Fundação Universidade Federal do Rio Grande

Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental

Rev. eletrônica Mestr. Educ. Ambient. ISSN 1517-1256

Programa de Pós-Graduação em Educação Ambiental

Volume 15, julho a dezembro de 2005.

RACIOCÍNIO QUALITATIVO COMO FERRAMENTA DE APRENDIZADO – EXPERIÊNCIA ADQUIRIDA AO MODELAR

Symone Christine de Santana Araújo
Programa de Pós-Graduação em Ecologia
Departamento de Ecologia da Universidade de Brasília
symone@unb.br

Carlos Hiroo Saito
Programa de Pós-Graduação em Ecologia
Departamento de Ecologia da Universidade de Brasília
saito@unb.br

Paulo Sérgio Bretas de Almeida Salles
Programa de Pós-Graduação em Ecologia
Departamento de Ecologia da Universidade de Brasília
Núcleo de Educação Científica do Instituto de Ciências Biológicas da UnB
psalles@unb.br

RESUMO

A modelagem baseada em Raciocínio Qualitativo (RQ) auxilia no processo de aprendizagem do modelador. O RQ é um poderoso fundamento para a geração de explicações, porque os comportamentos de interesse do sistema modelado são explicitamente modelados em termos de componentes relevantes, processos, relações causais, espaços quantitativos, premissas e estados qualitativos. Os modelos baseados em RQ, modelos qualitativos, permitem lidar com questões, problemas, tarefas e explicações nos níveis conceitual e intuitivo. Nos modelos qualitativos propostos o RQ proporciona oportunidades de aprendizagem sobre os mecanismos que determinam a qualidade da água, em termos da dinâmica do Oxigênio Dissolvido (OD), e sobre o processo de modelagem em si. A experiência adquirida ao modelar permitiu ao modelador ampliar o seu conhecimento sobre o sistema modelado.

Palavras – chave: Raciocínio Qualitativo**,** modelos qualitativos, aprendizado e qualidade da água.

ABSTRACT

The modeling based in Qualitative Reasoning (QR) helps the modeler learning process. The QR is a powerful fundamental for the generation of explanations, because the behaviors that interest the modeler's system are explicitly modeled in terms of relevant behavior, process, cause relations, quantitative spaces, assumptions and qualitative states. The models based on QR, qualitative models, allow dealing with questions, problems, tasks and explanations in the conceptual and intuitive levels. In the proposed qualitative models the QR provides opportunity of learning about the mechanisms that determine the water quality, in terms of the OD's dynamics, and about the modeling process itself. The experience acquired from modeling allowed the modeler to enlarge the knowledge about the modeled system.

Keywords: Qualitative Reasoning, qualitative modelling, learning and water quality.

1. INTRODUÇÃO

O processo de modelagem é uma experiência que pode ser explorada para o aprendizado (Kurtz dos Santos & Ogborn, 1992; Salles, 1997 e Kurtz dos Santos, 2004). A modelagem requer a compreensão de um problema a ser solucionado, a avaliação de prioridades e a habilidade de representar o conhecimento em termos de uma linguagem computacional. O aprendizado adquirido na formulação, teste e revisão de modelos é um aspecto essencial para formalizar o conhecimento (Bredeweg & Forbus, 2004).

Como utilizar a modelagem baseada em Raciocínio Qualitativo (RQ) para auxiliar no processo de aprendizagem do modelador? O aprendizado pode ser obtido pela compreensão do funcionamento do sistema, em termos da possibilidade de realizar predições e explicações sobre o sistema modelado. A idéia é que a construção de modelos em RQ permite ao modelador formular uma estrutura para descrever o comportamento do sistema, testar numa simulação e revisar o que é necessário. Essas são habilidades muito importantes para serem adquiridas no processo de aprendizagem.

Os modelos construídos numa linguagem de Raciocínio Qualitativo, modelos qualitativos, possuem características que propiciam ao modelador aprofundar o processo de aprendizagem ao interagir com a simulação (Salles & Bredeweg,1997). O RQ proporciona meios para formalizar o conhecimento conceitual tais como a estrutura do sistema, o início e o final dos processos, as premissas e condições sobre as quais os fatos são verdadeiros e a representação de conhecimento qualitativamente relevante (Bessa Machado *et al.,* 2005).

De acordo com Forbus (1996) o RQ possui formalismos que combinam representações qualitativas e quantitativas para auxiliar no processo de criação e refinamento de modelos:

modelagem composicional (Falkenhainer & Forbus, 1991), biblioteca de fragmentos de modelos (Forbus, 1984) e definição de premissas.

Bredeweg & Forbus (2004) discutem a modelagem qualitativa no processo educacional. A idéia é a de "*aprender fazendo*", ou seja, novas possibilidades de experimentação que vão desde a definição da estrutura até a interação com os resultados da simulação, permitindo num processo iterativo e heurístico que o modelador amadureça no processo. De acordo com os autores as abordagens em RQ proporcionam ferramentas básicas para a aquisição do conhecimento. Ou seja, permite adquirir e articular idéias para uma representação formal de determinado campo do saber, induzindo o aprendizado.

A construção de modelos qualitativos é um processo complexo durante o qual uma multiplicidade de aspectos deve ser administrada pelo modelador (Bessa Machado & Bredeweg, 2003). Para criar um modelo é necessário não apenas identificar os objetos relevantes e suas interações, suas propriedades e quantidades importantes, mas também determinar o que é relevante e o que pode ser negligenciado (Bredeweg & Struss, 2004). Ao desempenhar a tarefa de construir modelos qualitativos o modelador utiliza linguagem formal para expressar os elementos do modelo e desenvolver inferências sobre o sistema modelado.

Em nossa pesquisa queremos demonstrar que a construção de modelos qualitativos, baseados na dinâmica do OD, para avaliação da qualidade da água, permite ao modelador formalizar suas percepções de como o sistema funciona a partir de um caminho causal, orientado pelo conhecimento formal sobre o tema. Usando RQ, o modelador pode testar, refinar, remover erros e associar os resultados para fomentar o aprendizado.

O objetivo desse artigo é apresentar a experiência adquirida na construção desses modelos qualitativos e na exploração dos resultados da simulação qualitativa. Para isso é apresentada uma visão geral dos modelos qualitativos propostos, seguida de uma descrição do processo de modelagem. As premissas adotadas estão definidas, bem como considerações de como os erros contribuem para o aprendizado. Por fim é discutido o potencial heurístico da modelagem baseada em RQ e são feitas algumas considerações finais.

2. MODELAGEM DA QUALIDADE DA ÁGUA NUMA ABORDAGEM DE RACIOCÍNIO QUALITATIVO

O Raciocínio Qualitativo (RQ) é uma técnica inovadora, originária da Inteligência Artificial (Neumann & Bredeweg, 2004) que proporciona oportunidades para ampliar o nível de conhecimento sobre um sistema a ser modelado. De acordo com Tullos *et al.* (2004) o RQ satisfaz as necessidades de agregação, articulação e abstrações para representação do conhecimento sobre a qualidade da água. Foram construídos modelos baseados em RQ, modelos qualitativos, para a descrição e predição de mudanças na qualidade da água induzidas por atividades antrópicas numa bacia hidrográfica.

A representação do conhecimento ecológico sobre o metabolismo da qualidade da água foi efetuada em termos da dinâmica do oxigênio dissolvido (OD), reconhecido como parâmetro amplamente utilizado para determinar o impacto de cargas poluidoras em corpos d'água. A figura 1apresenta os principais processos modelados.

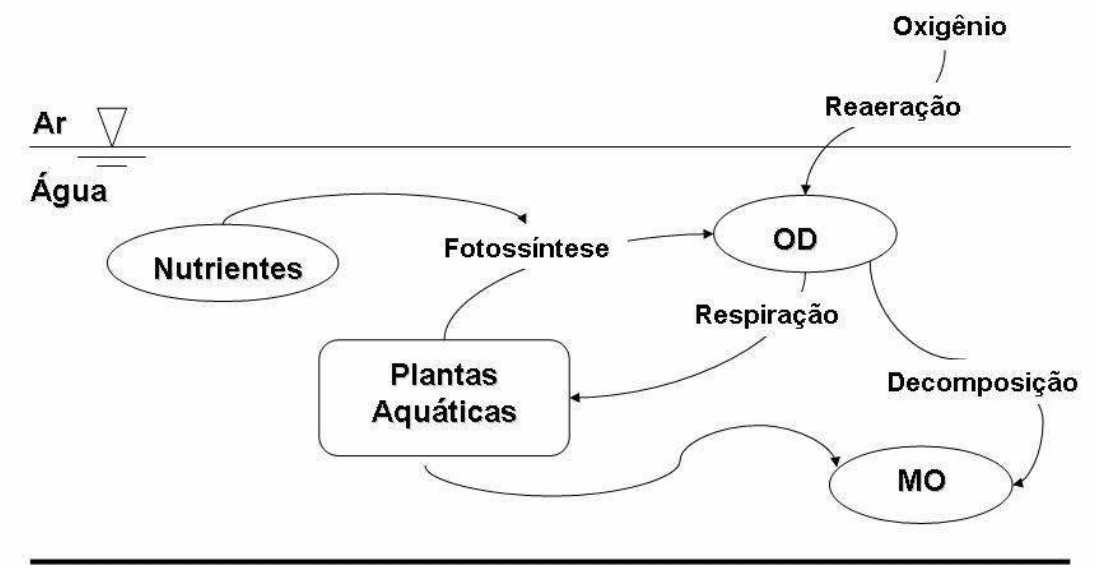


Figura 1. Sumário dos processos simulados nos modelos qualitativos. Modificado de Whitehead *et al*. (1997), e Brown & Barnwell (1987) e Eatherall *et al.* (1998).

Os modelos para a dinâmica do (OD) foram descritos a partir de uma abordagem composicional (Falkenhainer & Forbus, 1991), que compreende o desenvolvimento e a agregação de componentes parciais do sistema para representar o comportamento geral do sistema. Isso corresponde, numa linguagem de RQ, à representação das relações causais entre os componentes do sistema a partir da Teoria Qualitativa dos Processos estabelecida por Forbus (1984).

Na Teoria Qualitativa dos Processos (TQP) são estabelecidas as definições estruturais de como quantidades e processos relacionados à dinâmica do OD interagem. Essas relações causais são explicitadas por influências diretas (*I*+ e *I*–) e proporcionalidades qualitativas (*P*+ e *P*–). As influências diretas, ou simplesmente influências são introduzidas por processos e provocam as mudanças inicias no sistema. As proporcionalidades qualitativas ou influências indiretas são usadas para representar a propagação de mudanças dentro do sistema e expressam uma função monotônica desconhecida entre duas variáveis que pode ser usada para construir equações nos modelos qualitativos. Influências diretas e proporcionalidades representam as relações causal e matemática entre as variáveis do sistema a ser modelado.

Os processos modelados para descrever a dinâmica do OD, notados como *taxas*, foram fotossíntese e respiração, sintetizadas no conceito de produção líquida, decomposição e re-aeração. Nos modelos propostos o corpo d'água é compreendido como um recipiente que contém substâncias dissolvidas, OD, matéria orgânica (MO) e nutrientes e entidades biológicas, plantas aquáticas e decompositores. Todas as quantidades são representadas em espaços quantitativos correspondentes a pontos e intervalos. Um diagrama causal que descreve processos e quantidades e as interações entre eles e o conteúdo de OD está apresentado na figura 2.

Os modelos foram construídos usando uma interface gráfica HOMER (Bessa Machado & Bredeweg, 2002 e 2003), simuladas numa ferramenta de simulação qualitativa, GARP (Bredeweg, 1992), e inspecionada no VisiGARP (Bouwer & Bredeweg, 2001).

O GARP é uma ferramenta de simulação qualitativa que implementa características importantes do Raciocínio Qualitativo. O simulador qualitativo trabalha com cenários e biblioteca de fragmentos de modelos (FM). Os fragmentos de modelos capturam o conhecimento sobre a estrutura e o comportamento parcial do sistema e são reunidos para formar os estados que descrevem comportamento (Goddijn *et al.,* 2003) e para criar simulações diferentes e mais complexas (Salles, 2005). Os cenários especificam situações para o simulador iniciar uma predição de comportamento do sistema. A biblioteca de fragmentos de modelos é composta de 30 FM e foram simulados 42 cenários iniciais, ao total.

A saída do simulador qualitativo é um grafo de estado (figura 3), o qual descreve todas as possibilidades de um sistema. Cada estado corresponde a um comportamento único que o simulador pode manifestar (Goddijn *et al.,* 2003).

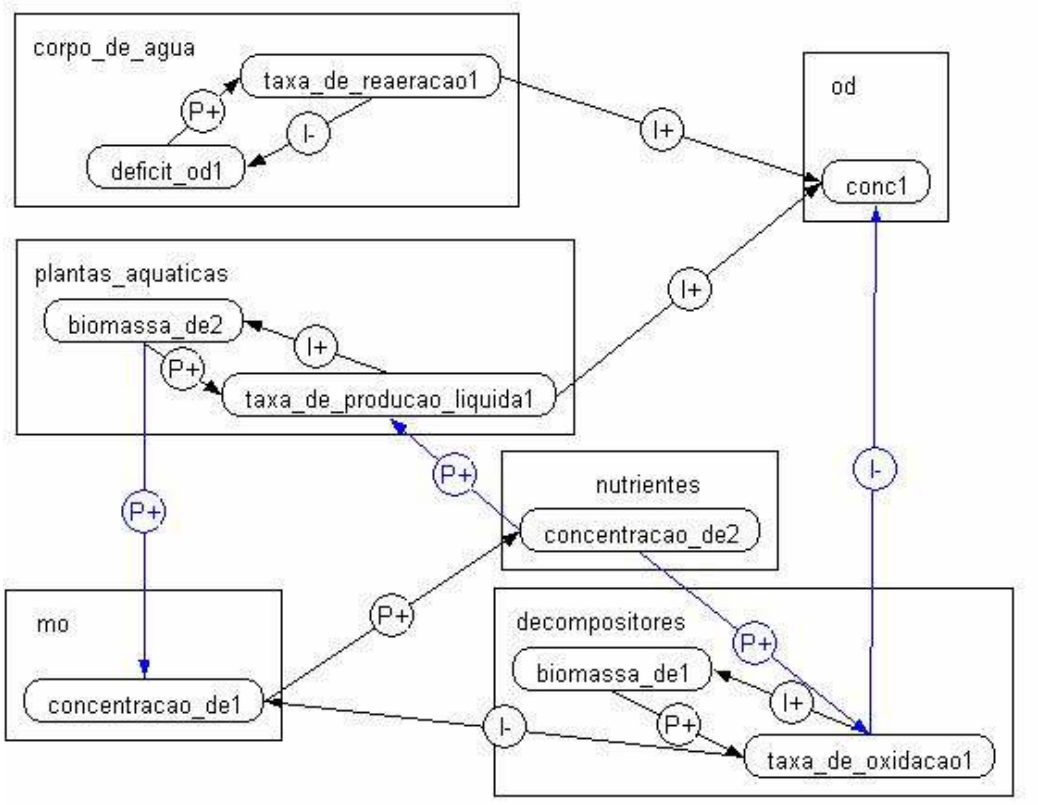


Figura 2. Diagrama causal[1] para o estado 3 do cenário 11(e).

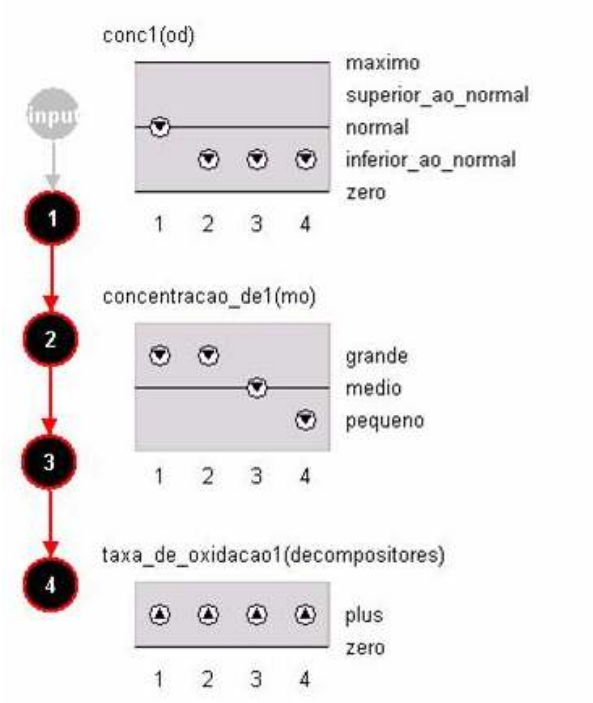


Figura 3. Resultados de uma simulação[2] que descreve o processo de decomposição: consumo de MO com conseqüente depleção de OD.

[1] Os diagramas foram gerados no VisiGARP (Bouwer & Bredeweg, 2001).

3. PROCESSO ITERATIVO E INCREMENTAL

Os modelos qualitativos foram construídos de forma iterativa e incremental (figura 4). A noção de iterativo corresponde à idéia de melhorar ou refinar pouco a pouco. O sistema é melhorado em iterações sucessivas. O conceito de modelagem incremental permite aumentar ou alargar pouco a pouco a complexidade do sistema. O processo iterativo e incremental tem como vantagem a possibilidade de avaliar mais cedo os riscos e pontos críticos ou mais significativos e identificar medidas para solucionar os erros.

As iterações sucessivas podem ser compreendidas como um processo de refinamento dos modelos. A cada iteração o sistema é testado e os resultados são avaliados. O processo de refinamento é concluído com sucesso quando é obtido para cada um dos cenários o grafo de comportamento desejado ou o resultado desejado para o comportamento do sistema (Bessa Machado & Bredeweg, 2003).

No processo de depuração é possível regressar a uma tarefa anterior de forma a contemplar alterações funcionais e/ou técnicas que tenham surgido em virtude de um maior ou novo conhecimento que se tenha obtido. A principal conseqüência dessa aproximação iterativa é que o modelo vai sendo amadurecido e completado e de cada iteração é possível obter um produto final.

Por exemplo, o $Modelo_1$ após uma depuração do $Modelo_0$ está apto a representar o processo da fotossíntese na formulação mais simples possível, sendo indicadas apenas as quantidades *plantas* aquáticas e *Conc*_OD e o processo de fotossíntese (*taxa_de_fotossíntese)*. Desta formulação mais simples é possível extrair explicações sobre o funcionamento da produção fotossintética de OD pelas plantas aquáticas permitindo ao modelador explorar espaços quantitativos e estabelecer os efeitos sobre o conteúdo de OD (figura 5).

[2] Os estados são identificados por números criados pelo simulador GARP (Bredeweg, 1992). Esses números necessariamente não refletem a seqüência dos comportamentos, mas tão somente a ordem de aparecimento durante a simulação.

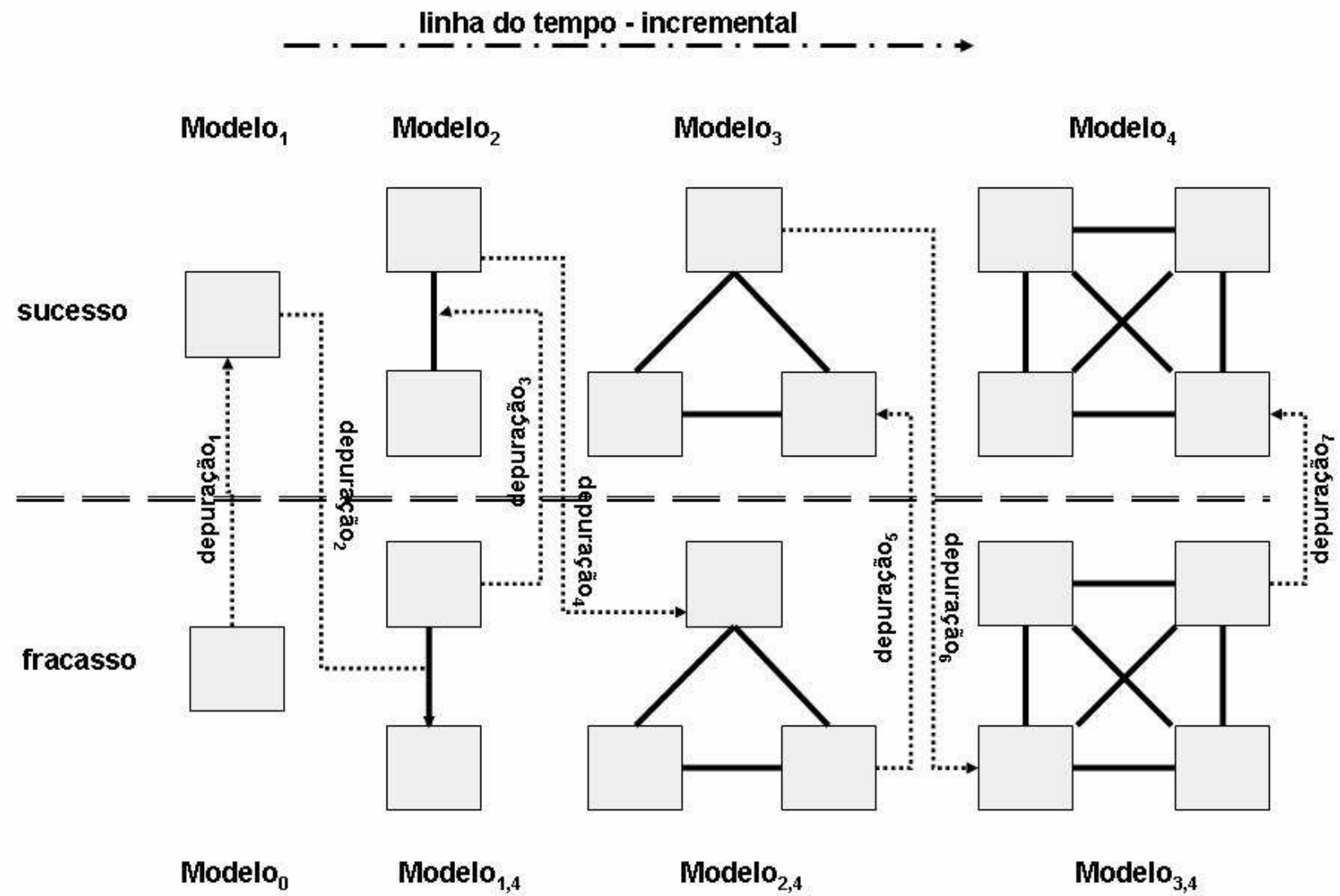


Figura 4. Processo de construção dos modelos qualitativos. $Modelo_1$: Fotossíntese. $Modelo_2$: Fotossíntese + Respiração. $Modelo_3$: Fotossíntese + Respiração + Re-aeração. $Modelo_4$: Fotossíntese + Respiração + Re-aeração + decomposição.

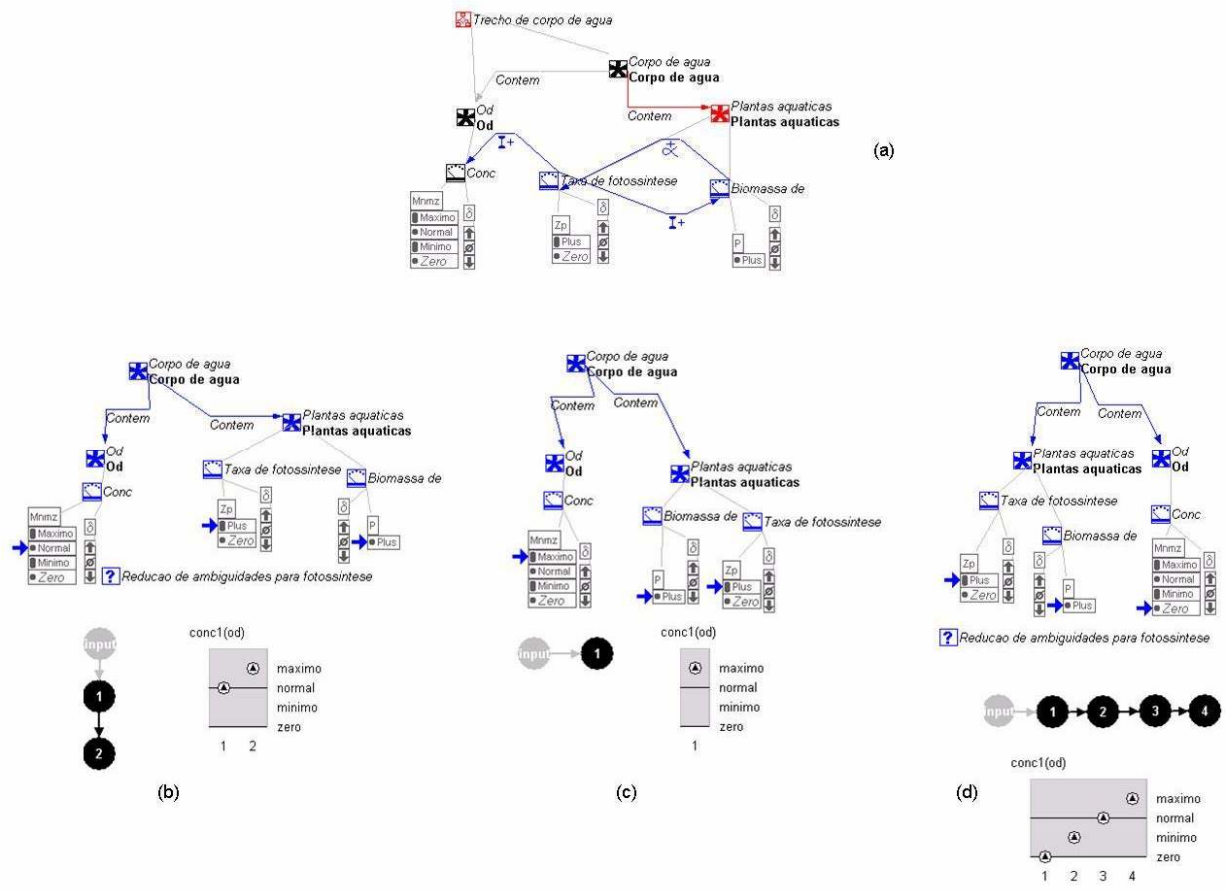


Figura 5. Resultados do Modelo$_1$: (a) FM: *Produção fotossintética de OD por plantas* aquáticas; (b)cenário1_a valor inicial de *Conc*_OD <*normal, ?*>; (c)cenário1_b valor inicial de *Conc*_OD <*maximo, ?*> ; (d)cenário1_c valor inicial de *Conc*_OD <*zero, ?*>.

Quando o comportamento de uma parte mais simples do sistema é entendido com sucesso, é possível progredir para modelos e cenários mais complexos, em termos do número de componentes, da quantidade de detalhes, ou do nível de complexidade. Isto permite ao modelador passar a um nível hierárquico seguinte na estrutura do sistema, de maior complexidade, num processo incremental (figura 4). Ou seja, a partir do sucesso obtido na etapa imediatamente anterior, a estrutura dos modelos é ampliada introduzindo-se novos conceitos.

No entanto, à medida que esta estrutura torna-se mais complexa o modelador passa a lidar com problemas novos, não previstos, que surgem ao se alterar a complexidade da estrutura, obrigando-o a investigar (McMenamim & Palmer, 1984). Por exemplo, ao se introduzir o conceito da Respiração de plantas aquáticas, no Modelo$_{1,4}$, são adicionados novos fragmentos de modelos e cenários. O que ocorre é que mesmo sem um comando explícito do modelador, o simulador raciocina sobre esta nova estrutura alterando os resultados que eram

obtidos antes nos cenários que descreviam o processo de fotossíntese funcionando independentemente. Neles, o simulador introduz automaticamente a *Taxa de respiração*, visto que ambas, *Taxa de fotossíntese* e *Taxa de respiração*, alteram a *Conc*_OD. Não é isso que deseja o modelador. Ele quer manter o controle sobre as simulações e somente ao seu comando o simulador deverá juntar os dois processos num cenário específico.

O modelador observa que os elementos estão inter-relacionados de tal sorte, que mudanças em um deles, ou em um dos relacionamentos acarretam mudanças de todo o conjunto, ou seja, dos demais elementos e relações. Esses problemas decorrem, principalmente, em função de dois dos atributos da estrutura identificados por Saito (1998): atributo da totalidade pelo qual se entende a estrutura como um conjunto com identidade e características próprias, maior do que a soma das partes; e o atributo da interdependência entre as partes, cada qual contribuindo complementarmente, para a consecução dos objetivos gerais da estrutura.

Para eliminar o efeito da estrutura, que, se não compromete o resultado final, contribui para aumentar o tempo da simulação e pode produzir ambigüidades, o modelador pode lançar mão de um artifício que é o de modelar restrições que permitam um maior controle da simulação. Essas restrições são denominadas premissas[3], nos modelos qualitativos, e serão tratadas detalhadamente no item a seguir.

4. LIDANDO COM AMBIGÜIDADES: O USO DE PREMISSAS

A introdução de premissas permite reduzir ambigüidades e lidar com o efeito da estrutura (aumento da complexidade). A racionalidade para o uso de premissas nos modelos qualitativos propostos apóia-se na experiência do modelador. Ele conhece as limitações e potencialidades da ferramenta de simulação qualitativa e os conceitos teóricos dos fenômenos que interagem no balanço de oxigênio dissolvido.

As premissas são implementadas em FM do tipo estático. Estes fragmentos descrevem relações entre entidades e quantidades que não envolvem processos. Portanto, não introduzem mudanças no sistema. Premissas são usadas para refinar o modelo pelo estabelecimento de restrições ou limites às possibilidades de ramificações das simulações, evitando ambigüidades desnecessárias e permitindo manejar a complexidade do sistema modelado.

[3] O termo premissas é uma tradução livre do termo *assumptions* conceituado por Falkenhainer & Forbus (1991).

Nos modelos propostos a introdução de uma premissa associada ao conceito de *Produção Líquida de OD por plantas aquáticas* demonstra a possibilidade de combinar os dois requisitos básicos: potencialidade da ferramenta qualitativa e a introdução de um conceito ecológico bem conhecido.

A ferramenta usada possui um bloco construtivo que permite modelar a operação matemática da subtração. Esse primitivo de modelagem é utilizado para introduzir a quantidade *Taxa de Produção Líquida* (*Taxa de fotossíntese – Taxa de respiração*) num FM, que recebe o rótulo *Cálculo da Taxa de Produção Líquida*.

Esta representação reduz a complexidade da simulação. Ao invés de utilizamos duas taxas, elas são sintetizadas por um processo agregado, resultante de uma operação matemática, subtração de duas variáveis. A conseqüência do uso da premissa é que a simulação produz 9 estados ao total, ao invés dos 15 que foram produzidos antes da introdução da restrição (figura 6). Ressalte-se que a qualidade das predições e das explicações não é comprometida.

As duas simulações são empreendidas a partir de três estados iniciais e em ambas é possível identificar um comportamento de ramificação. Os resultados que seguem a face esquerda das simulações representam situações nas quais o consumo de OD é maior que a sua produção conduzindo a uma condição de depleção do conteúdo de OD no corpo d'água. Do outro lado, na face direita, são apresentadas situações nas quais o conteúdo de OD vai sendo gradativamente incrementado até que se chegue a valor de saturação deste gás. Isto significa que os processos de produção superam os de consumo.

A figura 7 apresenta um exemplo típico de utilização de premissas para a remediação do efeito da estrutura. Isto pode ser observado nas alternativas encontradas pelo modelador para evitar as ambigüidades que são geradas quando é acrescido à estrutura do $Modelo_1$ o conceito de respiração. Os resultados da simulação demonstram que o simulador produz um conjunto de estados intermediários decorrentes da *Taxa de respiração de plantas aquáticas* ter sido instanciada à revelia da vontade do modelador expressa na estrutura proposta ($Modelo_{1,4}$).

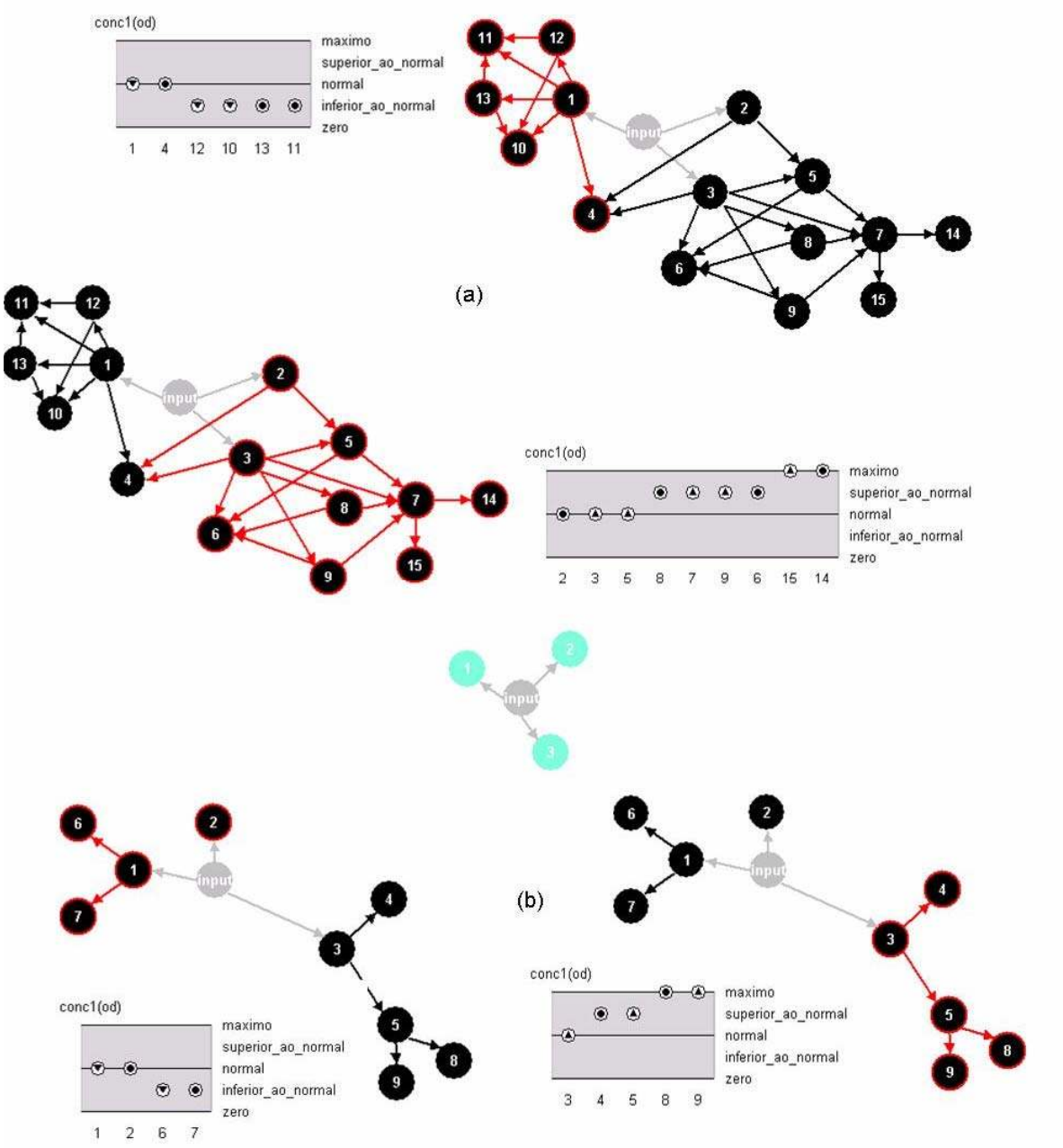


Figura 6. Efeitos da introdução do conceito de *Taxa de Produção Líquida de OD*. (a) Resultados da simulação antes da introdução da premissa; (b) Resultado da simulação após o uso de premissa para selecionar o FM *Taxa de Produção*.

Para solucionar este problema, o modelador adiciona à biblioteca um fragmento de modelo que representa o processo de fotossíntese funcionando independente do processo de respiração ($Modelo_2$). Nesse caso, uma premissa *Fotossíntese Ativa* é usada para trazer mais detalhes aos fragmentos dos modelos e permitir ao modelador um maior controle sobre a simulação. A premissa é implementada no FM *Funcionamento Independente da Fotossíntese* e o comportamento da quantidade *Taxa de Respiração* fica com valor *<0, plus>* durante toda a simulação.

Os resultados obtidos demonstram que o modelador desenvolveu a habilidade de lidar com o aumento da complexidade e ele poderá replicar este procedimento sempre que for necessário durante a construção dos modelos qualitativos.

De um modo geral, a modelagem de premissas por meio de fragmentos de modelos permite avaliar o conhecimento usado nos modelos, ratificando e aprimorando o conhecimento teórico do modelador.

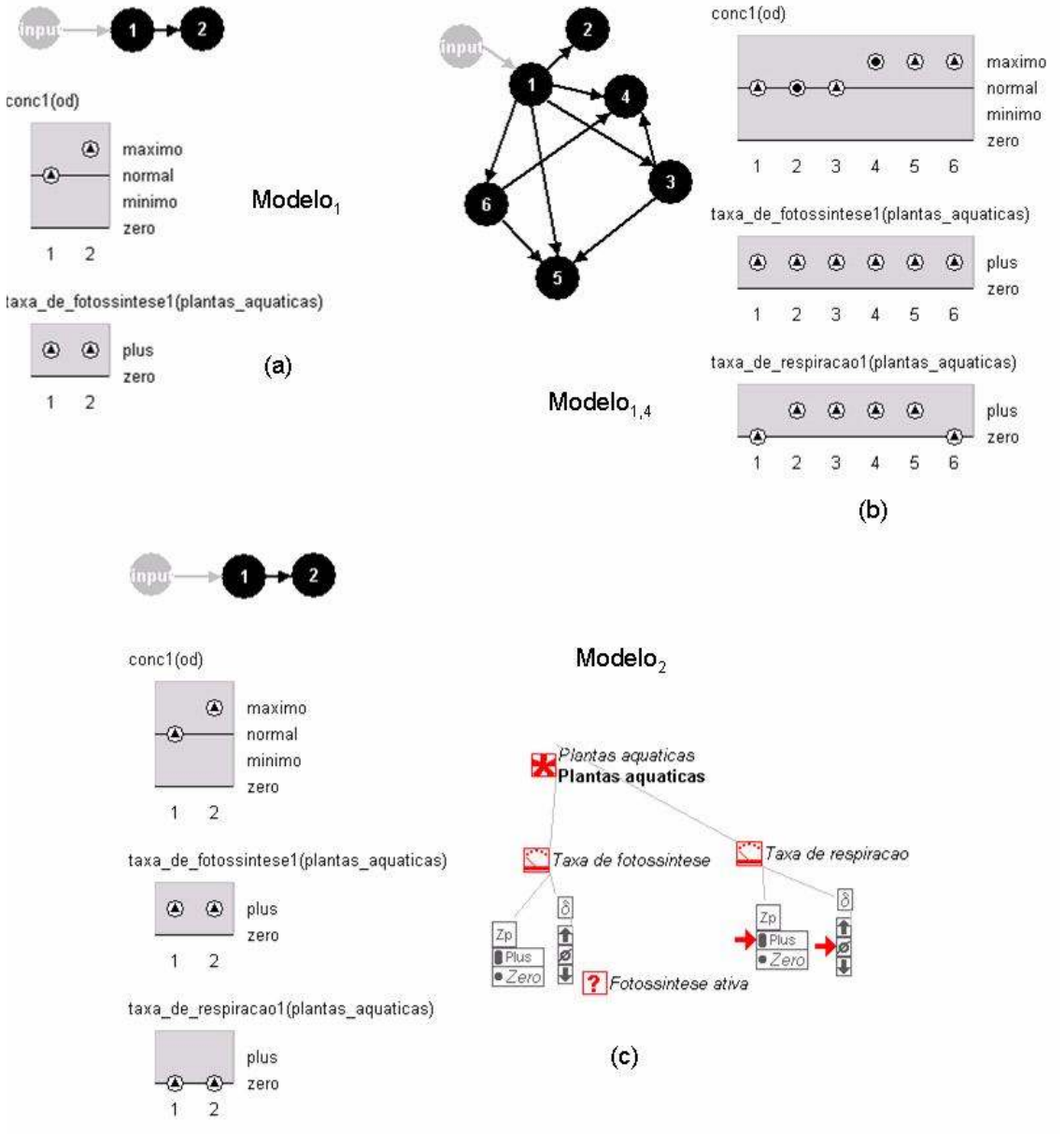


Figura 7. (a) Resultados da simulação do cenário de *Fotossíntese* no Modelo$_1$; (b) Resultados da simulação do cenário de *Fotossíntese* no Modelo$_{1,4}$; (c) Resultados da simulação do cenário de *Fotossíntese* no Modelo$_2$.

5. APRENDIZADO PELO ERRO

Koning & Bredeweg (1998) afirmam que as pessoas aprendem com os erros. O valor do aprendizado pelo erro tem sido reconhecido como de grande valia no processo educacional. Erros podem ser úteis para ajustar e refinar os modelos construídos pelo modelador. Por meio da experimentação e da exploração o aprendizado pode ser empreendido em modelos qualitativos. O conhecimento obtido por meio dos processos de "*tentativa e erro"* pode auxiliar para que o aprendizado se dê num caminho mais efetivo e eficiente.

Diferentemente do que ocorre na simulação quantitativa tradicional, a explicitação do comportamento a partir da estrutura dos modelos qualitativos permite que estes possam ser acompanhados ou avaliados de trás para frente, permitindo no mínimo que a simulação seja inspecionada para encontrar erros. O elemento mais nobre diz respeito à verificação de relações causais e à identificação de comportamentos espúrios (Bouwer & Bredeweg, 2001). O aprendizado dos modeladores avança na medida em que cresce sua percepção do comportamento do sistema por tentativas e erros realizados na modelagem (Bessa Machado & Bredeweg, 2003).

Identificação e remoção dos erros constituem etapas do processo iterativo e incremental para a construção de modelos qualitativos (figura 4). O modelador somente avança para um nível hierárquico seguinte, de maior complexidade na simulação, quando obtém sucesso na tarefa anterior. Ou seja, são identificadas medidas para eliminar possíveis erros.

Outra tarefa importante é explorar as razões para a ocorrência de comportamentos indesejados nos resultados da simulação. Mais uma vez, trata-se de um exercício que induz o modelador ao aprendizado. À medida que este é capaz de encontrar os erros e as razões para sua ocorrência vão sendo adquiridas habilidades que permitem lidar com modelos cada vez mais complexos.

Nos modelos qualitativos propostos, as razões que levaram ao erro foram agrupadas em três grandes grupos: (i) representação equivocada de um conceito ecológico; (ii) ausência de conhecimento pleno das limitações e potencialidades do simulador; e (iii) aplicação incorreta dos primitivos de modelagem do Raciocínio Qualitativo.

6. O POTENCIAL HEURÍSTICO DA MODELAGEM QUALITATIVA

De acordo com Kurtz dos Santos (2004), o procedimento de modelagem tem sido valorizado pelo seu potencial heurístico porque promove habilidades de inquirição básica como o entendimento das relações de causalidade.

O processo de modelagem é iniciado a partir de um dado problema. O objetivo final do processo é identificar e representar o sistema de modo a capturar seu comportamento (Bessa Machado & Bredeweg, 2002). De acordo com Kurtz dos Santos (2004) um modelo explicita as relações causais através de uma topologia específica e transforma-se num objeto de análise que estará disponível para exploração e mesmo modificação pelo modelador.

Simulações qualitativas incorporam um rico vocabulário para percepções articuladas sobre os sistemas e seus comportamentos, incluindo noções tais como constituintes estrututurais, identificação de comportamentos qualitativamente distintos, e explicitação de dependências causais que governam o comportamento de um sistema. Como resultado, a construção de modelos qualitativos induz o aprofundamento da compreensão de um sistema e seu comportamento, revelado a partir de grafos de estados (Bessa Machado & Bredeweg, 2001).

A pesquisa em grafos para a solução de problemas pode, entretanto, conduzir ao problema da explosão combinatória, devido à proliferação de alternativas (Bratko,1990). O potencial heurístico como procedimento ou metodologia usado para resolver problemas a partir de uma solução satisfatória representa uma maneira de combater tal situação. A idéia é continuar sempre a partir da alternativa mais promissora dentre as que compõem o conjunto de candidatas.

Na modelagem qualitativa a exploração dos grafos de comportamento permite avançar no processo de modelagem pela escolha da formulação mais promissora entre as diversas que estão à disposição do modelador (Bessa Machado & Bredeweg, 2002). Desse modo, o potencial heurístico, tal como definido por Saito (1997) dos modelos qualitativos revela-se pela possibilidade de acessar as relações estruturais e causais que promovem mudanças no sistema modelado, durante a simulação qualitativa.

A observação dos grafos de estados ou de comportamento (figura 8) serve para testar a acurácia das predições e proporciona retro-alimentação no processo de construção dos modelos, permitindo ao modelador aprender no processo.

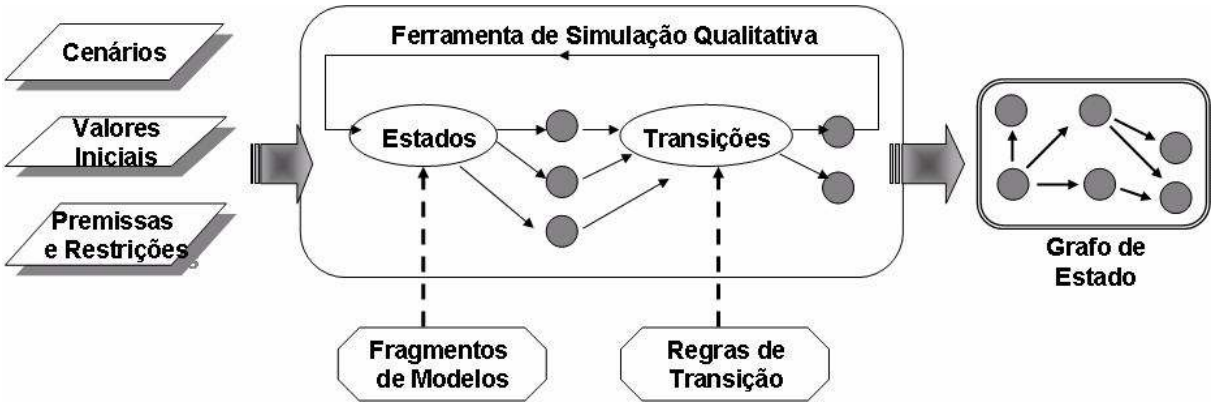


Figura 8. Simulação Qualitativa. Modificado de Bessa Machado & Bredeweg (2003).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Raciocínio Qualitativo (RQ) é frequentemente visto como um poderoso fundamento para a geração de explicações, porque os comportamentos de interesse do sistema modelado são explicitamente modelados em termos de componentes relevantes, processos, relações causais, espaços quantitativos, premissas e estados qualitativos. Os modelos baseados em RQ, modelos qualitativos, permitem lidar com questões, problemas, tarefas e explicações nos níveis conceitual e intuitivo.

Em nossa pesquisa, consideramos que a construção de modelos qualitativos é um importante aspecto da aprendizagem porque permite ao modelador expressar suas concepções e exercitar formas de pensamento, de modo a aprofundar o conhecimento do sistema e de seu comportamento.

O modelador adquire experiência na atividade de modelagem qualitativa pela execução de uma série de tarefas. A primeira compreende a busca de elementos relevantes e a determinação do local onde cada um dos objetos ficará localizado nos modelos. Isto corresponde à construção da biblioteca de fragmentos de modelos e à definição dos cenários. A tarefa seguinte é o estabelecimento de premissas a partir do conhecimento teórico sobre o sistema modelado. Essas premissas dão relevância ao fragmento de modelos. A identificação de erros e as razões para sua ocorrência são tarefas que o modelador precisa executar para que os modelos construídos possam capturar percepções e detalhes com respeito ao

comportamento do sistema modelado, evitando o aparecimento de comportamentos espúrios na simulação. A última tarefa consiste em orientar a modelagem diretamente para o objetivo a ser alcançado, explorando o potencial heurístico dos modelos qualitativos, evitando–se caminhos improdutivos.

Nos modelos qualitativos propostos o RQ proporciona oportunidades de aprendizagem sobre os mecanismos que determinam a qualidade da água, em termos da dinâmica do OD, e sobre o processo de modelagem em si.. Nesse sentido, a experiência adquirida ao modelar permitiu o modelador ampliar o seu conhecimento sobre o sistema modelado.

Os desafios que deverão ser enfrentados no futuro dizem respeito à avaliação das potencialidades dos modelos qualitativos no aprendizado e na geração de explicações para os não-especialistas, especialmente os diversos atores sociais interessados no problema da qualidade da água em bacias hidrográficas.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, uma entidade do governo brasileiro voltada ao desenvolvimento científico e tecnológico, dentro do projeto "Desenvolvimento tecnológico e metodológico para mediação entre usuários e comitês de bacias hidrográficas", edital CT-Hidro 01/2001, nº. do processo 550119/2002-7.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bessa Machado, V. and Bredeweg, B. (2001). Towards Interactive Tools for Constructing Articulate Simulations. Proceedings of the International Workshop on Qualitative Reasoning, QR'01, pages 98-104, San Antonio, Texas.

Bessa Machado, V. and Bredeweg, B. (2002). Investigating the Model Building Process with HOMER. Proceedings of the International workshop on Model-Based Systems and Qualitative Reasoning for Intelligent Tutoring Systems, San Sebastian, Spain; pgs 1-13.

Bessa Machado, V. and Bredeweg, B. (2003) Building Qualitative Models with HOMER: A Study in Usability and Support. Proceedings of the 17th International Workshop on Qualitative Reasoning (QR'03), Salles, P. and Bredeweg, B. (Eds.), pages 39-46, Brasilia, Brazil.

Bessa Machado, Vânia; Groen, Roland and Bredeweg, Bert (2005). Towards suport in buiding qualitative Knowledge models. Proceedings of the 19th Wokshop on Qualitative Reasoning QR-05. Graz University of Technology, Graz, Austria.

Bouwer, A. and Bredeweg, B. (1999). Explanation and Qualitative Reasoning. Proceedings of QR'99 International Workshop on Qualitative Reasoning , Loch Awe, Scotland, pp 27-31.

Bouwer, A. and Bredeweg, B. (2001). VisiGarp: Graphical Representation of Qualitative Simulation Models. In Moore, J.D., Redfield G.L. and Johnson, J.L. (Eds.), Artificial Intelligence in Education: AI-ED in the Wired and Wireless Future, pages 294-305, IOS-Press/Ohmsha, Osaka, Japan.

Bratko, Ivan (1990). PROLOG, Programming for Artificial Inteligence. 2nd ed. Addison _Wesley Publishing Company, 597 pages.

Bredeweg, B. (1992). Expertise in Qualitative Prediction of Behaviour. PhD thesis, University of Amsterdam, Amsterdam.

Bredeweg, Bert and Forbus, Ken (2004). Qualitative Modeling in Education. AI Magazine v. 24 nº 4, p. 35 – 46.

Bredeweg, Bert and Struss, Peter (2004). Current Topics in Qualitative Reasoning. AI Magazine v. 24 nº 4, p. 13-16.

Brown, L.C., and Barnwell, T.O. (1987). The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Documentation and User Manual. EPA 600/3-87/007. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC.

Eatherall, A., Boorman D.B., Williams, R.J., Kowe, R. (1998). Modelling in-steram water quality in LOIS. The Science of the Total Environmental 210/211 499 – 517.

Falkenhainer, B. & Forbus, K. (1991). Compositional modeling: Finding the right model for the Job. Artificial Intelligence, 51(1) 95 – 143.

Forbus K.D. (1984). Qualitative Process Theory. Artificial Intelligence, 24: 85 – 168.

Forbus, K.D. (1996). Qualitative reasoning. CRC Hand-book of Computer Science and Engineering. CRC Press.

Goddijn, Floor; Bouwer, Anders and Bredeweg, B. (2003) Automatically Generation Tutoring for Qualitative Simulations. Proceedings of the 17th International Workshop on Qualitative Reasoning (QR'03), Salles, P. and Bredeweg, B. (Eds.), pages 39-46, Brasilia, Brazil.

Koning, Kees and Bredeweg, Bert (1998). Use GDE in Educational Systems. Proceedings of the 12th International Workshop on Qualitative Reasoning (QR'98), AAAI, USA, pp. 42-49.

McMenamin, Stephen M. and Palmer, John F. (1984). Essential Systems Analysis. Prentice-Hall, Inc. 392 pages.

Kurtz dos Santos, Arion C. (2004). Implementando ambientes de aprendizagem baseados em sistemas computacionais de modelagem para o pensamento sistêmico. Hipertexto introdutório. Seminário CREF e MPEF, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Kurtz dos Santos, Arion C. and Ogborn, J. (1992). A model for teaching and research into computacional modelling. Journal of Computer Assisted Leraning, 8, 67 – 78.

Neumann, M. and Bredeweg, B. (2004). A qualitative model of the nutrient spiraling in lotic ecosystems to support decision makers for river management. Proceedings of the 18th International Workshop on Qualitative Reasoning (QR'04), de Kleer, J. and Forbus, K.D. (Eds.), pages 159-164, Evanston, USA.

Saito, Carlos, H. (1997). Considerações teórico–metodológicas acerca do potencial heurístico no uso de Sistema de Informação Geográfica integrado a Banco de Dados Relacional em diagnóstico de risco à saúde populacional devido a poluição industrial. Revista Brasileira de Ecologia, ano 1, nº2: 15-21.

Saito, Carlos, H. (1998). O Estruturalismo na Ecologia da Paisagem. Revista Brasileira de Ecologia, ano 1, v.2: 47-56.

Salles, P. (1997) Qualitative models in ecology and their use in learning environments. Ph.D. thesis, University of Edinburgh, Edinburgh, Scotland, UK.

Salles, P. and Bredeweg, B. (1997). Building Qualitative Models in Ecology. Published in Proceedings of the 11th International Qualitative Reasoning (QR) Workshop, Italy.

Salles, Paulo (2005). Qualitative Representations of Indicators of Environmental Sustainability of the Millennium Developmente Goals. Proceedings of the 19th Wokshop on Qualitative Reasoning QR-05. Graz University of Technology, Graz, Austria.

Tullos, D.D., Neumann, M. and Sanchez, J.J.A. (2004). Development of a Qualitative Model for Investigation Benthic Community Response to Anthropogenic Activities. Proceedings of the 18th International Workshop on Qualitative Reasoning (QR'04), de Kleer, J. and Forbus, K.D. (eds.), Evanston, USA.

Whitehead, P.G.; Williams, R.J. and Lewis, D.R. (1997). Quality simulation along river systems (QUASAR): model theory and development. The Science of the Total Environmental 194/195, 447 - 456.