

UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA COMPUTACIONAL VISQ E A VALIDAÇÃO DE MODELOS SEMIQUANTITATIVOS*

ARION DE CASTRO KURTZ DOS SANTOS**

IVES SOLANO ARAUJO***

GEOVANE PEDRA GONÇALVES***

INTRODUÇÃO

Professores e estudantes do Departamento de Física da FURG desenvolvem um projeto que tem como objetivo melhorar o padrão do ensino de Ciências nas escolas de 1º grau através da utilização do microcomputador. O projeto produziu a ferramenta computacional VISQ e diversos materiais instrucionais tendo como base a Dinâmica de Sistemas (veja Kurtz dos Santos et al., 1997; Kurtz dos Santos, 1997). Atualmente a ferramenta VISQ é utilizada por duas alunas do Mestrado em Educação Ambiental no desenvolvimento de suas pesquisas.

Uma das principais dificuldades quanto à modelagem semiquantitativa de ecossistemas tem sido a impossibilidade de providenciar estudos mais profundos sobre a validade dos modelos desenvolvidos pelos alunos e mesmo por professores. Quando a complexidade dos modelos aumenta, freqüentemente somos questionados sobre como temos certeza de que o modelo está descrevendo a realidade. Este trabalho introduz a idéia do uso dos hexágonos para pensamento sistêmico e utiliza resultados já existentes na bibliografia sobre modelagem quantitativa como base para julgamento da validade dos modelos semiquantitativos trabalhados.

Nossa metodologia foi simplesmente escolher uma situação relativamente complexa já modelada quantitativamente, com sua respectiva validade reconhecida, e desenvolver um modelo semiquantitativo em VISQ correspondente a essa situação. A comparação das saídas gráficas forneceu a base para a discussão sobre a validade.

*Trabalho vinculado ao projeto PROFECOMP, financiado pelo CNPq e FAPERGS.

** Professor do Departamento de Física e do Mestrado em Educação Ambiental. PhD em Science Education (University of London).

Endereço: Campus Carreiros – Av. Itália, km 8 – Caixa Postal 474.




CEP 96201-900 – Rio Grande – RS – Brasil.

Email: askurtz@ufpel.tche.br

*** Estudantes do curso de Física da FURG.

STELLA

STELLA é acrônimo para "Structural Thinking Experimental Learning Laboratory with Animation" (Richmond et al., 1987). É uma ferramenta de modelagem quantitativa que usa a metáfora de tanques, válvulas e canos.

No STELLA, um tanque  (estoque ou nível) representa uma quantidade cujo valor inicial pode crescer ou decrescer. É conveniente descrever as variáveis relacionadas a acumulações durante a passagem do tempo por tanques (ou estoques). Uma torneira  (taxa) conectada a um tanque decide quão rápido a quantidade no tanque está mudando. Várias torneiras podem ser conectadas a um tanque. Quantidades representadas por um círculo  ('convertor') podem ser constantes, ou podem ser calculadas de outras quantidades.

ELOS DE RETROALIMENTAÇÃO NÃO-LINEARES ACOPLADOS EM STELLA

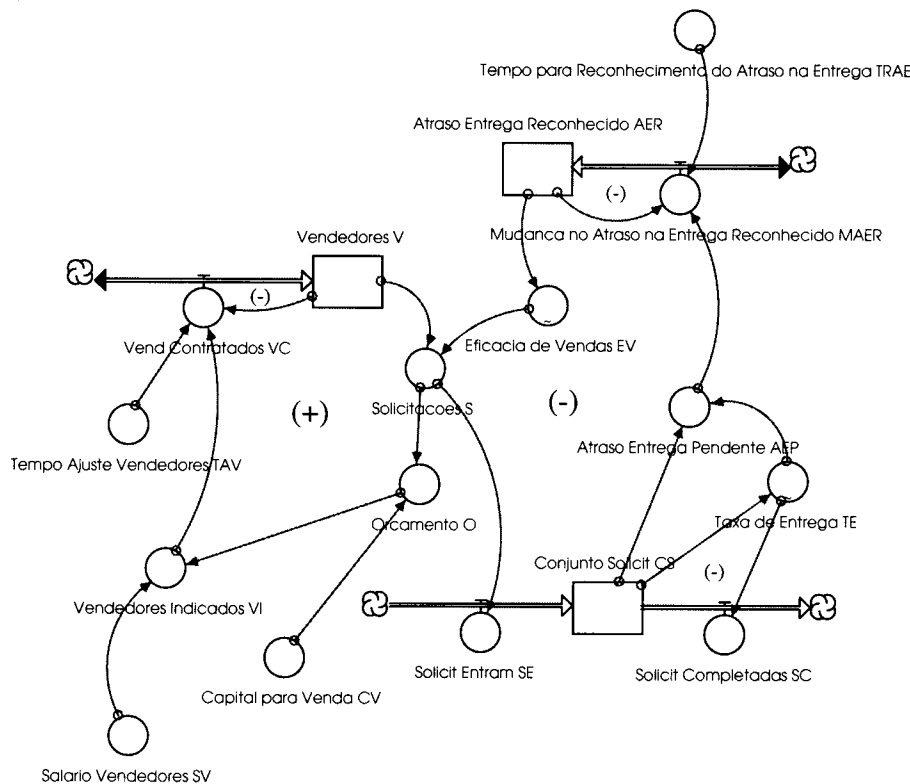


FIGURA 1 – Versão STELLA do modelo de Forrester utilizado como referencial para o estudo.

A situação escolhida para ser modelada é muito intuitiva e consiste em uma empresa que possui seu quadro de vendedores e o expande dependendo da produção, ou da solicitação de seus produtos pelos clientes. Contudo, existe um atraso entre a solicitação e a entrega do produto, que é percebido pelo cliente. Dependendo do atraso, o cliente poderá até mesmo procurar outro fornecedor, comprometendo a contratação de novos vendedores.

O crescimento das vendas que é ao final suprimido pela saturação das facilidades de fabricação freqüentemente ocorre através de um sistema de relações como o da figura 1.

O elo positivo da esquerda controla o número de vendedores. O elo da direita é negativo de segunda ordem. Os dois níveis no maior elo negativo são o 'Conjunto de Solicitações' CS (ainda não atendidas) e o 'Atraso na Entrega Reconhecido' AER, que diz respeito à percepção do atraso pelo cliente. Dentro de ambos os elos da esquerda e da direita existem elos subordinados de retroalimentação negativos de primeira ordem. O sistema consiste em cinco elos de retroalimentação – um maior positivo, um maior negativo e três menores negativos.

Uma descrição detalhada do modelo pode ser obtida em Forrester, 1990. No presente artigo, apenas apresentaremos uma descrição qualitativa dos elos. Na seção final, apresentamos uma versão completa, em STELLA, das equações do modelo.

ENTENDENDO UM POUCO MAIS O MODELO DE FORRESTER

O elo positivo

No elo positivo, uma fração CV do capital das solicitações está disponível no orçamento para pagar gastos com os vendedores. Os vendedores indicados são aqueles que poderiam ser sustentados pelo orçamento. Vendedores são contratados (ou demitidos) para ajustar o valor atual do número de Vendedores em direção ao número de Vendedores Indicados. Se o vendedor vender mais do que o suficiente para pagar suas próprias despesas, então uma expansão da força de vendas pode ocorrer.

As solicitações dependem do número de vendedores e da eficácia das vendas. A eficácia de vendas é uma variável que depende do tempo que o cliente tem que esperar pela entrega do produto.

O orçamento para os gastos mensais do vendedor é computado das solicitações multiplicadas pelo valor em moeda corrente por unidade do produto.

Os vendedores indicados são computados pela divisão do orçamento mensal pelo gasto mensal com cada vendedor.

Vendedores e vendedores contratados formam um pequeno elo de retroalimentação negativo. A taxa de vendedores contratados ajusta os vendedores em direção ao número de vendedores indicados que podem ser

sustentados pelo orçamento. O objetivo 'vendedores indicados' vem de fora do elo negativo mas é uma variável criada pelo elo positivo. É a diferença entre vendedores indicados e vendedores (atual) que fornece o incentivo para contratar mais vendedores.

O elo negativo

No maior elo negativo da direita, as solicitações que entram são colocadas num conjunto de solicitações não preenchidas que é diminuído pelas solicitações completadas. A razão entre o conjunto de solicitações e a taxa de entrega fornece o atraso de entrega pendente. Atraso de entrega que ainda não houve tempo de ser reconhecido e tornar-se efetivo na influência no desejo de compra do mercado. Um atraso temporal intervém antes de o atraso de entrega ser reconhecido. A eficácia de vendas depende do reconhecimento do atraso na entrega do produto, de tal modo que um grande atraso dificultará a venda do produto e vice-versa.

A taxa de entrega depende do conjunto de solicitações para representar o fato de que a capacidade de fabricação é limitada.

O elo negativo em sua totalidade tende a ajustar a taxa de solicitação à taxa de entrega máxima (capacidade de produção), sempre que a força de vendas for grande o suficiente para suportar a produção total. Se a taxa de solicitação é maior do que a taxa de entrega máxima, o conjunto de solicitações aumentará. Do conjunto de solicitações e da taxa de entrega é possível deduzir o "verdadeiro" atraso no preenchimento das solicitações. Mas este não é geralmente conhecido do cliente. Mesmo após ele conhecer o atraso na entrega de seu fornecedor, normalmente leva algum tempo para redirecionar a procura por outra fonte. Contudo, há um atraso de tempo entre o atraso de entrega da fábrica e o momento em que este afeta a presteza do cliente para solicitar. O atraso de entrega reconhecido (AER) é representado como a versão atrasada do atraso de entrega pendente (AEP). O atraso é criado em dois passos, primeiro a taxa na qual o atraso reconhecido está mudando (MAER), e então o atraso reconhecido (AER). À medida que o cliente reconhece que deve esperar pela entrega, mais clientes recusam-se a comprar, reduzindo assim a média da eficácia de vendas.

Note que o recurso utilizado por Forrester para lidar com o atraso exige um grande domínio de modelagem.

OS HEXÁGONOS PARA O PENSAMENTO SISTÊMICO

Hodgson, in Morecroft & Sterman (1994), propõe uma ponte entre o pensamento generalista dos tomadores de decisão e o pensamento especializado dos modeladores. O agrupamento de hexágonos permite a combinação de uma idéia e um ícone – o que foi por ele chamado de *ídone*. A idéia núcleo do método seria a unidade semântica – o objeto atômico do

pensamento. Segundo Hodgson, a construção de mapas conceituais com ídones é o processo de tornar modelos tácitos visíveis e disponíveis para a análise de todas as pessoas. Os hexágonos adicionam dimensões de flexibilidade e velocidade ao rearranjo constante que acontece quando o pensamento criativo se faz visível. O método proposto por Hodgson concentra-se na parte de desenvolvimento do modelo conceitual, no processo de modelagem.

O método possibilita que se possa pensar sobre possíveis novos hexágonos, representando eventos, processos, objetos ou grupos de conceitos correspondentes a variáveis que estariam faltando para que o modelo conceitual pudesse ser mais completo.

O uso dos hexágonos pode até ser questionado por modeladores mais experientes. Contudo, justifica-se quando estamos trabalhando com pessoas que não tenham experiência alguma em modelagem e que apenas dominem seu campo de trabalho ou tenham algum conhecimento intuitivo que se queira eliciar.

O PROBLEMA

Para discutir a questão da validade dos modelos em VISQ resolvemos aplicar o método dos hexágonos a uma situação que é regida por elos de retroalimentação não-lineares acoplados, já estudada por Forrester (1990, originalmente 1971). Propomos um estudo seguindo o delineamento conforme apresentado na figura 2.

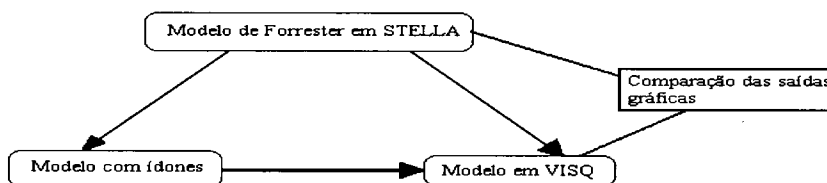


FIGURA 2 – Delineamento do estudo.

Nesse caso, o método dos hexágonos – estático, seria o primeiro passo para a construção do modelo computacional, antes da utilização de VISQ – que é dinâmico. A associação dos ídones com VISQ é como um facilitador do processo de modelagem e permite um melhor conhecimento sobre o sistema/processo que será modelado de modo semiquantitativo.

Para a discussão sobre a validação de modelos em VISQ, a situação muito intuitiva, embora complexa, escolhida como referencial é apresentada na figura 1.

O modelo desenvolvido por Forrester adaptado pelos autores no STELLA serve como referencial para a discussão sobre o funcionamento do

modelo em VISQ. Os dois modelos, o conceitual com ídones e o icônico com VISQ, foram desenvolvidos num processo interativo tendo como base o modelo em STELLA.

Após muita discussão, chegamos a três grupos de hexágonos que interagem (veja a figura 3), identificando os principais eventos, processos, objetos ou grupos de conceitos que estariam vinculados a futuras variáveis, para os VENDEDORES, para as SOLICITAÇÕES e para o tempo – identificado como ATRASO.

Experimentos feitos com estudantes universitários evidenciaram que esses três grupos são prontamente identificados (Kurtz dos Santos et al., 1998). Embora os hexágonos originalmente propostos sejam magnéticos e plásticos, os hexágonos utilizados no estudo citado foram feitos de cartolina com velcro e fixados numa flanela para o desenvolvimento do modelo conceitual.

Evidenciamos, com setas, como os grupos estariam vinculados a outros grupos. Leia na figura 3, nos hexágonos, os elementos considerados relevantes para o desenvolvimento do modelo.

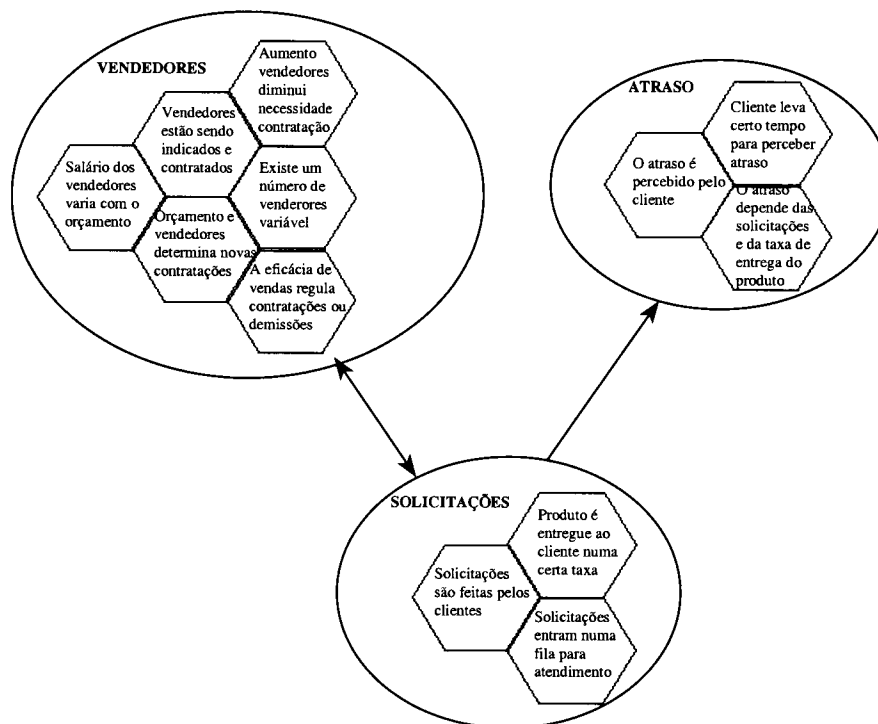


FIGURA 3 – Grupos de hexágonos representando os principais eventos, processos, objetos ou grupos de conceitos para o desenvolvimento do modelo conceitual. As setas representam possíveis relações entre os grupos identificados.

O método possibilita que se possa pensar sobre possíveis novos hexágonos, representando novos elementos, correspondentes a variáveis que estariam faltando para que o modelo conceitual pudesse ser mais completo. Por exemplo, poderíamos pensar que o reconhecimento do atraso na entrega pelo cliente poderia levá-lo a procurar um novo fornecedor do produto, permitindo que se pensasse em um novo grupo como parte do modelo conceitual.

POSSÍVEL MODELO EM VISQ PARA A SITUAÇÃO

A figura 4 mostra um possível modelo em VISQ para descrever semiquantitativamente a situação representada conceitualmente na figura 3.

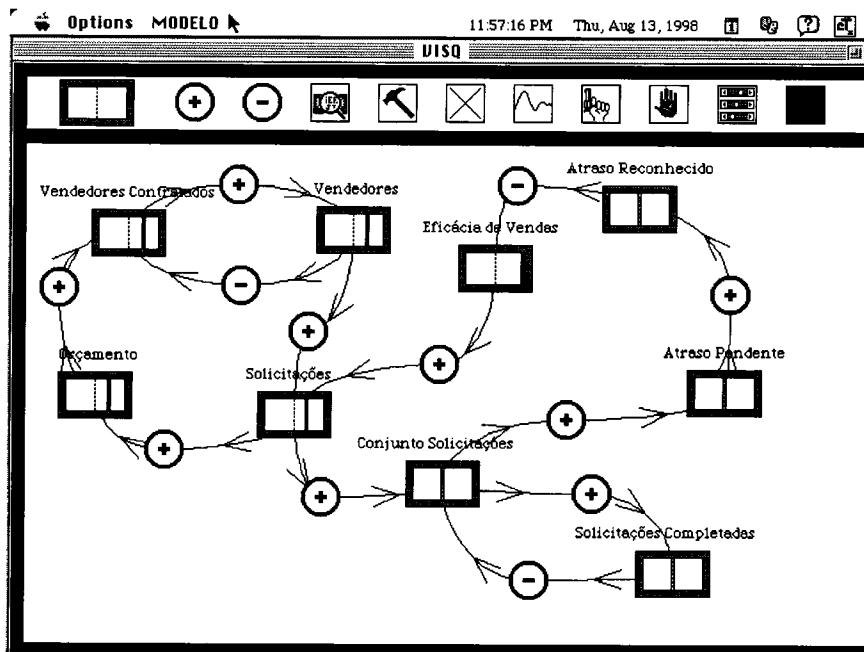


FIGURA 4 – Modelo em VISQ para a situação apresentada na figura 1. A configuração semiquantitativa inicial de cada variável está representada na figura pelas barras verticais.

Note que, tendo em vista a experiência do modelador, foi possível transferir as idéias contidas nos hexágonos para um modelo em VISQ. Uma análise cuidadosa e comparativa das figuras 3 e 4 mostra a clara correspondência entre o modelo conceitual e o semiquantitativo. Com a animação possível em VISQ podemos obter os gráficos de todas as variáveis contra o tempo e, com estes, uma idéia do comportamento do

sistema como um todo.

Ao executarmos o modelo, para as condições iniciais mostradas na figura 4, notamos que uma grande quantidade de vendedores leva a um aumento das solicitações e do conjunto de solicitações. A entrega do produto sofre um atraso que é reconhecido pelo cliente e leva a uma diminuição da eficácia das vendas e, seguindo o modelo, finalmente a uma estagnação na quantidade de vendedores. Os gráficos obtidos em VISQ para a evolução temporal das variáveis, à exceção da “eficácia de vendas”, mostram, claramente, um crescimento e uma tendência à estagnação em patamares mais altos. O crescimento em direção a um limite freqüentemente ocorre, por exemplo, na introdução de um novo produto no mercado. No começo o produto tem sucesso e as vendas dão lucro, o que dá sustentação para mais esforços de venda, conduzindo ainda a um lucro maior. Mas em algum ponto, as vendas se tornam cada vez mais difíceis – o mercado aproxima-se da saturação, ou a facilidade inicial fez com que o produtor se tornasse mais descuidado com a qualidade ou a capacidade de fabricação do produto teria se esgotado.

COMPARANDO GRÁFICOS DE EVOLUÇÃO TEMPORAL DE VISQ E STELLA

A liberdade que VISQ fornece ao usuário em termos de elos positivos ou negativos, com diferentes pesos, além dos possíveis estados semiquantitativos das variáveis envolvidas, torna até mesmo difícil conseguir encontrar um conjunto de parâmetros ou uma configuração de modelo que possa descrever fidedignamente, dentro das limitações da ferramenta, a situação apresentada no modelo STELLA da figura 1. Veja que os comportamentos dinâmicos foram obtidos em STELLA para valores numéricos definidos das variáveis do modelo, como pode ser visto na listagem em anexo. Qualquer discrepância entre a configuração em VISQ na figura 4, qualquer outra alteração na estrutura ou no estado semiquantitativo de qualquer variável, levará a um comportamento dinâmico distinto e não-condizente com a “realidade” descrita pelo modelo em STELLA na figura 1. Nesse aspecto percebemos a restrição existente num modelo matemático e a infinidade de possibilidades de um modelo semiquantitativo. Dentre estas, evidentemente, aparecem estados não-condizentes com o modelo matemático.

Para a configuração VISQ da figura 4, podemos obter os comportamentos dinâmicos aproximados aos obtidos em STELLA. Veja nas figuras 5 e 6 os comportamentos em VISQ colocados lado a lado aos comportamentos em STELLA. Note que, para o intervalo considerado, em VISQ, os padrões de crescimento e decréscimo são prontamente identificados. A única exceção é a terceira figura da seqüência, que, para um intervalo de tempo maior, em VISQ, acabará tendo o comportamento aproximado ao obtido em STELLA.

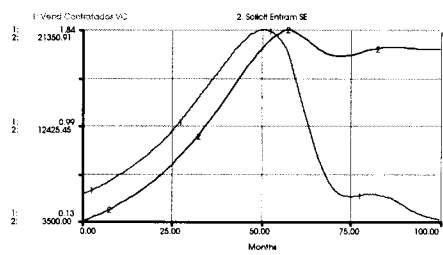
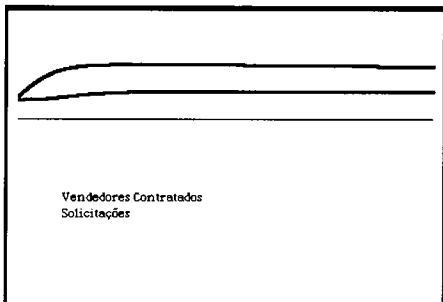
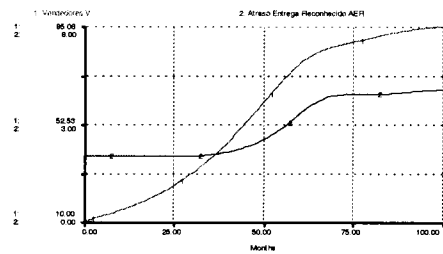
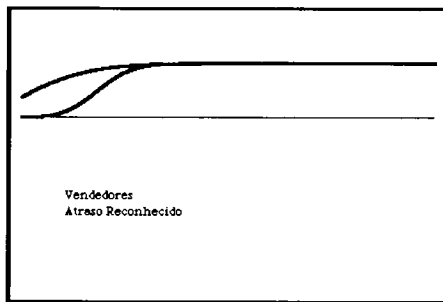
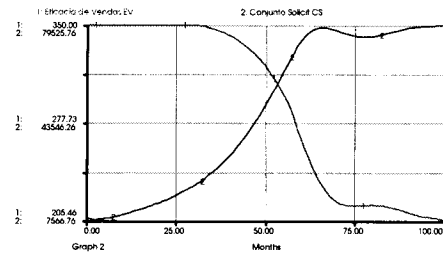
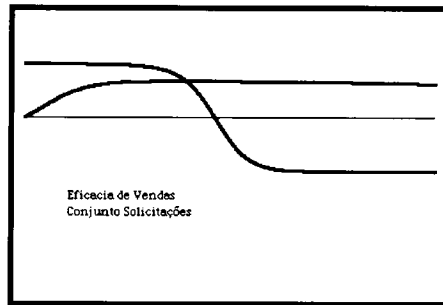


FIGURA 5 – Comparando as saídas gráficas de VISQ e STELLA.

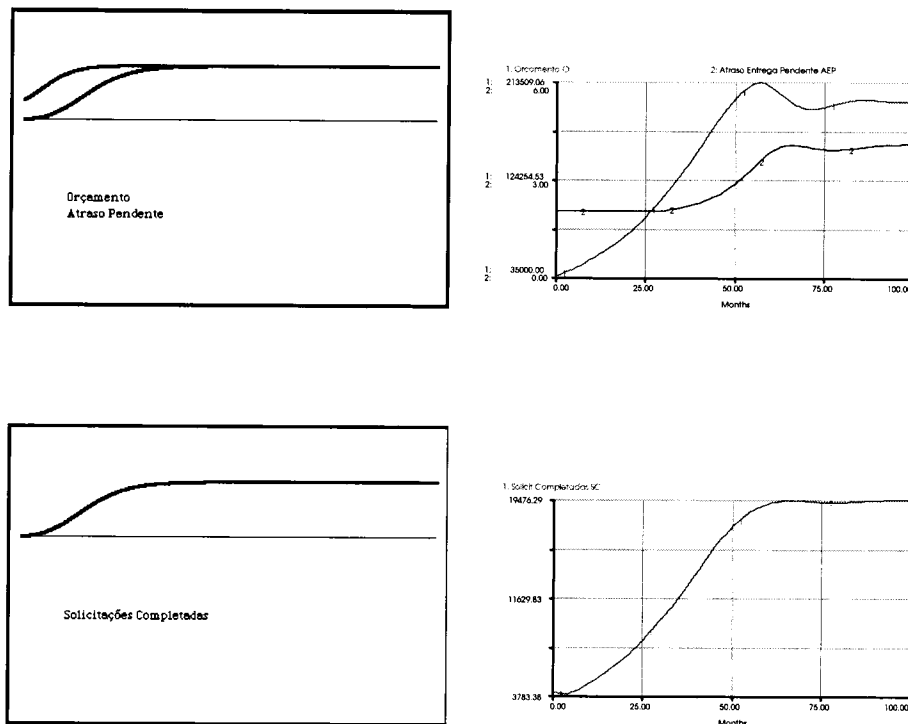


FIGURA 6 – Comparando as saídas gráficas de VISQ e STELLA – continuação.

Note que o modelo em STELLA (veja as linhas no apêndice, em anexo) permite visualizar um comportamento dinâmico sutil e muito específico no qual a variável inicialmente comporta-se como tendo um crescimento exponencial seguido por um decréscimo e uma busca por um objetivo através de uma oscilação amortecida num patamar um pouco mais baixo. Dadas as características das equações de redes neurais de VISQ, tal comportamento é representado apenas por um crescimento que busca um objetivo sem evidenciar oscilação (compare nas figuras 5 e 6). Em geral, pode-se dizer que o padrão de crescimento e busca por um objetivo foi amplamente verificado pela ferramenta VISQ, embora não saibamos quando nem como a variável se aproxima desse objetivo. Poderemos apenas dizer, em nível semiquantitativo, que esse é um dos possíveis futuros cenários.

CONCLUSÃO

Analisando a grande complexidade introduzida na modelagem quantitativa com STELLA (veja o apêndice), acreditamos que a decisão sobre o grau de detalhamento que se deseja é função dos objetivos do estudo que se está desenvolvendo. Estudantes de 1º grau poderão trabalhar com VISQ e estudar de modo semiquantitativo uma situação tão complexa quanto a apresentada, sem a necessidade de conhecimento matemático, e chegar aos principais comportamentos dinâmicos (aproximados) do sistema. Além de avançar significativamente quanto à estrutura (diagrama), terão indicações de comportamentos dinâmicos a serem esperados para a situação. Já se o modelo quantitativo for o mais indicado, ainda assim recomendamos que se deva passar por uma fase mais intuitiva que permite fazer uma ponte entre o modelo conceitual e o quantitativo.

O trabalho de Forrester foi utilizado como um parâmetro para comparação dos comportamentos dinâmicos obtidos em VISQ para uma configuração semiquantitativa particular. Ao mostrarmos a semelhança entre os comportamentos dinâmicos obtidos em VISQ e em STELLA, acreditamos estar validando VISQ como uma ferramenta possível de ser utilizada em diversas situações de gerenciamento com pessoas que não dominem a modelagem.

Cabe salientar que os autores já desenvolveram diversos trabalhos com o uso de VISQ com estudantes (veja bibliografia em anexo) e que a versão de VISQ existente atualmente, embora ainda com limitações, aponta um caminho para o uso intuitivo na modelagem de problemas mais complexos.

BIBLIOGRAFIA

- FORRESTER, J. W. *Principles of Systems*. Portland, Oregon : Productivity Press, 1990.
- KURTZ DOS SANTOS, A. C., THIELO, M. R., M. R., KLEER, A. A. Students modelling environmental issues. *Journal of Computer Assisted Learning*, v. 13, n. 1, Mar. 1997.
- KURTZ DOS SANTOS, A. C. O trabalho de estudantes do 1º grau em modelagem semiquantitativa focalizando problemas ambientais. *Ambiente & Educação*, v. 2, p. 39-53, 1997.
- KURTZ DOS SANTOS, A. C., SAMPAIO, F. F., FERRACIOLI, L. *Um experimento de modelagem semiquantitativa tendo como base uma situação descrita por elos de retroalimentação não lineares acoplados* (título provisório). Artigo produzido durante o II Seminário de Representações e Modelagem no Processo de Ensino-Aprendizagem, realizado no Modelab, UFES, Vitória. 1998.
- MORECROFT, J. D. W., STERMAN, J. D. (ed.). *Modeling for Learning Organizations*, Portland, Oregon : Productivity Press, 1994.
- RICHMOND, B. et. al. *An Academic User's Guide to STELLA*. High Performance System, Inc. Lyme, 1987.

APÊNDICE – EQUAÇÕES DO MODELO NO STELLA

Atraso_Entrega_Reconhecido_AER(t) =
Atraso_Entrega_Reconhecido_AER(t – dt) +
(Mudanca_no_Atraso_de_Entrega_Reconhecido_MAER) * dt
INIT Atraso_Entrega_Reconhecido_AER = 2

INFLOWS:

Mudanca_no_Atraso_de_Entrega_Reconhecido_MAER =
(1/Tempo_para_Reconhecimento_do_Atraso_na_Entrega_TRAE)*(Atraso_E
ntrega_Pendente_AEP-Atraso_Entrega_Reconhecido_AER)
Conjunto_Solicit_CS(t) = Conjunto_Solicit_CS(t – dt) + (Solicit_Entram_SE –
Solicit_Completadas_SC) * dt
INIT Conjunto_Solicit_CS = 8000

INFLOWS:

Solicit_Entram_SE = Solicitacoes_S

OUTFLOWS:

Solicit_Completadas_SC = Taxa_de_Entrega_TE
Vendedores_V(t) = Vendedores_V(t – dt) + (Vend_Contratados_VC) * dt
INIT Vendedores_V = 10

INFLOWS:

Vend_Contratados_VC =
(1/Tempo_Ajuste_Vendedores_TAV)*(Vendedores_Indicados_VI–
Vendedores_V)
Atraso_Entrega_Pendente_AEP =
Conjunto_Solicit_CS/Taxa_de_Entrega_TE
Capital_para_Venda_CV = 10
Orcamento_O = Solicitacoes_S*Capital_para_Venda_CV
Salario_Vendedores_SV = 2000
Solicitacoes_S = Vendedores_V*Eficacia_Vendas_EV
Tempo_Ajuste_Vendedores_TAV = 20
Tempo_para_Reconhecimento_do_Atraso_na_Entrega_TRAE = 6
Vendedores_Indicados_VI = Orcamento_O/Salario_Vendedores_SV
Eficacia_Vendas_EV = GRAPH(Atraso_Entrega_Reconhecido_AER)
(0.00, 400), (0.5, 400), (1.00, 385), (1.50, 370), (2.00, 350), (2.50, 320),
(3.00, 289), (3.50, 250), (4.00, 209), (4.50, 178), (5.00, 150), (5.50, 120),
(6.00, 100)
Taxa_de_Entrega_TE = GRAPH(Conjunto_Solicit_CS)
(0.00, 0.00), (10000, 5000), (20000, 10000), (30000, 13500), (40000, 16000),
(50000, 17500), (60000, 18500), (70000, 19000), (80000, 19500), (90000,
19575), (100000, 20000)