto para um objeto ou sistema. Qualquer conjunto de regras e relações que descreva algo é um modelo do que está sendo descrito. Todo o nosso pensamento depende de modelos.

Conceitos mentais são abstrações baseadas em nossa experiência. Esta experiência foi filtrada e modificada por nossa percepção individual e processos de organização, para produzir modelos mentais que representam o mundo em torno de nós.

Apesar de os modeladores freqüentemente dizerem que realizam um mapeamento dos modelos mentais, estão apenas filtrando e organizando o conhecimento dos modelos mentais para satisfazer o referencial da modelagem.

Ativaremos os modelos mentais dos participantes. Eles debaterão a estrutura de um modelo, construirão uma imagem mental e vocabulário compartilhados e, utilizando simulações, desenvolverão e testarão cenários estratégicos.

Como consultores, trabalharemos com os clientes para representar seus modelos mentais em alguma forma claramente articulada. Entendemos a evolução do aprendizado como um aumento na coerência dos modelos mentais. O processo de aprendizagem efetiva envolverá três estágios: mapear modelos mentais, desafiar modelos mentais e revelar inconsistências e, finalmente, melhorar os modelos mentais.

### **Explicitação do conhecimento<sup>1</sup>**

Ao trabalharmos com tomadores de decisão, será necessário que um time tecnicamente habilitado em modelagem converta, durante o encontro, mapas que representam políticas em equações que permitam delinear e conduzir experimentos de simulação.

Para explicitar o conhecimento de grupos, deverão ser usados questionários, entrevistas individuais e *workshops*. Não devemos confiar no uso de uma só técnica. A explicitação de conhecimento para apoiar a modelagem é ainda muito mais uma arte que ciência.

### **Diagramas de elos causais e estruturas**

Na literatura, os diagramas de elos causais aparecem como precursores da modelagem computacional com o programa STELLA. O próprio manual do programa apresenta seções com detalhamento do uso da técnica dos diagramas de elos causais (Richmond, 1987).

A figura 1 apresenta os diagramas de elos causais de retroalimentação, positivo e negativo, acoplados. As palavras *nascimentos*, *mortes* e *população*, escritas na origem e extremidade dos elos, são chamadas "variáveis". O sinal no centro do elo de retroalimentação caracteriza seu comportamento dinâmico, conforme será explicado a seguir. O sinal positivo na extremidade da seta significa uma variação na mesma direção, isto é, se a variável na origem do elo aumenta, a variável na extremidade também aumenta; se a variável na origem diminui, a variável na extremidade também diminui. O sinal negativo na extremidade da seta representa uma variação na direção oposta, isto é, se a variável na origem aumenta, a variável na extremidade diminui; se a variável na origem diminui, a variável na extremidade aumenta.

---

<sup>1</sup> Sobre explicitação do conhecimento, do original *knowledge elicitation*, veja a home page <http://superbook.ctg.albany.edu/~klarsen/elicit/>.

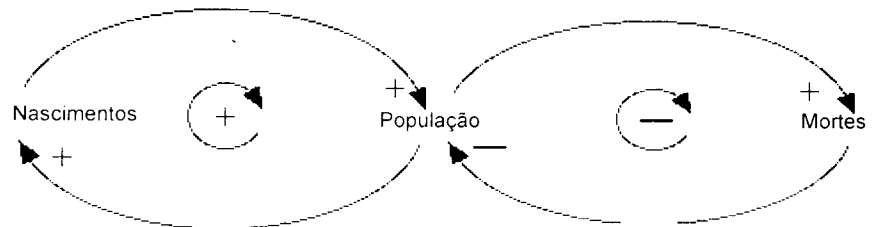


FIGURA 1 – Diagrama de elos causais mostrando a população sendo afetada pelos nascimentos e mortes.

A população é aumentada pelo número de nascimentos e diminuída pelo número de mortes. Mas quanto maior é a população, mais pessoas nascem e também mais pessoas morrem.

O elo de retroalimentação positivo sempre reforça a tendência de comportamento manifestada por qualquer variável componente. Por exemplo, se o número de nascimentos aumentar, levará a um aumento na população, o que levará, novamente, a um aumento nos nascimentos. Um sistema de retroalimentação positiva gera um processo de crescimento em que a ação constrói um resultado que gera ainda maior ação. São exemplos a multiplicação de bactérias, em que a taxa de geração depende da bactéria acumulada pelo crescimento passado, e uma conversa numa sala lotada, em que o barulho cada vez aumenta mais, aumentando o nível geral de ruído. Este tipo de sistema tem uma estrutura onde se encontram as forças do crescimento.

O elo de retroalimentação negativa é composto por um elo positivo entre população e mortes, significando que quanto maior for a população, mais pessoas morrerão, e um elo negativo entre mortes e população, significando que quanto mais pessoas morrem, menor a população. Se a taxa de nascimentos for nula, a população será afetada somente pela taxa de mortes, levando, assim, a uma diminuição da população. Um sistema de retroalimentação negativa procura por um objetivo e responde como consequência da falha em atingir o objetivo. São exemplos o aquecimento regulado por um termostato procurando atingir uma temperatura adequada e um relógio e seu proprietário ajustando a hora. Neste tipo de sistema se encontram as causas da flutuação e instabilidade.

Com base no diagrama causal, podemos construir o de fluxo, diretamente no programa STELLA, conforme mostrado na figura 2. Neste diagrama, a população é representada por um tanque e nascimentos e mortes por torneiras colocando e retirando a água deste tanque. As dependências dos nascimentos e mortes com a população são representadas pelas linhas unindo POP a nascimentos e mortes. Nascimentos e mortes são taxas e população é um nível.

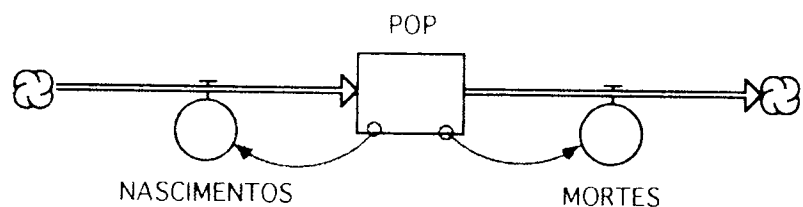


FIGURA 2 – Diagrama de fluxo no STELLA mostrando a população sendo afetada pelos nascimentos e mortes.

Se a taxa de nascimentos for maior que a de mortes, a população aumentará. Se a taxa de mortes for maior que a de nascimentos, a população diminuirá. Se ambas as taxas forem iguais, a população ficará a mesma com o passar do tempo (veja a figura 3).

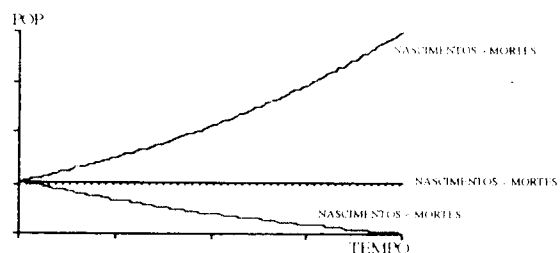


FIGURA 3 – Possíveis comportamentos dinâmicos da população versus tempo para diferentes valores das taxas de nascimento e morte.

Note-se a correspondência entre o diagrama causal e o de fluxo. Após definirmos a equação algébrica que evidencia a dependência dos nascimentos e mortes com a população, poderemos executar os modelos no computador, obtendo a animação dos diagramas, gráficos e tabelas do comportamento dinâmico da população, dos nascimentos e mortes.

Evidentemente que os diagramas de elos causais poderão ser bem mais complexos. Poderíamos ter incluído outros elos de retroalimentação representando subsistemas relevantes e que não foram considerados.

Embora tenhamos mostrado que a utilização dos diagramas de elos causais tradicionalmente precede a modelagem com STELLA, não consideraremos estes diagramas somente como precursores da modelagem computacional quantitativa. Eles serão considerados como uma ferramenta em seu próprio direito, tendo em vista o potencial para desenvolver e aprofundar idéias. Os diagramas causais serão úteis também para iluminar um modelo que já foi criado.

Utilizaremos uma biblioteca de estruturas disponíveis na obra de Forrester et al., que apresenta aspectos genéricos que podem ser aplicados a diferentes casos. Estudaremos o problema e procuraremos por estruturas úteis que serão apresentadas ao cliente, vagarosamente, durante o processo de construção do modelo. Este método assegurará a **sensação de propriedade** sobre o modelo.

Roberts (1978) considera que um estudo de uma certa dinâmica requer uma teoria específica de interações de causa e efeito que expliquem o problema de interesse. Pode-se, assim, descrever os ciclos de vida da pesquisa e projetos de desenvolvimento. Estes consistirão num conjunto de atividades subjacentes que interagem continuamente para produzir a história do projeto. As ações resultantes retroalimentam continuamente para outras áreas de decisão, para induzir mudanças adicionais.

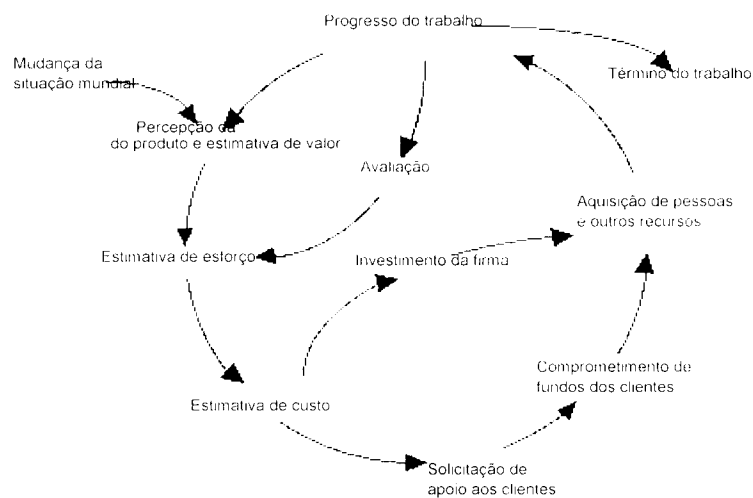


FIGURA 4 – Relações de retroalimentação no gerenciamento de projetos, por Roberts (1978).

Suponha-se, apenas para exemplificar, que estejamos discutindo a dinâmica de gerenciamento de um projeto, e que o grupo envolvido tenha percebido que após uma estimativa de custo teria que necessariamente investir capital para contratar recursos humanos e adquirir equipamentos. Conhecedores das estruturas existentes na literatura, como a da figura 4, poderíamos colocar num quadro um diagrama parcial rudimentar como o da figura 5, para dar início ao trabalho de modelagem feito pelos próprios gerentes.

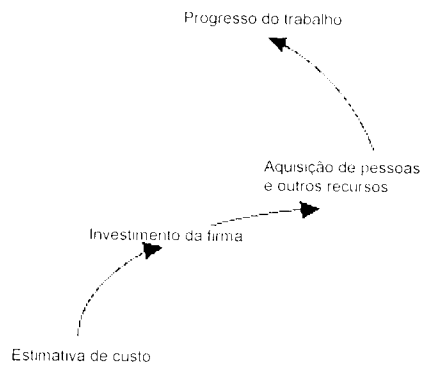


FIGURA 5 – Relações parciais de retroalimentação no gerenciamento de projetos. Modelo rudimentar usado para o início das discussões.

O diagrama sugere aos gerentes que, conforme por eles mesmos colocado, após uma estimativa de custo a firma decidiu investir para contratar pessoal e adquirir outros recursos, tendo como objetivo o progresso do trabalho do projeto. Dependendo das discussões, poderíamos também sugerir, como outra alternativa, que os gerentes implementassem uma política de solicitação de apoio financeiro aos clientes, o que ocorreria com certo atraso mas ajudaria na aquisição de recursos. O diagrama anterior poderia ser ampliado, cuidadosamente, para o da figura 6, de tal modo que a sensação de propriedade sobre o modelo fosse preservada.



FIGURA 6 – Relações parciais de retroalimentação no gerenciamento de projetos: duas possibilidades para aquisição de recursos.

O modelo final desenvolvido pelos gerentes provavelmente seria diferente do apresentado na figura 4, mas, ainda assim, nosso conhecimento sobre o modelo da figura 4 nos ajudaria a dar continuidade às discussões, caso fosse necessário.

### **Complexidade dos modelos**

Um modelo diminui seu valor ao tornar-se mais complexo. Há uma negociação entre a complexidade do modelo e o valor deste modelo – um compromisso entre funcionalidade e transparência.

Não deveremos tentar modelar por completo um certo processo, pois sabemos que não há limite quanto aos efeitos que devem ser incluídos, a fim de capturar o que está “realmente” acontecendo.

Não haverá exigência, a priori, quanto a uma **quantificação** ou mesmo uma análise detalhada de causa e efeito. As discussões que deverão acontecer em torno de tais pontos serão parte do processo de consultoria, que será entregue ao cliente.

### **Nosso papel como consultores**

Acreditamos que o cliente seja especialista em sua área de atuação, mas possuímos um método e um conjunto de ferramentas que o ajudarão a usar o conhecimento mais efetivamente.

Melhoraremos o entendimento do cliente sobre os problemas de sua área, gerando novas opções e idéias que refinem o processo de decisão.

Encorajaremos os clientes a externar suas idéias, clarificá-las se necessário, e gravá-las numa forma que seja permanente e transferível. A rejeição da mensagem que um modelo produz se tornará uma rejeição a suas próprias idéias.

Deveremos estar preparados para escutar e ter habilidade suficiente para explicitar a informação relevante, sendo um espelho inteligente para os comentários dos clientes.

### **O papel do mestre em Educação Ambiental**

O mestre em Educação Ambiental deve ser capacitado a atuar como um consultor para assuntos do meio ambiente. Deverá ser consciente da importância da Dinâmica de Sistemas e estar pronto para trabalhar numa proposta de consultoria compatível com a apresentada. Deverá ser atribuição do mestre em Educação Ambiental:

– atuar como explicitador do **modelo mental** que o cliente possui sobre determinado objeto, evento, processo e mesmo negócio;



- dominar as **estruturas** disponíveis na literatura, as técnicas e ferramentas de explicitação e representação;
- tornar os modelos mentais mais coerentes, garantindo ao cliente a **sensação de propriedade** sobre a representação (modelo) desenvolvida. Só assim ele acreditará na representação (modelo);
- estar ciente de que os modelos não necessitam ser **complexos** para serem compreendidos e úteis à tomada de decisões;
- promover o trabalho, com diferentes cenários, não tendo a preocupação de usar os modelos para prever e sim como um **processo** de aprendizagem;
- saber que o que se estará entregando ao cliente é um processo e não um relatório pronto, indicando que solução deva ser tomada.

#### BIBLIOGRAFIA

1. AMBIENTE & EDUCAÇÃO. Publicação comemorativa. FURG, jul. 1995.
2. FORRESTER, J. W. *Principles of Systems*. Portland : Productivity Press, 1990.
3. KURTZ DOS SANTOS, A. C. *Introdução à Modelagem Computacional na Educação*. Rio Grande : FURG, 1995.
4. KURTZ DOS SANTOS, A. C., KLEER, A. A., THIELO, M. R., GRAVINA, M. H. Uma experiência em pequena escala sobre o potencial da modelagem semiquantitativa para a Educação Ambiental. *Caderno Catariense de Ensino de Física*, v. 12, n. 1, p. 56–67, abr. 1996.
5. MORECROFT, J. D. W., STERMAN, J. D. (ed.). (1994) *Modeling for Learning Organizations*. Portland : Productivity Press, 1994.
6. RICHMOND, B. et al. *An Academic User's Guide to STELLA*. Lyme : High Performance System, 1987.
7. ROBERTS, E. B. *Managerial Applications of System Dynamics*. Cambridge, Mass. : Productivity Press, 1978.