



Volume 1, Outubro-dezembro de 2005.

O PENSAMENTO SISTÊMICO E A MODELAGEM

João Carlos Torres Vianna¹

1. Introdução

No presente artigo faz-se uma breve revisão dos princípios do pensamento sistêmico e técnicas de modelagem, com o propósito de demonstrar a importância dos parâmetros do tempo e/ou clima nos cenários mundiais, gerados a partir do modelo Mundo3 desenvolvido por Meadows et al. (1974), assim como na modelagem de representações dos sistemas agro-ecológicos. É importante ressaltar que este estudo foi a base para a elaboração do projeto de pesquisa denominado “*Modelagem como ferramenta de apoio no processo de ensino-aprendizagem no Curso de Graduação em Meteorologia da UFPel*”, que recentemente foi submetido à apreciação da FAPERGS.

2. Princípios do pensamento sistêmico

O pensamento sistêmico teve grande impulso a partir do biólogo Ludwig von Bertalanffy, que considerou o organismo como um sistema físico e no ano de 1940 publicou seu primeiro trabalho. Em 1968 publicou o livro Teoria geral de sistemas, que é considerado sua principal obra, onde o autor anuncia uma nova visão de mundo.

¹ Universidade Federal de Pelotas. Faculdade de Meteorologia. Departamento de Meteorologia
jcvianna@ufpel.tche.br

Foi na biologia onde ocorreram os encaminhamentos pioneiros para estabelecer formas de pensar em termos da totalidade. Bertalanffy sugeriu generalizar o pensamento para se referir a qualquer tipo de 'todo', e não simplesmente aos sistemas biológicos, com isto em 1940 generalizou o pensamento organísmico (a teoria sistêmica do organismo, como ele chamou), transformando-o no pensamento relativo aos sistemas em geral. Num passo seguinte para o desenvolvimento de suas idéias, em 1954 ajudou a fundar a sociedade para a pesquisa em sistemas, inicialmente sociedade para o avanço da teoria geral de sistemas.

Bertalanffy considerou que a distinção dos organismos vivos está associada com o seu grau de organização, e procurou separar os sistemas em abertos e fechados. Em 1940 ele definiu sistema aberto como aquele que importa e exporta matéria, energia e informação, considerou também que os organismos, não se comportam como sistemas fechados, onde os componentes imutáveis atingem um estado de equilíbrio, mas sim podem atingir um estado estacionário que depende de trocas contínuas com o ambiente.

Os sistemas fechados são aqueles onde não existem trocas, nestes parece não haver outro caminho, a não ser seguirem em direção ao aumento da desordem, onde a entropia é alta. Um sistema fechado é influenciado por seu próprio comportamento passado, em função de uma estrutura de elo fechada que traz os resultados da ação passada de volta para controlar a ação futura, (Forrester,1968).

Bertalanffy considerava que seria possível surgir uma meta-teoria de sistemas de alto nível, matematicamente expressa, como resultado do trabalho em diferentes campos, onde as idéias emergentes nas várias áreas poderiam ser generalizadas através do pensamento sistêmico, isto fez com que fosse reconhecido como o fundador do movimento.

Nos anos 60 Forrester, seguindo idéias de gerenciamento, publica os livros Dinâmica Urbana, em 1969 e Princípios de Sistemas, em 1971, seguindo um caminho diferente de Bertalanffy, que tinha na biologia a base de seus trabalhos. Esta distinção de bases conceituais explica porque Forrester não cita Bertalanffy que publicou seus estudos de 1940 a 1972.

Como os princípios que governam o comportamento dos sistemas ainda não são amplamente entendidos, um sistema pode ser considerado como um agrupamento de partes que operam juntas com um propósito comum.

Os sistemas naturais, a família e sociedades tribais são estruturas que não foram delineadas, mas sim surgiram, a partir de uma evolução gradual, desta forma o homem foi adaptando-se e não foi compelido a entender tais sistemas.

Com o surgimento das sociedades industriais os sistemas passaram a dominar a vida, sendo mais visíveis nos ciclos econômicos, na confusão política, nos pânico financeiros periódicos, no emprego flutuante e nos preços instáveis. Esses sistemas tornaram-se tão complexos e seu comportamento tão confuso que parece impossível desenvolver uma teoria geral para explicá-los.

Os sistemas podem apresentar ainda retroalimentação positiva ou negativa. Na retroalimentação negativa há uma busca por um objetivo que quando não é atingido, o sistema torna-se instável e passa a flutuar. Um exemplo simples desta situação é o aquecimento regulado por um termostato procurando uma temperatura adequada. Com retroalimentação positiva há um processo de crescimento onde a ação constrói um resultado que gera uma ação maior ainda. A multiplicação de bactérias, onde a taxa de geração depende da bactéria acumulada pelo crescimento passado é um exemplo deste caso.

Neste ponto já é possível perceber que os sistemas não podem ser vistos como um conjunto de partes funcionando isoladas umas das outras, mas sim como uma estrutura complexa onde as interações entre elas originam propriedades, que não são explicáveis pela simples soma das partes. Os sistemas são organizações que surgem no ambiente, desde a escala macro até micro, para superar as adversidades, sejam elas naturais ou antrópicas.

Lévêque (2002) define a biosfera como a película superficial do planeta, composta pela atmosfera, hidrosfera, litosfera, que engloba os seres vivos e onde a vida é permanentemente possível e a considera como o último ecossistema no estado atual do conhecimento, onde as inter-relações entre organismos e o seu ambiente na escala planetária são ressaltadas.

Na definição apresentada no parágrafo anterior a biosfera é o sistema macro responsável pela vida na Terra, onde a atmosfera fornece o ar necessário à respiração, litosfera garante a base física, o alimento, e a hidrosfera assegura a água presente em todas as estruturas vivas. Como as trocas que ocorrem neste sistema, ficam restritas entre as partes que a compõem – atmosfera, litosfera e hidrosfera –, desta forma será considerado como um sistema fechado. É importante ressaltar que dentro deste sistema há uma

infinidade de outros que chegam à escala microscópica, que são influenciados pelos maiores. Porém, o fato de serem pequenos não os tornam desprezíveis, pois a vida parece ter início quase sempre em nichos ecológicos muito localizados.

A biosfera é o maior sistema considerado neste trabalho e será visto como fechado para salientar que os impactos causados pelas atividades humanas são visíveis na escala global, mesmo quando estas são desenvolvidas local ou regionalmente. Lévêque (2002) ao ressaltar que a biosfera representa o último ecossistema no atual nível de conhecimento, considerou a biosfera como um sistema termicamente ideal onde não há trocas de matéria com exterior, como forma mostrar os limites deste sistema. Rigorosamente este sistema não é fechado, pois a quase totalidade dos processos que ocorrem no planeta Terra depende do Sol, que é uma fonte externa, portanto ocorrem trocas de energia com meio externo o que descaracteriza a biosfera como sistema fechado.

É extremamente importante deixar evidente que o objetivo de considerar a biosfera como sistema fechado foi o de mostrar que esta é limitada, embora estes limites não sejam facilmente percebíveis, o homem já chegou a estas fronteiras e as transpôs. Um exemplo desta escalada humana pode ser representado pelos satélites artificiais com diferentes finalidades que circundam a Terra, sondas espaciais que viajam pelo espaço em busca de sinais de vida extraterrestre e pelos restos da tecnologia espacial deixados no espaço, que com alguma frequência entram na atmosfera terrestre e chegam até a superfície. Na biosfera não há como empurrar o lixo para um local distante, este esconderijo não existe mais, pois os mais longínquos pontos do planeta já foram inspecionados pelo homem.

Capra (1996) afirma que os sistemas vivos são totalidades integradas, cujas propriedades não podem ser reduzidas em partes menores, ou seja, as propriedades sistêmicas surgem da organização do todo e são destruídas quando o sistema é desmembrado em elementos isolados. Segundo o autor na mudança do pensamento mecanicista para o sistêmico, a relação entre as partes e o todo foi invertida. No paradigma cartesiano acreditava-se que qualquer estrutura complexa poderia ter seu comportamento explicado analisando-se as propriedades das partes, mas o pensamento sistêmico mostra que sistemas vivos não podem ser compreendidos através desta análise, uma vez que as propriedades das partes não são intrínsecas e somente podem ser entendidas no contexto do todo maior.

Frontier (2001) define um ecossistema como um sistema de interações entre as populações de diferentes espécies e entre estas e o meio físico em que vivem. As interações entre as populações vivas e o meio físico-químico ocorrem em ambos os sentidos. Se por um lado o meio condiciona a existência e a biologia das espécies, estas modificam o meio, de tal forma que o biótipo (área geográfica com condições ambientais uniformes onde vivem plantas e animais) constitui-se em um elemento do sistema e uma produção do sistema.

Frontier (2001) salienta a importância destas interações, apresentando vários exemplos, dentre os quais, destaca-se aquele que diz respeito à atmosfera, pois esta é um dos componentes da biosfera decisivos para a vida. As atividades biológicas que vem ocorrendo há cerca de 3,8 bilhões de anos, contribuíram através da fotossíntese dos vegetais das eras Pré-cambriana e Primária para que a composição atual da atmosfera apresente aproximadamente 21% de oxigênio e quase esgotaram os 30% de CO₂ presentes na sua composição inicial.

Perceber-se que para qualquer ecossistema, independentemente da escala de trabalho, sempre existirão parceiros vivos e um biótopo físico-químico modificado, que estão ligados por uma rede de interações diretas e indiretas de forma dinâmica, isto é, padrões que evoluem no tempo podem ser encontrados.

Os sistemas são estruturas que abrangem vários campos do conhecimento humano, onde existem sistemas menores, subsistemas criados ou não pelo homem, operando das mais diversas formas dentro da biosfera. Esta será considerada um sistema fechado conforme mencionado anteriormente, portanto não ocorrem trocas com o meio externo a este, que numa escala astronômica está representado pelo espaço interplanetário.

Segundo Pinheiro (2000) a visão de sistema emergiu na agricultura como uma forma para solucionar ou minimizar os problemas, que o enfoque reducionista e disciplinar não conseguira resolver e que aumentaram com o advento da “Revolução Verde”, pois esta, embora tenha apresentado resultados expressivos em termos de produção e produtividade, particularmente nas regiões mais ricas e com produtos destinados à exportação, também contribuiu para aumentar a concentração de renda e conseqüente exclusão dos agricultores familiares. O autor chama a atenção para a abordagem soft-systems, que não é concretamente estruturada e tem como foco os sistemas vivos e as

interações entre estes, tornando-a mais aceita do que hard-systems, cuja atenção está voltada para sistemas físicos de produção, onde as fronteiras são identificadas de maneira muito clara, portanto o seu objetivo principal é o controle das entradas e saídas.

Segundo Altieri (2000), os sistemas agrícolas tradicionais surgiram no decorrer dos séculos com a evolução biológica e cultural e representam a experiência que os agricultores foram acumulando ao interagirem com o ambiente, sem o uso de insumos externos, de capital e de conhecimento científico. O autor salienta, que estes agricultores utilizando-se da criatividade, do conhecimento empírico e dos recursos locais disponíveis desenvolveram sistemas agrícolas com produtividade sustentável.

Os agroecossistemas, como qualquer sistema, são estruturas que não podem ser simplesmente explicadas somando-se as partes que os compõem e certamente interagem entre si e com o meio-ambiente. Como partes destes sistemas podem ser destacados o homem com todas suas interações sócio-econômicas; os recursos naturais vegetais e animais e o meio-ambiente físico, que tem servido como fonte de recursos e receptor de rejeitos. Mesmo sabendo dos possíveis impactos ambientais, há muitos momentos da nossa história recente, onde estas interações foram esquecidas e, tenta-se explicar o todo apenas pela produção e comercialização desta. Esta visão distorcida a respeito da complexidade deste sistema coloca a agricultura como uma atividade humana que não depende de um meio para ser praticada.

Kurtz dos Santos (2000) apresenta uma discussão sobre sistemas de modelagem, ferramentas computacionais quantitativas e semiquantitativas, que permitem entender-se que um modelo pode ser qualquer conjunto de regras que descrevem algo. O autor na sua discussão a respeito do pensamento sistêmico interdisciplinar e a modelagem computacional, salienta que a posição onde nos colocamos para visualizar os sistemas, denominada ponto de vantagem, fará uma grande diferença na natureza dos resultados de um modelo.

AMPLITUDE DOS OBJETIVOS

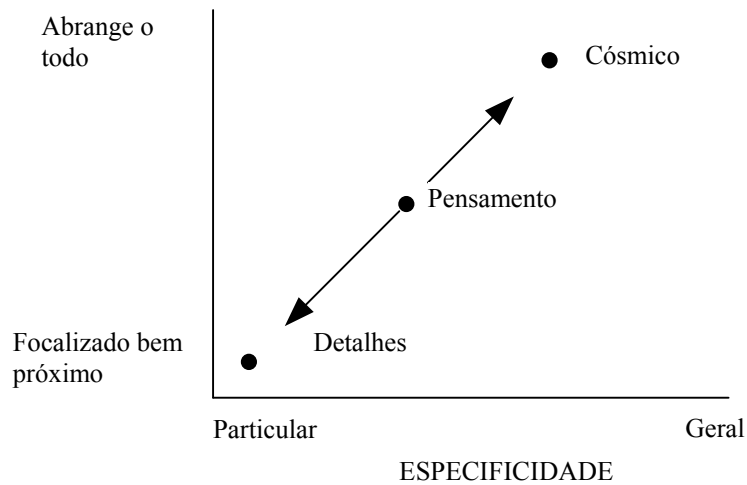


FIGURA 1. Dois componentes do ponto de vantagem.
Fonte: Kurtz dos Santos, 2000.

Os componentes da amplitude de objetivos e especificidade do ponto de vantagem do pensamento sistêmico estão representados na figura 1. Deslocando o pensamento sobre a seta na direção dos detalhes, a especificidade vai se tornando cada vez mais particular e o objetivos vão sendo focalizados muito proximamente, como exemplo apresenta-se o caso do pesquisador que usa um microscópio para observar o interior de um cristal de gelo de uma nuvem, durante o estudo ele perde a visão periférica em nível de interações entre os cristais dentro da nuvem. Quando o pensamento desloca-se na direção do cósmico, os objetivos tornam-se amplos, abrangem o todo e a especificidade tende a tornar-se mais geral. A visão geral pode ser exemplificada por uma imagem de satélite que contenha o campo de nuvens sobre o nosso planeta em um dado instante, a partir da qual é possível estimar as regiões onde existe formação de gelo.

3. Algumas considerações sobre modelos e modelagem

A modelagem como uma forma de representar a realidade, tem sido de grande valia, pois desde a década de 70, quando Meadows et al. (1978), desenvolveu estudos

detalhados para o Clube de Roma a respeito dos limites do crescimento e, em função dos dados históricos registrados que serviram de entrada no modelo computacional denominado MUNDO3, foram obtidos vários cenários possíveis de virem a ocorrer no futuro. As estimativas do tamanho da população mundial para o ano 2000, feitas há aproximadamente 30 anos, foram muito razoáveis, pois os valores obtidos a partir do modelo estão muito próximos daqueles encontrados em estudos mais recentes, como Bruce (1990) e Sheehan (2003).

Kurtz dos Santos (1994) com base em Neelamkavil (1987) afirma que a modelagem é o processo de estabelecer relações entre entidades importantes de um sistema, salientando que para cada modelador existe um modelo mental básico, isto é, uma imagem do sistema real a partir da qual um modelo simplificado é construído.

Para Skovsmose (1988) a concepção da realidade terá que ser estruturada no pensamento de tal maneira que os padrões possam ser identificados. O autor citado destaca dois pontos importantes para a modelagem que são: 1- Selecionar elementos da realidade que são concebidos como importantes; 2- Decidir quais relações entre esses elementos devem ser consideradas importantes.

Ensslin et al. (2001) ao discutir a validação dos modelos afirma que este é um processo que vai depender do paradigma, pois enquanto no paradigma racionalista um modelo será considerado válido quanto mais próximo da realidade estiver e independe das pessoas que estão decidindo, no paradigma construtivista, seguindo Roy (1993), um modelo é uma representação que é aceita como útil pelos *decisores*, onde cada um deles considera o seu problema construído, visando apoiar a sua decisão e desenvolver um entendimento dentro de um contexto decisório. Neste paradigma, o modelo será construído e terá sua forma e conteúdo influenciados pela maneira de coletar e organizar as informações dos decisores e, o modelo representa para os decisores uma ferramenta adequada para organizar a situação, desenvolver convicções e servir à comunicação. Ensslin et al. (2001), afirma ainda que os modelos no paradigma construtivista representam uma forma de gerar conhecimento aos decisores, identificar oportunidades de aperfeiçoamento e devem servir de base para que estes compreendam a repercussão que as ações exercem sobre seus valores.

Miser (1993) procura elaborar um conceito científico visando formar uma base para os problemas de validação, salientando que qualquer teoria ou modelo é um construto² intelectual projetado para aproximar algum aspecto selecionado da realidade, portanto é o fato da aproximação que gera a questão da validação, pois se o modelo fosse a representação exata da realidade esta discussão não existiria. O autor citado considera que não existem critérios universais para a validação e, qualquer julgamento de validade é relativo ao fenômeno que está sendo modelado e aos usos para os quais o modelo será utilizado.

Validação é definida como o processo através do qual os cientistas asseguram a eles e a outros que uma teoria ou modelo é uma descrição de um fenômeno selecionado que é adequada aos usos para os quais ele será utilizado e verificação é o processo pelo qual os cientistas asseguram a eles e a outros que a teoria ou modelo construído corresponde ao que se pretendia construir. A distinção entre verificação e validação é importante, pois em algumas situações, conforme (Miser, 1993), são usadas com o mesmo sentido, mas a primeira tem um significado mais restrito e pode ser considerada uma das partes do processo de validação.

A partir deste ponto percebe-se que não existe um modelo da realidade, mas sim um modelo conceitual criado a partir de uma interpretação específica baseada no referencial teórico elaborado pelo modelador. Então, um modelo pode ser definido como uma representação da percepção que o modelador tem dos possíveis cenários da realidade, que podem ser estáticos ou dinâmicos, mas este não é a realidade.

Alguns exemplos de modelos são encontrados na arqueologia onde os cientistas, tentam a partir de pequenos fragmentos históricos, seja de animais ou plantas fossilizadas reconstruir o próprio animal, como é o caso dos modelos dos dinossauros, ou então os cenários ambientais como aqueles pesquisados pelos paleoclimatologistas que tentam explicar alguns ciclos climáticos longos, usando sofisticados modelos computacionais dinâmicos, isto é, que evoluem no tempo e que são alimentados por registros obtidos a partir dos fósseis.

No cotidiano é possível ouvir-se os jornalistas relatarem uma série infindável de resultados oriundos de modelos econômicos, sociais, ambientais, dentre muitos outros e

² Construto: Tipo de variável que descreve uma qualidade abstrata e que não é diretamente observável. É um instrumento lógico que faz parte de uma teoria, muitas vezes usado como sinônimo de conceito. É uma idéia ou uma percepção resultante de uma síntese de impressões sensoriais. (Miser, 1993)

não se percebe que eles são fruto de um exercício de algum cientista ou grupo de cientistas. Esta percepção somente ocorre quando o cenário apresentado pelo modelo destoa totalmente da realidade. Isto, porém não torna a técnica de modelagem um instrumento sem valor, pois na meteorologia, que talvez tenha sido uma das primeiras ciências a usar modelagem para previsão do tempo e clima, a evolução e a qualidade dos resultados obtidos nos últimos 30 anos são conhecidas do grande público. Estes avanços na meteorologia somente foram possíveis em função da tecnologia que tornou computadores mais velozes e eficientes, permitindo que as complexas equações que governam a dinâmica da atmosfera tivessem uma solução numérica e os dados de regiões inacessíveis, como os oceanos e florestas fossem coletados através de estações meteorológicas automáticas e satélites.

Forrester (1968) verificou que os modelos mentais dos sistemas que evoluem no tempo, dinâmicos, são mal definidos e difíceis de serem comunicados, e que a imprecisão da linguagem pode ser usada para esconder uma imagem mental nebulosa do ouvinte ou do falante, desta maneira considerou que os modelos não devem ser julgados numa escala absoluta que os condena pela falha por serem imperfeitos, mas numa escala relativa que os aprova se eles têm sucesso em deixar claro nosso conhecimento e nossas incursões mentais nos sistemas.

Segundo Odum (1988) as propriedades emergentes aparecem quando os componentes ou subconjuntos combinam-se para produzir sistemas maiores. Estas propriedades não estão no nível inferior de organização, portanto não podem ser previstas a partir do estudo dos componentes desse nível ou unidade. O autor contrariando muitas opiniões sobre a validade dos modelos, segue um raciocínio semelhante ao de Forrester (1968), e considera que para a modelagem de sistemas ecológicos complexos, em muitos casos, bastam informações sobre umas poucas variáveis para permitirem a construção de modelos eficazes, isto porque, as propriedades emergentes freqüentemente dominam uma grande parte das ações nesses sistemas.

Smith (1993) apresenta uma metodologia não numérica para estimar a validade de sistemas complexos, que está baseada na identificação dos argumentos usados e o interesse das partes envolvidas com o modelo. O processo de validação apresenta seis fases que são:

- 1- Identificação das partes interessadas;

- 2- Desenvolvimento da descrição do modelo;
- 3- Obtenção dos argumentos do modelo;
- 4- Desenvolvimento da análise dos argumentos;
- 5- Análise dos argumentos individuais;
- 6- Análise dos argumentos de grupo.

Na fase um o grupo que vai participar é identificado, a fase dois representa o momento em que se procede a revisão de literatura, as discussões com os participantes e a identificação das diferentes suposições do modelo. Na fase três são conduzidas as entrevistas, onde busca-se identificar as questões e argumentos primários a favor do uso e validade do modelo. Na fase quatro extraem-se preliminarmente tópicos para transcrição, eliminando discussões tangenciais e redundantes. A fase cinco corresponde ao momento em que a hierarquia dos argumentos é revisada e os prós e contras são identificados em cada questão. Finalmente têm-se na fase seis os argumentos individuais para cada questão chave e a conexão de todos os argumentos e contradições para cada questão chave e a construção final com argumentação hierárquica para a validade das entradas usadas pelas partes interessadas.

Frontier (2001) faz uma distinção muito clara entre complicado e complexo. O complicado pode ser simplificado para conhecer-se a integralidade, o complexo ao ser simplificado torna-se mutilado, com isto, a integralidade somente poderá ser conhecida através da modelagem. Segundo o autor citado, a maior parte dos sistemas naturais são complexos e apresentam quatro propriedades fundamentais que são:

- 1- Princípio da organização com vistas a uma função coletiva e com diversidade necessária;
- 2- Princípio da organização hierárquica;
- 3- Existência de estratégias adaptativas;
- 4- Princípio da evolução.

O primeiro princípio é o que garante aos seres vivos a sobrevivência, a adaptação e a reprodução através de funções assumidas em todos os níveis do sistema que se articulam, coordenam-se e controlam-se mutuamente visando a sobrevivência como conjunto. O segundo nos permite observar que nos sistemas complexos existem sistemas em vários

níveis interagindo uns com os outros e com o ambiente conduzindo a emergência de propriedades novas, assim aquilo que é um sub-sistema numa escala de observação, poderá ser o próprio sistema em outra, isto irá depender do ponto de observação do sistema. As estratégias adaptativas são aquelas relacionadas a certos objetivos, um exemplo é reprodução da espécie, quando frente aos riscos de extinção as populações reagem aumentando a taxa de natalidade ou intensificando a proteção de seus descendentes. O quarto princípio, o da evolução, garante que a dinâmica de um sistema complexo faz com que este não permaneça idêntico ao longo do tempo, senão em casos excepcionais.

Kurtz dos Santos (1992) e (1994) discute os diagramas causais, que são representações simbólicas onde as variáveis são relacionadas através de setas, visando mostrar como estes poderão ser implementados usando um programa para modelar como o STELLA[®] Laboratório de Aprendizagem Experimental com Animação para Estruturação do Pensamento, (STRUCTURAL THINKING EXPERIMENTAL LEARNING LABORATORY WITH ANIMATION), que é uma ferramenta com muitos recursos para construir representações (modelos). As múltiplas aplicações deste programa podem ser vistas em Richmond et al. (1997).

No STELLA as variáveis são representadas por tanques, que podem corresponder a um estoque ou a um nível, onde o valor inicial pode crescer ou decrescer. As taxas são representadas por torneiras, que uma vez conectadas aos tanques podem definir o quão rápido os estoques irão mudar. Quantidades representadas por um círculo são conversores, que podem ser constantes ou calculadas a partir de outras quantidades.

No STELLA a construção de um modelo é feita através da conexão de objetos básicos, de tal maneira que o usuário terá um diagrama animado, onde poderá analisar visualmente o comportamento das quantidades ao longo do tempo. Além do diagrama, o modelador tem acesso rápido aos gráficos, tabelas e equações.

Os modelos desenvolvidos por Odum (1988), utilizando os símbolos apresentados na figura 2, para representar sistemas ecológicos, podem ser traduzidos para a representação do STELLA na modelagem computacional.

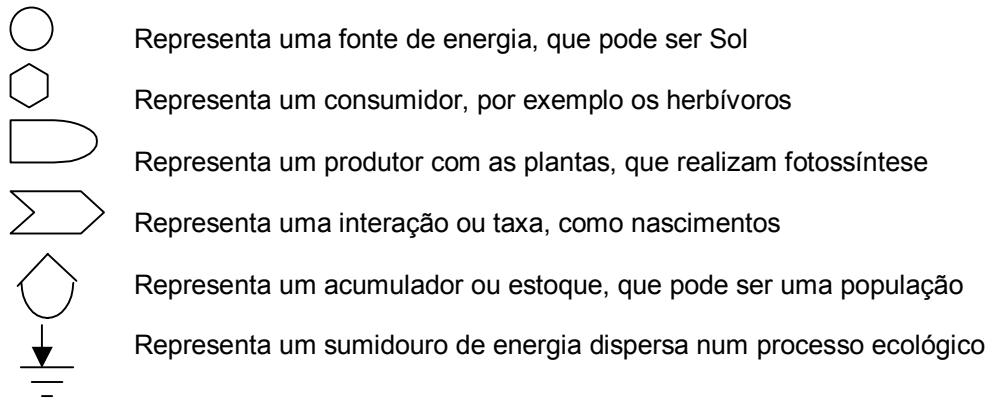


FIGURA 2. Símbolos usados por Odum.
 Fonte: Kurtz dos Santos, 2000.

Na figura 3 apresenta-se um modelo de uma fonte renovável usando a simbologia proposta por Odum. Uma floresta cria biomassa (folhas, troncos, animais) utilizando energia solar (J). A este tipo de fonte de energia chamamos de renovável. Uma floresta que usa radiação solar cresce aumentando a biomassa até utilizar o total de energia solar disponível em cada dia. JR é a parte de J que está disponível para ser utilizada. Quando a quantidade de biomassa iguala a quantidade que morre e é decomposta, o sistema atinge um estado estacionário. O crescimento em biomassa é proporcional à luz do sol disponível (JR) e a quantidade de biomassa crescente na floresta (Q), que é expresso $K1*JR*Q$. A morte e decomposição é uma proporção (K4) da biomassa armazenada ($K4*Q$)

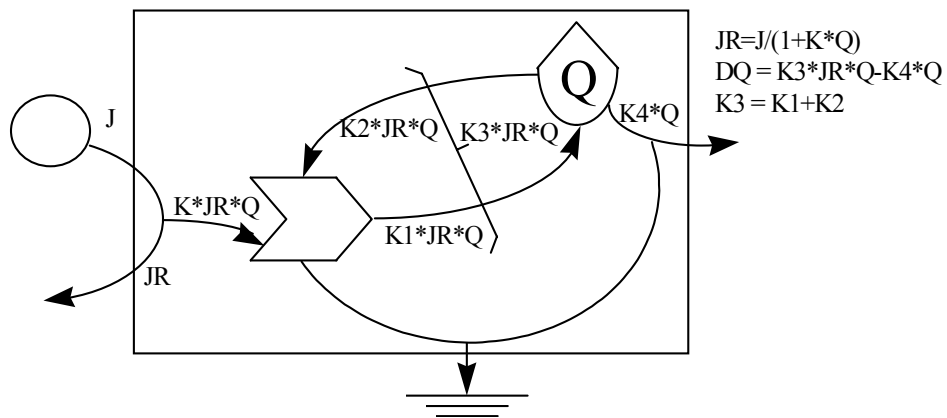


FIGURA 3. Diagrama de crescimento de uma fonte renovável de Odum.
 Fonte: Kurtz dos Santos, 2000.

Na figura 4 apresenta-se o diagrama correspondente do modelo da fonte renovável em STELLA. No uso desta ferramenta computacional é necessário apenas informar as relações algébricas entre as variáveis, para que internamente as estruturas matemáticas sejam organizadas automaticamente. Esta simplificação constitui-se em uma grande vantagem, pois permite simular-se diferentes situações, sem que novas linhas de programação tenham que ser escritas para cada simulação imaginada. O comportamento de qualquer uma das variáveis do sistema pode ser acompanhado ao longo do tempo através de saídas gráficas como a apresentada na figura 5, onde no eixo vertical tem-se “Q” quantidade de biomassa produzida pela floresta, expressa em unidades de massa e no horizontal o tempo, que pode ser em horas, dias, semanas, meses ou anos.

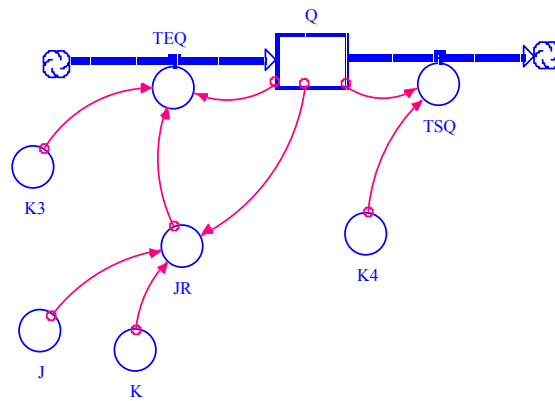


FIGURA 4. Diagrama de crescimento de uma fonte renovável em STELLA.

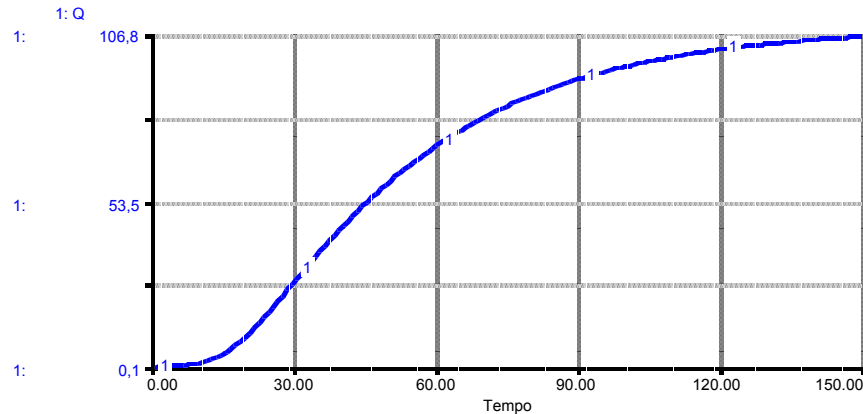


FIGURA 5. Saída gráfica do diagrama de crescimento de uma fonte renovável.

4. Referências bibliográficas

ALTIERI, M. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. Porto Alegre: Ed. Universidade /UFRGS, 2000. 110p.

BERTALANFFY, L. **Teoria geral dos sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1977. 351p.

BRUCE, J. P. **The atmosphere of the living planet Earth**. Geneva: World Meteorological Organization, 1990. 42p.

CAPRA, F. **A teia da vida**. São Paulo: Cultrix, 1996. 256p.

ENSSLIN, L., MONTIBELLER, G. & NORONHA, S. M. **Apoio à decisão: metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas**. Florianópolis: Insular, 2001. 296p.

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

FRONTIER, S. **Os ecossistemas**. Portugal: Instituto Piaget, 2001. 154p.

KURTZ dos SANTOS, A. C. **Computational modelling in science education: a study of students ability to manage some different approaches to modeling**. London, 1992. 359f. PhD thesis - Institute of Education University of London. 1992.

KURTZ dos SANTOS, A. C. **Introdução a modelagem computacional na educação**. Rio Grande: FURG, 1994. 147p.

KURTZ dos SANTOS, A. C. **III seminário sobre representações e modelagem no processo de ensino - aprendizagem**. Rio Grande: FURG, 2000. 167p.

- MEADOWS, D. L., BEHRENS III, W. W., MEADOWS, D. H., NAILL, R. F., RANDERS, J., ZAHN, E. K. O. **Dynamics of growth in finite world**. Cambridge, Massachusetts: Wright-Allen Press, Inc., 1974. 637p.
- MEADOWS, D. H., MEADOWS, D. L., RANDERS, J., BEHRENS III, W. W. **Limites do crescimento**. São Paulo: Perspectiva, 1978. 200p.
- MISER, H. J. A foundational concept of science appropriate for validation in operational research. **European Journal of Operational Research**, North-Holland, n.66, p.204-215, 1993.
- NEELAMKAVIL, F. **Computer simulation and modelling**. New York: John Wiley & Sons, 1987.
- ODUM, H.T. **Environmental systems and public policy**. Gainesville: University of Florida, 1988.
- PINHEIRO, S. L. G. O enfoque sistêmico e o desenvolvimento rural sustentável: uma nova oportunidade de mudança da abordagem Hard-Systems para experiências com soft-systems. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v.1, n. 2, 2000.
- RICHMOND, B., PETERSON, S. & SODERQUIST, C. **An introduction to systems thinking**. Hanover: High Performance Systems, 1997. 202p.
- ROY, B. Decision science or decision-aid science? **European Journal of Operational Research**, North-Holland, n. 66, p.184-203, 1993.
- SKOVSMOSE, O. Mathematics as part of technology. Elements of philosophy of an Applied Oriented Mathematical Education. **Educational Studies in Mathematics**, n.19, p.23-41, 1988.
- SMITH, J. H. Modeling muddles: validation beyond the numbers. **European Journal of Operational Research**, North-Holland, n.66, p.235-249, 1993.