

## SERHIDRO-PS 2007

1º Seminário de recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do  
Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo hidrológico

### **Modelagem ambiental e a sustentabilidade**

Paulo Augusto Romera e Silva<sup>1</sup>  
Ancelmo Arantes Valente<sup>2</sup>  
Marli Aparecida Reis Maciel Leite<sup>3</sup>

<sup>1</sup>DAEE/CTH/USP/São Paulo – SP  
Av. Prof. Lúcio Martins Rodrigues, 120 - Butantã - Cidade Universitária  
São Paulo/SP - CEP 05508-900

[romera948@hotmail.com](mailto:romera948@hotmail.com)

<sup>2</sup>DAEE/CTH/USP/São Paulo – SP  
Av. Prof. Lúcio Martins Rodrigues, 120 - Butantã - Cidade Universitária  
São Paulo/SP - CEP 05508-900

[profvalente@ajato.com.br](mailto:profvalente@ajato.com.br)

<sup>3</sup>DAEE/BPB/Taubaté/São Paulo – SP  
Largo Santa Luzia, 25 - Taubaté  
São Paulo/SP - CEP 12010-510

[mrjrm@uol.com.br](mailto:mrjrm@uol.com.br)

**Resumo:** O mundo atual está mais e mais atento às exigências de controle ambiental, com o envolvimento dos atores nos estágios importantes do processo. O presente trabalho apresenta para discussão uma proposta de modelagem de sistema ambiental baseada nesse contexto dinâmico da nossa sociedade atual, concebido para aplicação na gestão colegiada de áreas de recuperação e proteção de mananciais de abastecimento, como alternativa para o acompanhamento permanente do seu estado e modificações, com a possibilidade de realização de simulações no processo de tomadas de decisão, frente à complexidade dos sistemas envolvidos. Diante disso, a concepção da presente proposta é a da identificação dos componentes representativos do sistema, para a aferição e simulação de alterações que possam propostas como de interesse para o desenvolvimento econômico e social, através de indicadores que representem as diversas condições possíveis dos componentes do sistema natural, sejam eles: naturais, modificados, atuais ou futuros. Para isso propõe uma metodologia que resgata alguns dos procedimentos apresentados por DEE et. alli. (1972) quando do desenvolvimento do Water Environmental Evaluation System, mais conhecido como Método Batelle, concebido como método de avaliação de impactos para projetos de recursos hídricos.

**Palavras chave:** otimização de uso, estratégias para gestão, modelagem ambiental, sustentabilidade.

**Abstracts:** The current world is more and more intent to the requirements of ambient control, with the involvement of the actors in the important periods of training process. The present paper presents for quarrel a proposal based on modeling of ambient system in this dynamic context of our current society, conceived for application in the management student body of recovery areas and protection of sources of supplying, as alternative for the permanent accompaniment of its state and modifications, and the accomplishment adjustments in reply to the complexity condition that involves them. Ahead of this, the conception of present proposal is the identification of the representative components of the system, for the gauging and simulation of the alterations that can occur, through pointers that represent the diverse possible conditions of these components, are they: natural, modified, current or future. For this, it considers a methodology that rescues some of the procedures presented for DEE et. alli. (1972) when was developed the “Water Envirommental Evaluation System for Water Planning Projects, known as “Batelle Method”, conceived as method of evaluation of impacts for projects no water resources.

**Keywords:** uses optimization, management estrategies, envirommental modelling, sustainability.

## 1. Introdução

A gestão integrada de recursos hídricos, conforme prevista pelas leis nacional e estadual das políticas de recursos hídricos, é um desafio permanente para toda a sociedade e, de forma especial e mais direta, para o meio técnico científico.

Nesse sentido, a possibilidade de apresentar trabalhos científicos sobre esses temas é uma importante estratégia nesse contexto da gestão, que permite colocar em discussão, tornar público, aperfeiçoar os entendimentos e de aprimorar os critérios para avaliar situações vividas sobre conceitos de: situação de risco, situações de conflito, diagnósticos de bacia hidrográfica como instrumento de apoio para realizar a sustentabilidade, a otimização do uso múltiplo da água e até mesmo dos próprios conceitos de gestão, uso múltiplo e de sustentabilidade.

Por outro lado, realizar as técnicas de gestão, entendido como colocar em prática certas técnicas e efetivamente alcançar os resultados esperados, vem se tornando exigência crescente da sociedade, frente ao esgotamento dos recursos hídricos em certas regiões em decorrência do padrão de desenvolvimento que herdamos e assumimos em nossos dias como possível.

A modelagem ambiental, também tratada na literatura como modelagem de sistemas ambientais, é uma técnica que vem sendo possível de ser formatada com crescente facilidade nos anos recentes com o apoio dos grandes avanços dos recursos computacionais, com enormes vantagens frente aos tradicionais estudos de impactos ambientais, por permitir a simulação, de forma instantânea, qualquer nova situação que seja proposta no contexto dos objetivos do sistema concebido.

A **Figura 1**, faz uma abordagem com o arranjo de algumas possibilidades frente ao principal sistema com que nos confrontamos na gestão de recursos hídricos, que é a bacia hidrográfica:



Figura 1 – A bacia hidrográfica como sistema e unidade de decisão

De acordo com o IBGE, em 2006 a população mundial era de cerca de 6.800.000.000 pessoas. Projeções populacionais, dão conta de que este número continua a crescer a um ritmo sem precedentes antes do século XX. Segundo algumas estimativas, há hoje um bilhão de jovens no mundo entre as idades de 15 e 24 anos. A população está em flagrante explosão demográfica desde a revolução industrial que começou na Inglaterra no século XVII por volta de 1650. Projeções indicam que a população humana estará crescendo em 1 bilhão de pessoas a mais por ano no planeta, ainda na década 2000/2010. Diante dos números citados dá para se ter a dimensão do que representa o fator consumo de água pela população.

Isto posto, a adoção de uma abordagem integrada, na medida em que aumenta a competição pela água, em decorrência do mencionado crescimento populacional e maiores demandas no uso de recursos naturais, é uma das diretrizes da Global Water Partnership (GWP) para a realização da sustentabilidade no uso da água no milênio que se inicia, cuja adoção pode antecipar metas: na redução da pobreza, no aumento da segurança alimentar, na promoção do crescimento econômico e na proteção dos ecossistemas.

O mesmo documento da GWP aborda ainda a meta da Cúpula Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável como “oportunidades para catalisar mudanças positivas”, considerando dentre outras, a construção das bases de um processo contínuo para a tomada de decisões, o envolvimento dos atores nos estágios importantes, e a garantia de um plano realístico de implementação, com sistemas para monitorar alterações e fazer ajustes em resposta a condições dinâmicas, que envolvam: o controle de cheias, a mitigação dos efeitos de secas, a redução de doenças veiculadas pela água e a gestão de bacias hidrográficas, com destaque para a preservação de áreas de mananciais.

Na medida em que aumenta essa competição pela água, é crescente e prioritária a importância dessas áreas para o ser humano que, mesmo sendo parte de sistemas maiores, possuem atributos de autonomia pelos quais devem ser caracterizadas, avaliadas e monitoradas, pelo interesse comum nelas envolvido.

O presente trabalho apresenta para discussão uma proposta de modelagem de sistema ambiental baseada nesse contexto dinâmico da sociedade atual, concebido para aplicação como apoio na gestão colegiada de bacias hidrográficas, e alternativa prática no acompanhamento permanente do seu estado e modificações, e a realização de ajustes em resposta à condição de complexidade que as envolvem.

Diante disso, a concepção da presente proposta é a da identificação dos componentes representativos do sistema, da sua permanente explicitação, desde que previamente assumidos pelo colegiado responsável pela sua gestão, para a aferição e/ou simulação das alterações que possam ocorrer, através de indicadores que representem as diversas condições possíveis desses componentes, sejam elas naturais, modificadas, atuais ou futuras.

Dessa forma, este trabalho pretende contribuir, com uma inovação tecnológica na abordagem da reorganização e para a sustentabilidade dos espaços produtivos, com a avaliação de impactos da engenharia da água e do solo, na gestão integrada dos recursos hídricos.

## **2. Aspectos conceituais envolvidos**

O principal conceito envolvido na concepção metodológica do presente trabalho é o da sustentabilidade e, em concordância com SACHS (1993), para alcançar a sustentabilidade ambiental é necessário considerar simultaneamente os aspectos sociais, com o objetivo de reduzir as distâncias entre os padrões de vida dos grupos sociais; econômicos, viabilizados pela alocação e gestão eficiente dos recursos e por fluxos regulares de investimentos públicos e privados; ecológicos, envolvendo medidas para reduzir o consumo de recursos e a produção de resíduos, introduzir tecnologias limpas e poupadoras de recursos e para definir regras que

permitam uma adequada proteção ambiental; espaciais, contemplando uma configuração mais equilibrada da questão rural-urbana; culturais, para se buscar uma concepção endógena de envolvimento que respeite as peculiaridades do ecossistema local, tendo como objetivo central gerenciar os efeitos dos avanços tecnológicos e os interesses econômicos sobre a degradação ambiental.

A proposição da presente metodologia envolve a decisão dos componentes do sistema ambiental a ser modelado. Para isso recorreu-se inicialmente ao quadro bastante abrangente proposto pelo Método Batelle (DEE et alli., 1973) que estabeleceu uma hierarquia estruturada em:

- 4 categorias: ecologia, poluição, estética e atividade humana;
- 18 componentes:
  - ✓ ecologia: espécies e populações, habitats e comunidades e ecossistema (3);
  - ✓ poluição: água, ar, solo e ruído (4);
  - ✓ estética: solo, ar, água, biota, objetos não naturais e composição (6);
  - ✓ atividade humana: educacional, histórico, culturas, atmosfera e padrão de vida (5); e
- 78 parâmetros associados à avaliação desses componentes.

Essa hierarquia pressupõe o conceito relativo à formação de cadeias causais, como são denominados por CHRISTOFOLETTI (1999), os encadeamentos que envolvem relação causa efeito ou a relação entre aspectos tangíveis e não tangíveis na interdependência entre componentes de um sistema. Tais relações definem as condicionantes que provocam as alterações dinâmicas que ocorrem no sistema ambiental, com a possibilidade das avaliações correspondentes, enquanto os componentes permitem o destaque identificado do sistema ambiental em estudo com seus atributos de autonomia, e possíveis relações com sistema maior do qual é parte.

Cabe ressaltar que o envolvimento de uma equipe multidisciplinar nesse processo de gestão favorece o reconhecimento do ambiente complexo, com uma maior compreensão da realidade, que contribuía para o desenvolvimento da consciência ambiental, pois através do conhecimento o indivíduo muda sua forma de se relacionar com o meio, e, a interdisciplinaridade, como meio favorável à aquisição do conhecimento e ao desenvolvimento dos valores éticos.

#### **4. Estudo de caso: a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pirapitingui, afluente do Rio Paraíba do Sul**

A presente metodologia é proposta como alternativa ao trabalho do CBH-PS, para viabilizar o monitoramento hidrológico de bacias hidrográficas, como a do Ribeirão Pirapitingui, afluente típico do Rio Paraíba do Sul.

Nesse sentido e reforçando os aspectos conceituais anteriormente abordados, tem a finalidade de formatar uma ferramenta objetiva de decisão com regras que possam ser fiscalizadas pelos seus próprios membros, bem como por outras instâncias de gestão e de governo que tenham a atribuição de supervisionar e acompanhar esse processo, tendo como pressuposto poder “medir de forma quantificada” o esforço a ser realizado que esteja associado a cada avanço ou a ausência de atitudes que esteja associado a futuros retrocessos ocorridos ao longo do processo, com uma avaliação objetiva das ações e projetos a serem realizados para o alcance de metas e objetivos propostos e assumidos coletivamente.

Para a aplicação da metodologia é proposto, mesmo que ainda de forma preliminar, o Quadro 1, que contém uma primeira varredura dos componentes do sistema ambiental, com suas categorias, que possa servir de apoio para a escolha dos parâmetros e indicadores para a composição da modelagem ambiental pretendida.

Diante do Quadro 1, ficam evidentes as seguintes características para cada nível de abordagem:

- componentes: como os aspectos básicos que compõem e estabelecem a amplitude do sistema ambiental a ser monitorado, e o correspondente quadro de ação;
- categorias: como sendo os aspectos que caracterizam cada componente do sistema ambiental;
- parâmetros: como sendo as grandezas que definem cada categoria destacada; e
- indicadores: como sendo as grandezas que permitam a quantificação objetiva de cada parâmetro a ser controlado.

#### 4. Metodologia proposta

As etapas descritas a seguir para a aplicação da metodologia proposta, resgatam alguns dos procedimentos inicialmente apresentados por DEE et. alli. (1972) quando do desenvolvimento do Water Environmental Evaluation System, conhecido como Método Batelle, conforme resumo de categorias e indicadores do **Quadro 1**, concebido para avaliação de impactos para projetos de recursos hídricos.

Para contribuição ao objetivo do presente trabalho, a metodologia é concebida para aplicação na gestão colegiada de áreas de recuperação e proteção de mananciais de abastecimento, sendo para isso propostas as seguintes etapas:

COMPONENTES	CATEGORIAS	PARÂMETROS POSSÍVEIS	INDICADORES
<b>CLIMA</b>	Variáveis climáticas básicas	Diversos	Intervalo e alternativas possíveis de variação para cada indicador assumido. A serem decididos conforme as características de cada parâmetro escolhido, devendo ser de forma permanente para: situação atual e futura desejáveis
	Regime hidrológico	Chuva, vazão,	
	Água superficial	Medição estratégica de controle	
	Água Subterrânea	Medição estratégica de controle	
	Balanço hídrico do solo	Medição estratégica de controle	
Qualidade das águas	Medição estratégica de controle		
<b>SOLO</b>	Relevo, declividades	Identificação e reconhecimento de variáveis de controle e acompanhamento permanente	Idem, idem ...
	Tipos de solo, textura		
	Susceptibilidade a erosão		
	Identificação de situação de risco		
	Áreas de reserva permanente, como apoio à diversidade da flora e fauna e ao controle do regime hidrológico		
<b>FLORA</b>	Espécies endêmicas do local	Incidência atual	Idem, idem ... Quantificação das incidências. Indicadores biológicos. Situação atual e futura desejáveis
	Identificação do potencial	Incidência mínima desejável	
	Espécies existentes	Incidência ideal	
<b>FAUNA</b>	Espécies endêmicas do local	Incidência atual	Idem, idem ... Quantificação das incidências. Indicadores biológicos. Situação atual e futura desejáveis
	Identificação do potencial	Incidência mínima desejável	
	Espécies existentes	Incidência ideal	
<b>ATIVIDADES HUMANAS</b>	Tipos de atividades	Identificação e reconhecimento de variáveis de controle e acompanhamento permanente. Doenças. IDH	Intervalo e alternativas possíveis de variação para cada indicador assumido. A serem decididos conforme as características de cada parâmetro escolhido, devendo ser de forma permanente para estabelecer e monitorar: situação atual e futura desejáveis
	Tipos de usos do solo		
	Tipos de usos da água		
	Riscos de cada tipo de uso		
	A serem evitadas		
	Proibidas		
	Infra-estrutura: viária, recreação, saneamento		
	Geração de efluentes		
	Perfil fundiário		
	Investimentos e seus reflexos		
Legislação municipal			
<b>OUTRAS</b>	A serem definidas, se houver interesse e importância para o sistema	A serem definidos, se houver interesse e importância para o sistema	Intervalo e alternativas possíveis de variação para cada indicador assumido. A serem definidos, se houver interesse e importância para o sistema
	Atividades de educação ambiental		
	Atividades de manejo		

Quadro 1 – Componentes de um Sistema Ambiental

- a) Elaborar a caracterização do sistema (meio físico, meio biológico, meio sócio econômico, relações com a região ou bacia hidrográfica objeto da intervenção), com a formação da equipe multidisciplinar para a gestão do sistema;
- b) A partir da caracterização, a equipe de gestão do sistema deverá identificar e decidir todos os componentes (**i**) do sistema que sejam significantes para serem considerados na avaliação ambiental, atribuindo pesos (**P**) a cada um desses componentes, cuja soma total seja 1000 (pontos). Essa somatória assim pontuada representa teoricamente “a situação ideal do sistema” em avaliação;
- c) Em seguida serão definidos indicadores para representar a variação de cada componente assumido, com a respectiva função de variação desse componente, com valores que variem entre 0 (para a pior situação) e 1,0 (para a situação ideal, “impacto zero”), procurando reconhecer todas as situações (**Si**) possíveis de ocorrerem;
- d) Estabelecidos os componentes representativos do sistema, os indicadores que os representam e as respectivas funções de variação desses indicadores, a equipe de gestão deverá obter e decidir o valor atual de cada indicador, definindo o “estado atual” da função de variação do indicador para cada componente (**Si1**) considerado. Assim será constituída a SITUACÃO 1 considerada atual para cada componente (**Si1**) e para o sistema ambiental avaliado;
- e) Com o mesmo procedimento da etapa anterior, a equipe de gestão deverá obter e decidir o valor de cada indicador para uma “situação futura desejável”, definindo o “estado desejado” da função de variação do indicador para cada componente (**Si2**) considerado. Assim será constituída a SITUACÃO 2 considerada desejável para cada componente (**Si2**) e para o sistema ambiental avaliado;
- f) Com o mesmo procedimento das etapas anteriores, a equipe de gestão poderá obter e decidir o valor de cada indicador para uma situação futura simulada, definindo o “estado futuro” da função de variação do indicador para cada componente (**Si3**) considerado. Assim será constituída a SITUACÃO 3 simulada para cada componente (**Si3**) e para o sistema ambiental avaliado; e
- g) Totalização dos resultados, vista no **Quadro 2**:

<b>i</b>	<b>P</b>	<b>Si1</b>	<b>Si2</b>	<b>Si3</b>	<b>P x Si1</b>	<b>P x Si2</b>	<b>P x Si3</b>	<b>Variacão</b>
<b>1</b>								
<b>2</b>								
<b>3</b>								
<b>....</b>								
<b>....</b>								
<b>n</b>	<b>1.000</b>				<b>Σ (P x Si1)</b>	<b>Σ (P x Si2)</b>	<b>Σ (P x Si3)</b>	

Quadro 2 – Totalização dos resultados

## 5. Conclusões

No exemplo esquematizado acima são “constituídas” 3 situações que podem ser objeto de análise, seja pela equipe de gestão, seja por avaliadores externos.

A  $\Sigma (\mathbf{P} \times \mathbf{Si1})$  acima pode ser concebida para representar da forma mais apurada possível, de acordo com os conhecimentos disponíveis pela equipe de gestão, o “estado atual” do sistema ambiental a ser monitorado.

A  $\Sigma (\mathbf{P} \times \mathbf{Si2})$  acima pode ser concebida para representar o “estado desejado futuro” para o sistema ambiental, por exemplo, num horizonte de 15 a 20 anos, permitindo que se quantifique de forma objetiva o esforço e custos necessários para se passar da situação atual “S1” para aquela desejada “S2”, com a proposição das ações e programas correspondentes.

A  $\Sigma$  (**P x Si3**) acima pode ser concebida para representar um “estado intermediário” do sistema ambiental após algum tempo, tendo havido, ou não, a implementação de algumas das ações propostas, indicando de forma objetiva o acompanhamento da evolução do estado do sistema ambiental ao longo do tempo.

Nessa seqüência haverá outras situações do sistema ambiental “constituídas” e analisadas pela equipe de gestão representadas por  $\Sigma$  (**P x SiN**) que permitirão a análise objetiva da evolução desse sistema, evitando, reduzindo e isentando a equipe de gestão da emissão de juízo de valor em situações que envolvem gestão colegiada de bens de interesse comum e coletivo.

Ocorrendo que  $\Sigma$  (**P x Si2**) seja maior do que ( $\Sigma$  **P x Si1**) isso indica que o sistema teve mais ganhos do que perdas com **a implantação da gestão integrada**, podendo ser a intervenção OBJETIVAMENTE considerada **viável**.

Ocorrendo que  $\Sigma$  (**P x Si2**) seja menor do que ( $\Sigma$  **P x Si1**) isso indica que o sistema teve mais perdas do que ganhos com **a implantação da gestão integrada**, podendo ser a intervenção OBJETIVAMENTE considerada **inviável**.

Essas somatórias representadas pelas situações “S1”, “S2”, “S3 e “SN” dos itens anteriores terão valores sempre menores do que 1000 pontos, representando situações próximas do real para o sistema modelado a cada momento, e é plenamente concebível que, a qualquer tempo, uma nova situação seja modelada e apresentada para discussão coletiva, bem como a simulação de ações de intervenção de qualquer tipo, com a correspondente quantificação dos impactos, positivos ou negativos, que as representem.

Nessa mesma linha de raciocínio, analisando-se a variação individual de cada indicador de cada componente (i), é possível elaborar um programa de mitigação dos impactos negativos, e de valorização dos impactos positivos, para potencializar a realização das ações pretendidas.

Nesse sentido, favorece a aplicação do conceito de sustentabilidade:

- 1) Com atitudes facilitadoras no reconhecimento do ambiente próximo;
- 2) Com a introdução da etapa do pensamento concreto, anterior à etapa de pensamento formal; e
- 3) Com a participação direta numa situação problema real e concreto.

Colocada dessa forma, a modelagem, conforme proposta, é um instrumento para se alcançar, de forma objetiva, a sustentabilidade de sistemas ambientais, entendendo-se que o ato de tornar real, neste caso, será o de perseguir de forma continuada a utopia do ambiente em equilíbrio com os objetivos do desenvolvimento, para o qual o conjunto das atividades humanas sempre serão seus fatores determinantes.

## **Referências:**

Braga, B. e outros - Introdução à Engenharia Ambiental, Prentice Hall, São Paulo, 2002.

Governo do Estado de São Paulo - Lei Estadual 9866 de 1977, Diretrizes e Normas para a Proteção de Bacias Hidrográficas de Interesse Regional, São Paulo, 1997.

Sheehan, M. O. e outros - State of the World 2007: Our Urban Future, Worldwatch Institute, W. W. Norton & Company, New York, EUA, 2007.

Sachs, I. - Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável, Ed. Garamond, São Paulo, 4ª Edição, 2002.

Dee, N. e outros - An Environmental Evaluation System for Water Resources Planning, Water Resources Research, Vol. 9, No. 3, junho, Batelle Columbus Lab., EUA, 1973.

Christofoletti, A. - Modelagem de Sistemas Ambientais, Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 1999.