

A UTILIZAÇÃO DO MODELO WINHSPF NO ESTUDO DAS CARGAS DIFUSAS DE POLUIÇÃO DA BACIA DO RIBEIRÃO DA ESTIVA, SP.

Ana Lúcia Silva¹ & Monica Ferreira do Amaral Porto²

Resumo - Embora no Brasil já se reconheça a importância do aporte de cargas difusas como um dos principais responsáveis pela deterioração da qualidade das águas, faltam ferramentas, informações e maiores estudos a respeito, para que, como nos Estados Unidos, a legislação passe a regulamentar esta de fonte de poluição. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a geração de cargas difusas na bacia de Ribeirão da Estiva e indicar práticas ótimas de manejo visando minimizar estas cargas, usando como ferramenta o modelo WinHSPF, uma interface do modelo HSPF, mundialmente utilizado no estudo de cargas difusas. O modelo foi calibrado e validado, e demonstrou ser uma prática ferramenta ¹para simulação de cargas difusas, principalmente para bases anuais. A aplicação de uma BMP na bacia demonstrou que ações simples e de pequeno porte, não-estruturais e estruturais, podem diminuir em até 80% a concentração dos poluentes no manancial. O modelo WinHSPF demonstrou ser uma ferramenta bastante acessível, prática e eficiente. Devido à sua flexibilidade, pode ser objeto de uso em outras bacias hidrográficas brasileiras, visando aumentar o conhecimento a respeito da geração de cargas difusas e o desenvolvimento de programas de controle de poluição.

Abstract - Although Brazil just recognized the importance of nonpoint sources as one of main culprits of water quality deterioration, there is a remarkable lack of tools, information and studies on the subject.. The purpose of this project is to evaluate nonpoint source in the Ribeirão da Estiva (SP) basin, using the WinHSPF model, which is a very well known model to simulate nonpoint sources. The model was calibrated in this case study and it was demonstrated to be a practical tool to nonpoint source simulations. The simulation of a BMP resulted in simple actions, both non-structural and structural, that may reduce in 80% the concentrations in the river. WinHSPF is a accessible tool, practical and efficient. The WinHSPF flexibility allows different studies in other

¹Engenheira química, mestranda pela Escola Politécnica da USP – Área de concentração: Engenharia Hidráulica. End.: r. Dr. Zuquim, 757, apto 68, Santana – São Paulo – SP. Tel.: + 55 11 6971-4168; email: alsilva2@sabesp.com.br

²Professora Associada da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, mporto@usp.br

watersheds, with the potential to improve knowledge and program development on nonpoint pollution control in Brazil

Palavras chave - Cargas difusas, qualidade da água, modelagem da qualidade da água.

REVISÃO DE LITERATURA

Assim como muitos conceitos evasivos, a poluição difusa é de modo geral especificada como aquilo que ela não é. Literalmente, é definida como sendo aquela causada por poluentes que não são descarregados pelas fontes pontuais. Definem-se então as cargas poluidoras (Prime, 1998): Cargas pontuais: a fonte é possível de ser determinada e localizada, como é o caso de esgotos domésticos, descargas industriais, efluentes de aterros sanitários, etc. Cargas difusas ou não pontuais: geradas de forma distribuída ao longo da superfície do solo por inúmeros agentes poluidores, que afluem aos corpos d'água preferencialmente por ocasião dos eventos de chuvas. As fontes difusas de poluentes são mais freqüentemente associadas às atividades de uso do solo. Entre estas, as que mais contribuem são: desenvolvimento urbano, agricultura, construção urbana e rural, corte de madeira e mineração. As fontes de cargas difusas podem se, em áreas rurais: atividades agrícolas; atividades pecuárias; silvicultura; chácaras de lazer e recreação; etc. E em áreas urbanas: áreas residenciais, comerciais, industriais, complexos esportivos, parques, etc.; meios de transporte; deposição atmosférica, etc. Pode-se citar ainda outras condições que caracterizam as fontes difusas (Porto, 1995): (1) o lançamento da carga poluidora é intermitente e está relacionado à precipitação; (2) os poluentes são transportados a partir de extensas áreas; (3) as cargas poluidoras não podem ser monitoradas a partir de seu ponto de origem, mesmo porque não é possível identificar sua origem; (4) o controle da poluição de origem difusa, obrigatoriamente, deve incluir ações sobre a área geradora da poluição, ao invés de incluir, apenas, o controle do efluente quando do lançamento; (5) é difícil o estabelecimento de padrões de qualidade para o lançamento do efluente, uma vez que a carga poluidora lançada, a extensão da área de produção naquele específico evento e com outros fatores, que tornam a correlação vazão x carga poluidora praticamente impossível de ser estabelecida.

BACIA HIDROGRÁFICA DE ESTUDO

A Bacia hidrográfica de Ribeirão da Estiva encontra-se totalmente inserida no município de Rio Grande da Serra e na Bacia da Billings, com 100% da área de Proteção Ambiental. O Ribeirão

da Estiva é um afluente do Rio Grande, que por sua vez é um dos formadores da Bacia Hidrográfica da Represa Billings. Possui uma área aproximada de 17 km² e representa 45,94% da área total do município. A cidade faz limite com os seguintes municípios: Ribeirão Pires (norte), Suzano (leste), Santo André (oeste e sul) (SABESP, 2000). O manancial abastece toda a cidade de Rio Grande da Serra e uma parte da cidade de Ribeirão Pires. O processo de tratamento da água é do tipo convencional. De acordo com a sra. Francisca Adalgisa, da SABESP, a bacia de Ribeirão da Estiva possui cerca de 1500 pessoas (censo de 2000, IBGE). Dados de saúde indicam necessidade de revisão do sistema de atendimento à população quanto ao saneamento básico, a fim de melhorar a qualidade de vida. A rede coletora de esgotos concentra-se na área central, apresentando 19 km de extensão e 600 ligações. A carga poluidora potencial é de 1.963 kg de DBO/dia e a remanescente é de 1.616 kg de DBO/dia (CETESB, 2002). O restante do esgoto não alcança a lagoa por falta de implantação de recalque. Grande parte da área urbanizada não dispõe de rede coletora, lançando os despejos a céu aberto ou em galeria de águas pluviais. A característica predominante na bacia hidrográfica do Ribeirão da Estiva é rural, com a exceção de alguns pontos onde já se observa alguma ocupação desordenada, a maioria delas em áreas impróprias para este fim (áreas de risco e com restrições legais).



Fonte: ISA.

Figura 1 - Mapa hidrográfico do município de Rio Grande da Serra e a bacia de Ribeirão da Estiva:

O MODELO HSPF

O WinHSPF é uma interface em Windows para o modelo HSPF 11.0 no BASINS 3.0. *Hydrological Simulation Program – FORTRAN* (HSPF), é um modelo de simulação de fenômenos

hidrológicos e qualidade da água para poluentes tóxicos orgânicos. Permite integrar simulações de contaminação por cargas difusas, temperatura da água, transporte de sedimentos, nutrientes e interações entre sedimentos e elementos químicos. Inclui simulações simples (constante de concentração) e detalhadas de processos (transformações químicas de nutrientes). O modelo HSPF passou por várias revisões com inserção de novos algoritmos. Em 1984 foi desenvolvida a metodologia CMRA (*Chemical Migration and Risk Assessment*), o qual trazia procedimentos mais detalhados de simulação de sedimentos e transporte e interação de parâmetros químicos. Além disso, combinava o uso os dados de frequência-duração com dados de toxicidade para obter a frequência de condições agudas e crônicas em organismos aquáticos. Com este novo algoritmo é lançado a versão 8.0 do HSPF. Em 1993 surge o HSPF 10.0. Era notório que o modelo 5.0 possuía deficiências para modelar nutrientes nos corpos d'água, por ser inábil na simulação das interações entre nutrientes e sedimentos, como adsorção/desorção, advecção e deposição/remoção de sedimentos. Na nova versão o modelo passa a considerar efeitos do pH no equilíbrio do alumínio e do carbonato e da alcalinidade; e os possíveis efeitos da complexação do ferro e competição com o alumínio, além de ver resolvidos as deficiências anteriores. A nova versão melhorou a definição de como estão ligados os vários segmentos da bacia, a partir do desenvolvimento das ferramentas SCHEMATIC e MASS-LINK. A versão 11.0 é apresentada em 1997. Com um melhor entendimento da dinâmica das fontes de nitrogênio na bacia de Chesapeake, USA, a EPA promove uma melhoria na capacidade de modelagem a partir da inclusão de três fontes de poluição diferentes: deposição atmosférica, fertilizantes agrícolas e áreas com florestas. Além disso o modelo tem os algoritmos que simulam o ganho e perda de nutrientes por plantas expandido, minimizando uma hiper-sensibilidade para simulações com aplicações de fertilizantes. Também o nitrogênio passa a ser simulado em diferentes formas, frações de nitrogênio orgânico lábil e refratário particulado e dissolvido, entre outras melhorias. A última versão, o HSPF 12.0, ocorreu em 2001, com o refinamento da representação da hidrologia de wetlands. Outras melhorias foram: capacidade de representar a irrigação em segmentos permeáveis, definidas pelo usuário; simulação mais simplificada de eventos de neve; simulação de BMPs; a inserção da ferramenta REPORT para que o usuário possa personalizar a maneira como pretende que os dados sejam extraídos. Encontra-se em estudo melhorias para a simulação de vazão/sedimentos (Donigian, 2002). O HSPF possui uma longa história na aplicação de manejos de bacias, incluindo a análise de carga de nutrientes e avaliação de BMP's para a agricultura na bacia hidrográfica de Chesapeake (Meyers, Albertin e Cocca, 2001). Desde a sua inclusão no modelo BASINS 2.0, vem sendo aplicado para o desenvolvimento do total máximo de cargas diárias (TMDLs), desenvolvimento de programas de monitoramento, planejamento do uso e ocupação do solo e outros projetos de manejo de bacias. TMDLs para coliforme fecal e outros poluentes não pontuais, e vem provando ser efetivo para a

modelagem de cargas de bactérias em rios. Possui a vantagem de ser capaz de prover uma contínua simulação de ambas as descargas diretas recebidas por rios: cargas pontuais e difusas. O usuário é capaz de antecipar o impacto de diferentes tipos de uso e ocupação da bacia através da simulação destes e antecipar mudanças na qualidade da água. A seguir são descritas algumas das ferramentas de cálculo do modelo:

PWATER: simula o fluxo e/ou armazenamento da água no segmento em estudo e a partir da entrada de dados sobre os fluxos de água, faz simulações, fornecendo diversos tipos de informações.

SEDMNT: simula a produção e remoção de sedimento de um segmento permeável.

PQUAL: simula parâmetros de qualidade e poluição da água em escoamentos em segmentos de solo permeáveis usando correlações simples com a água/sedimento gerado. Qualquer parâmetro pode ser simulado, tanto na superfície como em três camadas inferiores de fluxos de água.

PEST: simula com detalhes processos de nutrientes e pesticidas, biológicos ou químicos. Os algoritmos básicos utilizados são originalmente desenvolvidos para uso em terras rurais, mas podem ser usadas em outras áreas permeáveis.

NITR: simula o comportamento o transporte e as reações das espécies químicas nitrato, amônia e nitrogênio orgânico. As reações são simuladas separadamente para cada camada do solo.

PHOS: A simulação do fósforo envolve o seu transporte, uso por plantas, adsorção/desorção, imobilização e mineralização nas várias formas de fósforo. O método usado para transporte e reação do fósforo é o mesmo usado para o nitrogênio, na seção NITR e as subrotinas usadas para transporte e reação do fósforo são as mesmas para os pesticidas.

TRACER: simula o movimento de um traçador conservativo em um segmento permeável.

IWATER: simula a retenção, armazenamento e evaporação da água em um segmento de solo impermeável. Sua operação é similar ao PWATER.

SOLIDS: simula o acúmulo e remoção de sólidos pela carga difusa e outros meios, no segmento impermeável.

IWTGAS: estima a temperatura e concentração do oxigênio dissolvido e do dióxido de carbono na água que escoo pelo segmento impermeável.

IQUAL: simula o carreamento, através de um segmento não permeável, de substâncias químicas ou poluentes pela água, usando uma relação simples com o balanço hídrico ou os sólidos.

RCHRES: simula os processos que podem ocorrer em um trecho de rio, um canal aberto ou em um reservatório de mistura completa. Assumindo mistura completa, RCHRES consiste de uma única zona situada entre dois nós, os quais são as extremidades de RCHRES. O fluxo de vazão que atravessa é unidirecional. Podem existir até cinco tipos de saídas e uma única entrada.

SINK: calcula a quantidade de material que sedimenta no módulo RCHRES e determina as mudanças resultantes na concentração.

HYDR: simula os processos hidráulicos que ocorrem em RCHRES. Os processos elucidados são o comportamento hidráulico do reservatório e dos fluxos de vazão, e a análise dos constituintes dissolvidos na água. A equação básica usada é a de continuidade. O HSPF não assume um formato para RCHRES, mas assume que não há uma relação fixa entre a profundidade, a área superficial e o volume e para alguma demanda com uma componente f (VOL), a relação funcional é constante no tempo. Isto significa que não há reversão da direção do fluxo. A técnica de modelagem é conhecida como "rotina de retenção" ou "onda cinemática".

ADCALC: Simula a advecção para substâncias dissolvidas ou em solução.

FTABLE: trata-se de uma tabela para funções hidráulicas gerado pelo modelo. Contém dados rudimentares das características de um canal, e o modelo utiliza-se da equação de Manning, através da extração de quatro valores: profundidade, largura média do canal, n de Manning e inclinação longitudinal do canal. O HSPF também assume determinadas características para cálculo de seção, altura do canal, declividade, etc. A rotina de cálculo acaba sendo uma “rotina de armazenamento” ou “onda cinemática”. Nestes métodos, o momento não é considerado.

CONS: simula substâncias conservativas.

HTRCH: simula os processos que determinam a temperatura da água em RCHRES a partir de dados meteorológicos.

SEDTRN: simula o transporte, deposição e desgaste de sedimento inorgânico no módulo RCHRES. O HSPF divide a carga de sedimento inorgânico em três componentes (areia, lodo e argila), cada qual com suas propriedades. O modelo assume que a remoção de sedimento inorgânico não afeta as propriedades hidráulicas do canal, e que o depósito dos sedimentos simulados ocorre em diferentes áreas do leito. O movimento longitudinal de fundo não é simulado. Pode-se utilizar três métodos de simulação: métodos de Toffaleti e Colby, e uma equação em função da velocidade.

GQUAL: possui diversas subrotinas para simulação de até 3 substâncias químicas que estejam dissolvidas ou associadas a sedimentos, no RCHRES. Também calcula o aumento da concentração do qual resultante de um decaimento de uma substância química qualquer, capaz de formá-lo.

RQUAL: simula constituintes envolvidos em transformações bioquímicas: OD, DBO, Amônia, Nitrito, Nitrato, Ortofosfato, Fitoplâncton, Alga, Zooplâncton, Nitrogênio orgânico, Fósforo orgânico e Carbono orgânico refratários e totais, Carbono orgânico total, pH, dióxido de carbono e a DBO potencial.

APLICAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO À BACIA DE RIBEIRÃO DA ESTIVA

Dados de carga pontual: Na bacia de Ribeirão da Estiva, não existem pontos de cargas pontuais.

Dados hidrográficos: Obtidos a partir da análise de plantas da bacia da EMPLASA. Para cálculo da geometria do reservatório foram feitas aproximações a partir da tabela FTABLE, os quais foram calibrados posteriormente. Os dados hidrológicos foram obtidos de um estudo feito pelo DAEE de regionalização do Ribeirão da Estiva e disponibilidade hídrica. Devido a falta de dados, limitou-se o estudo a apenas um ponto da bacia, junto à captação de água da ETA da SABESP.

Dados geográficos: obtidos junto ao Instituto Sócio Ambiental (ISA). O local é predominantemente permeável. Considerou-se três tipos de uso e ocupação, por serem os principais: floresta nativa como 80% da área total da bacia de Ribeirão da Estiva, 10% como de uso urbano não consolidado e os outros 10% como de uso agrícola., todos com drenagem para o ribeirão.

Dados meteorológicos: Foram inseridos dados de precipitação atmosférica, radiação solar, evaporação, temperatura e potencial de evapotranspiração, os quais eram necessários para o tipo de simulação que foi feita, todos em intervalos horários.

Dados de qualidade: foram utilizados os dados obtidos pela SABESP ao longo dos anos de 2000 a 2002, sendo identificados os parâmetros com maior número de dados, maior variabilidade sazonal e selecionados a partir da capacidade de simulação do modelo: coliformes termotolerantes, fósforo total, sólidos em suspensão e OD. Para validação apenas os parâmetros coliformes termotolerantes e fósforo total foram utilizados, pois não haviam os outros dados para o ano de 2000.

CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO

Calibração hidrológica do modelo: A calibração foi feita a partir da entrada de dados de 1995 a 2002, e a calibração de vazão a partir de 1999 a 2002, porque o modelo inicia com o reservatório vazio, apesar de existir um parâmetro de entrada onde o usuário informa com que volume o reservatório encontra-se no momento de início da simulação. Foi refinada seguindo os seguintes passos: (1) observou-se os resultados de balanço de massa gerados pelo próprio HSPF, até que a % de erro fosse menor que 10%. (2) para calibração da vazão considerou-se a vazão média de longo período, de forma que a vazão média dos 4 anos diferi-se da real em menos que 10%. (3) ajuste de distribuição da alta e baixa vazão de escoamento através do ajuste das taxas de percolação e infiltração através do solo e recargas do rio; (4) distribuição da precipitação ao longo do dia; (5)

utilização de diferentes valores mensais de variáveis de acordo com a variação sazonal esperada. Os resultados estão apresentados na Figura 2.

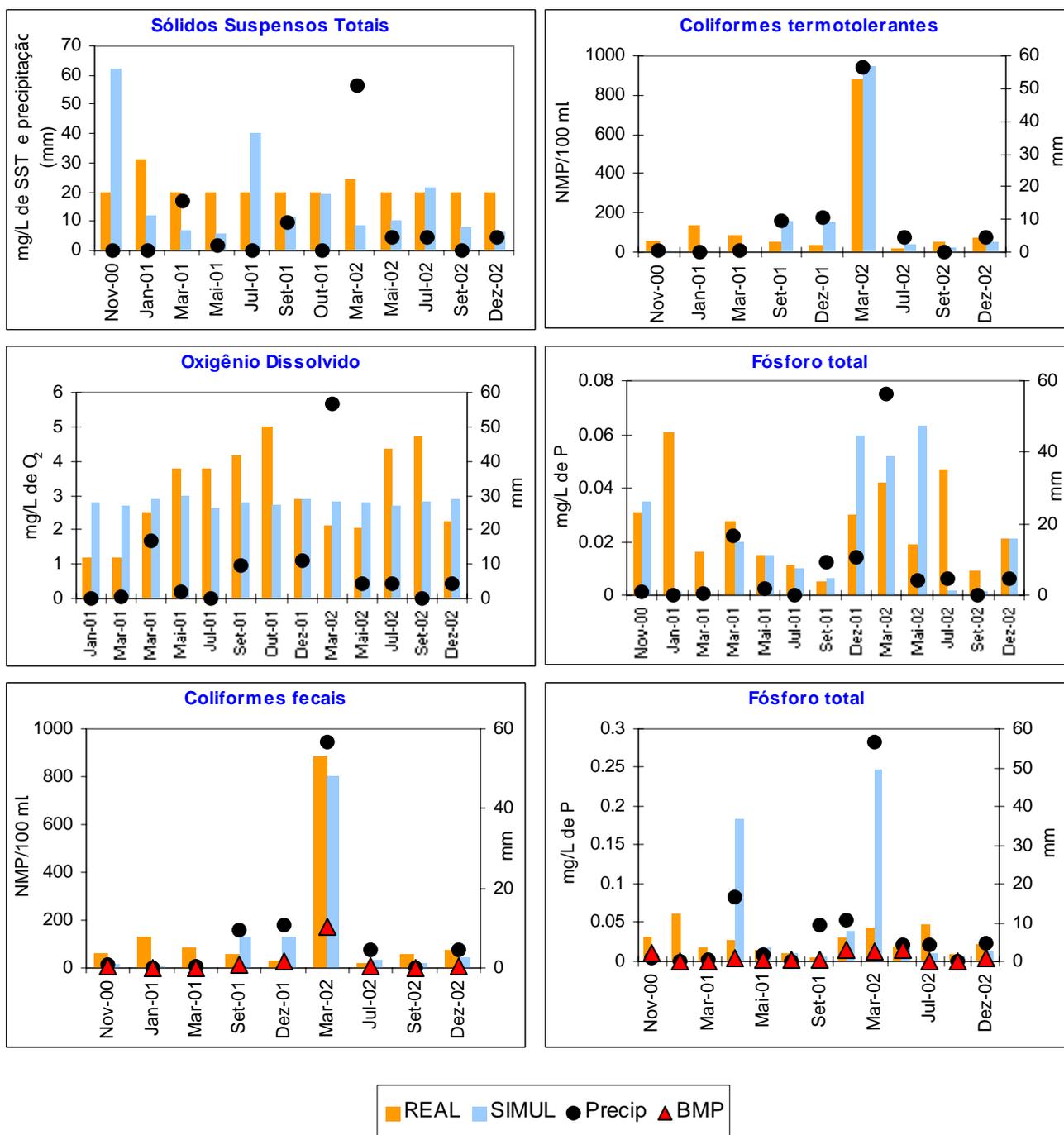


Figura 2 – Apresentação dos resultados de calibração e simulação das BMP's

Calibração hidráulica: Seguindo instruções da literatura consultada na EPA, foram acrescentadas duas linhas na FTABLE, com mais duas alturas de 10 e 20 pés, cerca de 4 a 5 vezes a altura máxima medida. Nesta bacia foi considerado que a vazão de saída do reservatório depende do volume e do tempo, partindo do princípio que não há controle da vazão do reservatório e devido a haver bombeamento para a ETA.

Calibração do modelo para o módulo de geração de sedimentos: Uma vez calibrado o sedimento gerado por erosão, segue-se à calibração do sedimento que adentra a massa de água. Para a variável K, o fator de erodibilidade para solos paulistas varia entre 0,18 e 0,13. O método utilizado foi o de Toffalety, atendendo às características da bacia simulada.

Calibração do modelo para coliformes termotolerantes ou fecais: A ferramenta utilizada para calibração dos coliformes termotolerantes foram PQUAL e GQUAL já que o modelo não possui um algoritmo específico para este parâmetro. O primeiro passo foi a estimação dos dados de carga de entrada. Estes valores são distribuídos com frequência mensal para cada tipo de uso e ocupação do solo. Deve-se entrar com a capacidade máxima de retenção e taxa de acumulação em cada segmento, a qual deve ser de 1,5 a 1,8 vezes maior que a taxa de acumulação. Foi considerado que a carga de coliforme fecal gerado que chegava ao reservatório estava associado ao escoamento superficial.

Calibração do modelo para fósforo total: O parâmetro fósforo possui um módulo próprio para ser simulado tanto no módulo PERLND quanto no RCHRES. No entanto, este módulo exige o conhecimento de diversas variáveis, entre elas a capacidade de absorção/desorção de fósforo por plantas, difusão do mesmo do sedimento para o meio, etc. Devido a não existência destes dados para o ambiente simulado, optou-se por simplificar o método de simulação. O fósforo total foi modelado a partir do módulos genéricos PQUAL e GQUAL. Os usos de solo que estariam originando o fósforo seriam o agrícola e o urbano não consolidado. Concluiu-se que a concentração de fósforo total na bacia de Ribeirão da Estiva não se correlaciona com a precipitação. Como o modelo permite a variabilidade sazonal, o modelo foi calibrado variando a carga de fósforo de 0,1 a 5 Kg de P/m².dia, com valor médio de carga afluyente ao reservatório foi de 1,2 kg de P/ m².dia. Na bacia, o total produzido encontrado foi de 27 kg de P/ ano. A calibração obtida pode ser considerada razoável, sendo respeitados limites máximos e mínimos de concentração encontrados para os dados reais. Os resultados simulados com dados acima do normal em eventos sem chuva explica-se pelo acúmulo de fósforo no segmento, carregado em grande quantidade na primeira chuva. A concentração final é remanescente destes dias.

Calibração do modelo para oxigênio dissolvido: A modelagem para Ribeirão da Estiva considerou as três formas possíveis de reaeração, e o melhor resultado foi obtido a partir do método de Covar modificado. Constatou-se que a variação dos expoentes de velocidade e altura no método

de Covar pouco interferem no resultado final. Após fixar estes em valores *default* partiu-se para a variação de REAK para a qual o modelo apresenta maior sensibilidade. Finalmente chegou-se a um valor ótimo de coeficiente de reaeração de 0,37/ft. Foi considerada a DBO média.

Verificação dos resultados

A verificação dos resultados foi feita a partir da simulação das variáveis coliformes termotolerantes e fósforo para o ano de 2000. Não foi possível validar outras variáveis já que não existiam dados para as mesmas. Para a verificação foram feitos os seguintes testes estatísticos:

Diferença entre os dados médios:

Tabela 1 Valores médios dos dados

Período de 12 meses	Coliforme termotolerante (NMP/100 mL)			Fósforo total		
	Valor médio real	Valor médio simulado	% diferença	Valor médio real	Valor médio simulado	% diferença
2000(9)*	103	105	1	0,023	0,026	13
2001 (5)	75	86,6	15	0,025	0,022	14
2002 (4)	256	106	59	0,028	0,027	5

* número de eventos observados durante o monitoramento

Correlação r^2 : As correlações obtidas na validação dos dados, para o ano de 2000 foram:

- Coliforme termotolerante: $r^2 = 0,96$
- Fósforo total: $r^2 = 0,04$

Teste T: O teste T é usado para determinar se duas médias amostrais são iguais, assumindo igual variância para as duas amostras: dados reais e dados simulados. Para um nível de significância de 5%, o teste considerou as duas séries de dados iguais, para ambos os parâmetros de qualidade. Diante destes resultados foram considerados bons os valores obtidos a partir da simulação do WinHSPF, principalmente para o parâmetro coliforme termotolerante.

Análise crítica dos resultados

O modelo, apesar de ser do tipo agregado, apresenta uma dificuldade considerável de calibração hidrológica em função do grande número de variáveis a serem trabalhadas, e principalmente pela falta de dados neste trabalho. O modelo apresentou ótimos resultados para o parâmetro coliforme termotolerante e não tão bons para o parâmetro fósforo total. O primeiro apresenta uma ótima correlação de concentração com a intensidade de chuva, e este foi provavelmente o principal motivo da obtenção de bons resultados, já que o algoritmo simulado correlaciona a formação do qual a eventos de chuva. O fósforo total é um elemento complexo na natureza, com diversas fontes, o que justifica a necessidade de algoritmos de cálculo bem trabalhados e um conhecimento apurado do sistema de trabalho. Donigian (2002), em seu trabalho de calibração e validação de um bacia hidrográfica dos Estados Unidos utilizando o modelo HSPF

também encontrou problemas na calibração do parâmetro fósforo, obtendo um resultado ruim. Analisando o ribeirão da Estiva quanto aos seus dados de qualidade percebe-se que a variação da concentração de alguns parâmetros é sazonal, principalmente o fósforo. As fontes de fósforo nesta bacia são principalmente de cargas difusas e da carga interna do sistema. O pH do corpo d'água tende a ácido, o que influencia na ressolubilização de metais, entre eles o ferro ao qual o fósforo encontra-se normalmente associado. A variação de OD é grande, tendendo a anoxia. O potencial de redução do meio aquático tende a aumentar à medida em que a concentração de oxigênio tende a zero. Com isto há a redução do íon férrico (Fe^{+3}) a íon ferroso (Fe^{+2}). Uma vez que o fósforo se complexa com os compostos férricos, este fenômeno de oxi-redução libera o fósforo que se solubiliza na água intersticial do sedimento, ficando disponível para difusão na massa d'água. Por sua vez esta difusão é dependente do gradiente entre a concentração do fósforo em suspensão na água intersticial e na coluna d'água. Este fenômeno é observado no reservatório de Ribeirão da Estiva. A correlação entre o fósforo total e o ferro total é de $r = 0,72$. Tudo isto pode explicar a origem do fósforo no corpo d'água. Estes fatores não foram considerados na simulação, mesmo porque desconhece-se exatamente quais variáveis atuam neste meio e principalmente por falta de dados. O parâmetro OD apresentou bons resultados.

A minimização das cargas difusas a partir de uma BMP

A projeção do IBGE é que a cidade de Rio Grande da Serra aumente em cerca de 47% até 2015. A tendência que se observa em grandes centros urbanos é o crescimento mais acentuado em áreas de mananciais. Como a localização da bacia de Ribeirão da Estiva pode ser considerada privilegiada, é de se esperar um grande fluxo de pessoas para a região, sem a infra-estrutura necessária. Contando que 1/3 desta população seja a responsável pela origem das cargas difusas e que o aumento de 47% para esta região se concentre na área de mananciais próximo ao ribeirão haveria um incremento de quase 80% da carga difusa afluyente ao reservatório. Para o parâmetro fósforo, significaria que o ribeirão estaria com a qualidade da água totalmente comprometida, ou seja, com valores bem acima da legislação. Em termos de tratamento de água, os parâmetros simulados não são bons indicadores diretos para análise do impacto no processo. O que se pode é inferir sobre prováveis problemas e impactos futuros a partir da experiência com outros mananciais. Com relação ao coliforme termotolerante, problemas advindos da poluição difusa de patógenos envolve a possível existência de organismos mais agressivos à saúde humana e de difícil tratamento em estações convencionais. Segundo Faust (1999), o grupo de bactérias do tipo coliforme não é de difícil inativação e remoção por tratamentos simples e convencionais, como o cloro livre. No entanto, é importante ressaltar que para outros organismos patógenos existe a necessidade de se

preocupar com o aumento do tempo de contato e da concentração do desinfetante no processo de tratamento.

Quanto ao parâmetro fósforo total, a sua concentração não é controlada para a água após tratamento, mas sua existência em reservatórios pode ser bastante prejudicial para a qualidade da água para tratamento. Em geral mananciais com altas concentrações de fósforo apresentam eutrofização, com presença de algas em abundância, sendo as mais problemáticas as cianofíceas. Além do seu potencial tóxico, as mesmas liberam na água substâncias orgânicas que atribuem gosto e odor à água. O tratamento para a remoção destas substâncias tóxicas e de gosto e odor são extremamente caros e complexos, como por ex. carvão ativado em pó e carvão ativado granulado.

A aplicação de uma BMP capaz de diminuir em 3% a carga total afluyente ao reservatório, de origem difusa, seria o suficiente para que as concentrações de coliformes termotolerantes no reservatório ficassem abaixo de 200 coliformes termotolerantes /100 mL, com redução média de 83%. Uma BMP capaz de remover 5% da carga difusa afluyente de fósforo total seria o suficiente para garantir que as concentrações de fósforo no reservatório fossem inferiores ao limite da legislação, com uma redução média de 77% das concentrações de fósforo total. Kittle et al (2002) fez uma revisão sobre BMPs, onde avalia a efetividade de algumas ações que vão desde preventivas, não estruturais, leis e fiscalizações, manutenção até finalmente BMPs estruturais, para determinadas fontes de poluição. A avaliação vai de 0 a 5, sendo que em 0 a BMP não se aplica para aquela fonte de poluição, e para as classificações 1, 3 e 5 a mesma possui baixa, média e alta eficiência. Para a classe 4, a BMP possui eficiência intermediária entre 3 e 5. Na Tabela 2 são sugeridas algumas práticas ótimas de manejo que poderiam ser aplicadas a bacia de Ribeirão da Estiva para minimizar a carga de coliformes termotolerantes e de fósforo. É importante notar que as BMPs mais importantes são aquelas onde há o trabalho de manutenção, fiscalização e educação ambiental com trabalho conjunto com a comunidade.

Tabela 2 - BMPs sugeridas a serem aplicadas na Bacia de Ribeirão da Estiva.

BMP	Esgoto doméstico	Esgoto extravasado	Esgoto sanitário	Fossa séptica	Animais selvagens	Animais domésticos	Esgotos ilegais	Animais confinados	Água parada	Nutrientes	Outras fontes domésticas	Carga difusa
Educação ambiental	1	1	1	5	1	5	3	4	5	5	1	2
Incentivo de diminuição de uso de fertilizantes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0
Incentivo de plantio de vegetação nativa	1	1	1	1	1	2	0	0	0	5	0	0
Conservação de áreas naturais	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	3
Revegetação de espaços abertos e várzea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Áreas de proteção ambiental	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3
Trabalho de conservação conjunto com a comunidade	1	1	0	1	0	3	4	3	3	2	1	3
Monitoramento, identificação e eliminação de fontes	3	3	0	4	0	0	4	0	0	0	3	3
Bacias de retenção de chuvas	1	1	1	3	3	3	1	3	3	5	5	5
Wetlands construídas	2	3	3	3	3	2	2	3	1	3	1	5
Várzeas naturais	1	1	0	3	1	1	0	3	0	3	1	0

CONCLUSÃO

Como principais conclusões deste estudo destacam-se:

1. O modelo WinHSPF mostrou-se adequado para a simulação de geração de cargas difusas, em especial para parâmetros correlacionados com a precipitação, e também para a obtenção de dados médios anuais. A análise para a simulação de resultados pontuais foi prejudicada principalmente pela escassez de dados para um melhor e mais efetivo teste comparativo;

2. Não é possível criticar o modelo quanto a sua eficiência na simulação de fósforo total, neste trabalho, devido a falta de dados para que fossem utilizadas outras ferramentas disponíveis no modelo. Para uma melhor avaliação torna-se necessário que estes dados sejam obtidos;

3. O modelo demonstrou ser bastante útil para a simulação de cenários futuros, como aumento das cargas difusas afluentes ao reservatório, permitindo avaliar possíveis medidas mitigadoras a serem tomadas;

4. A ferramenta geradora de BMP foi extremamente importante para demonstrar que ações de contenção mínimas para geração de cargas difusas podem levar a resultados ótimos na diminuição da carga afluente ao reservatório;

5. Os algoritmos para as rotinas sedimentos devem ser aprimoradas. No entanto, não foi possível fazer uma análise mais refinada devido a falta de dados;

6. O modelo WinHSPF, por ser do tipo agregado, não necessita de maiores detalhamentos como em outros modelos para cargas difusas. No entanto, notou-se durante o trabalho a dificuldade para a obtenção de dados simples como precipitação, radiação solar, velocidade do vento, temperatura, em base horária; vazão, morfometria e demais variáveis utilizadas nos módulos de qualidade, principalmente para o parâmetro sedimento. Este tipo de dado não é rotineiramente levantado no Brasil e possui grande influência em um estudo de modelagem de qualidade da água. Esta falta de dados acaba por limitar maiores avanços na área.

BIBLIOGRAFIA

- ALLAN, J. D. **Stream Ecology: Structure and function of running waters**. 1. ed. London, Ed. Chapman e Hall, 1995.
- ALVAREZ, G. C.; GARCEZ, L. N. **Hidrologia**. 2ª ed., São Paulo, Ed. Edgard Blücher LTDA, 1988. p. 177-198.
- BROWN, L. C. & BARNWELL Jr.; T. O. **The enhanced stream water quality models QUAL2E and QUAL2E-UNCA: documentation and user manual**. U. S. Environmental Protection Agency, Athens, 1987. EPA 600/3-87/007.
- CAPOBIANCO, J. P. R.; WHATELY, M. **Billings 2000 – Ameaças e perspectivas para o maior reservatório de água da região metropolitana de São Paulo: Relatório do Diagnóstico Socioambiental Participativo da Bacia Hidrográfica da Billings no Período 1989-99**. São Paulo, Instituto Sócio-Ambiental, 2002. 72 p. Disponível em: www.socioambiental.org
- CARRUBA, L. Hydrologic modeling at the watershed scale using NPSM. **Journal of the american water resources association**. Vol. 36, nº 6, Dezembro/2000, p. 1237-1246.
- CARRUBA, L. Reply to Discussion by Raymond C. Whitemore: Hydrologic modeling at the watershed scale using NPSM. **Journal of the american water resources association**. Vol. 38, nº 3, Junho/2002, p. 873-874.
- CETESB. **Relatório das águas interiores do estado de São Paulo-2001**. São Paulo, 2002.
- CHAPRA, S. C. **Surface Water-Quality Modeling**. WCB McGraw-Hill, 1997. 844p.
- CHAVES, E.; GALERANI, C.; MACEDO F. J.; SANTOS, L.; SILVA, P. Controle da erosão urbana. In: **Drenagem Urbana**. 1. ed. Porto Alegre, ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995. p. 349-383.
- DALCANALE, F. **Simulação de cargas difusas em bacias rurais**. 2001. 99p. Tese de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- DONIGIAN, S. A. Jr. IMHOFF, J. C. **From the Stanform Model to BASINS: 40 years of watershed modeling**. Washington, D.C. Novembro/2002.

- DONIGIAN, A. S., Jr.; AQUATERRA Consultants; Huber, W. C.. **Modeling of Nonpoint Source Water Quality in Urban and Non-urban Areas**. 1991. EPA 600-3-91-039.
- DONIGIAN, A. S., Jr; Huber, W. C.; Barnwell, O. T., Jr. Models of Nonpoint Source Water Quality for Watershed Assessment and Management. **In: WATERSHED '96 - Moving Ahead Together. Conference Proceedings**. Junho/1996, pp. 197-200.
- DONIGIAN, A. S. Jr. **Watershed model calibration and validation: the HSPF experience**. WEF **National TMDL Science and Policy**. Novembro/2002, 13-16. Phoenix, AZ. Disponível em:
- DUDA, P. B.; KITTLE, L. J. JR.; KINERSON, R. S. WINHSPF – An independent, fully-integrated component of a comprehensive modeling system. **In: Annual spring specialty conference**, Texas, 2001. American Water Resources Association. p. 23-28.
- EIGER, S. **Aplicação do Modelo BIDIM ao Reservatório do Rio Grande**. Relatório Final – Manual de descrição do modelo. São Paulo, 1993.
- ESCOBEDO, J. F.; MACHADO, A. J.; OLIVEIRA, A. P. **Estudo observacional da radiação solar na cidade de São Paulo**. São Paulo, 1999.
- ESTEVES, F. de A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 1998. 601p.
- FAUST, S. D. **Chemistry of water treatment**. 2ª edição. Florida: Ed. CRC, 1999, p. 485-566.
- FULCHER, C.; PRATO, T.; ZHOU, Y. **Watershed management decision support system**. **In: Watershed 96 Proceedings**.
- GRIFFIN Jr., D. M. et al. Analysis of Non-Point Pollution Export from Small Catchments. **Journal WPCF**, vol. 52, n° 4, pp. 780-790, abril/1980.
- GRIFFIN Jr., D. M.; GRIZZARD, T. J.; RANDALL, C.; Efficient Design of Stormwater Holding BASINS 2.0 used for Water Quality Protection. **Water Research**, Great Britain, Vol. 14, pp. 1549-1554, 1980.
- HANSON, S. A.; HORN, C. R.; MCKAY L. D.; **History of the U.S. EPA's River Reach File: A National Hydrographic Database Available for ARC/INFO Applications**. USEPA, 1994 (revisado em 2001).
- HELOU, G. C. N. **Modelos de avaliação do estado trófico aplicados ao reservatório do Guarapiranga**. 1996, 156p. Tese de mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- HELOU, L. C. **Acoplamento das equações da hidrodinâmica as da dispersão de poluentes**. 1994, 140p. Tese de mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- HERMANN, R. M.; MARTINS, R. H. O. **Programa para avaliação da carga difusa na região metropolitana de São Paulo, Brasil**. CETESB, F/01617, 1986.
- HOWARD, D.; SHAHANE, A.; THOMAS, M. **Best Management Practices for Agrichemical Handling and Farm Equipment Maintenance**. Flórida, 1998.
- ISA, Instituto Sócio-Ambiental, acessível em: www.isa.org.br

- IPT/SABESP. **Diagnóstico e Monitoramento do Assoreamento dos Reservatórios da Região Metropolitana de São Paulo**. Relatório Técnico n° 52.996. São Paulo, 2001.
- JAMES, D.J.G.; HUNTLEY, I.D. Some aspects of the processes of mathematical models. In: **Mathematical Modelling – a source book of case studies**. London, 1990. p. 1-17.
- JØRGENSEN, S.E. Utilização de Modelos. In: Jørgensen, S.E; Vollenweider, R. A. **Diretrizes para o gerenciamento de lagos**. ILEC, UNEP. 2000. v.1. p. 59-85.
- KITTLE Jr., J. L. et al. **A Tool for the Generation and Analysis of Model Simulation Scenarios for Watersheds (GenScn)**. U.S. GEOLOGICAL SURVEY, Water-Resources Investigations Report 98-4134. Georgia, 1998. 159 p.
- KITTLE, J. PATWARDHAN, A. **Modeling resultings for existing conditions**. Technical memorandum n° 6, Junho/2002, Georgia.
- LÉON, L. F.; SOULIS, E. D.; KOUWEN, N.; FARQUHAR, G. J. Nonpoint Source Pollution: a distributed water quality modeling approach. **Water Resources**, Vol. 35, n° 4, pp. 997-1007, 2001.
- MATTOS, A.; VIEIRA, A. C. C. Contribuição ao estudo do transporte de sedimentos e assoreamento de reservatórios em bacias hidrográficas agrícolas. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 18., Salvador, 1995. **Anais**. São Paulo, SABESP, 1995. 12 p.
- MATTOS, A.; VILLELA, S. M. Precipitação. Escoamento superficial; Regime dos cursos de água. In: **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw Hill do Brasil, 1975. p 29-100 e p. 102-37.
- MASURIER, D. Pollution on the Great Lakes. In: **Mathematical Modeling, a source book of case studies**. Oxford University Press. London, 1990. p.181-94
- MARTINS, R. H. O. **Carga difusa em ambientes urbanos: A bacia representativa do Córrego do Mandaqui**. 1988. 207p. + anexos. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MEYERS, M.; ALBERTIN K.; COCCA, P. BASINS 2.0 3.0: Modeling tools for improved watershed management. In: **Annual spring specialty conference**, Texas, 2001. American Water Resources Association. p. 17-22.
- MUKHOPADHYAY, B. SMITH, E. H. Comparison of statistical methods for estimation of nutrient load to surface reservoirs for sparse data set: application with a modified model for phosphorus availability. **Water Researchs**, vol. 34, n° 12, pp. 3258-3268, 2000.
- NIST, SEMATECH. **ENGINEERING STATISTICS HANDBOOK**. Maio/2001.
- NOBUHIRO, N.; DECANINI, M.M.S. Desenvolvimento de um protótipo de SIG para a Bacia do Alto Paraguai. In: Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, 3, São Paulo, 1997. **Anais**. São Paulo: IDET, 1997. p.352-58.
- NOTES ON WATERSHED MANAGEMENT, 2001. **BMP's reduce pollution from Kansas Golf Course**. Url: [www.twsu.edu/~biolwww/319Web/Braeburn Gol Course Project.htm](http://www.twsu.edu/~biolwww/319Web/Braeburn%20Gol%20Course%20Project.htm)

- NOVOTNY, V. ; CHESTERS, G. **Handbook of non-point pollution: sources and management.** Van Nostrand-Reinhold: New York, 1981. 555p.
- NOVOTNY, V. OLEM, H. **Water quality: prevention, identification and management of diffuse pollution.** Van Nostrand-Reinhold: New York, 1993. 1054p.
- OCCHIPINTI, G. A. **Modelo de qualidade da água do Reservatório Guarapiranga.** Publicação do departamento de hidráulica e saneamento de EESC- USP/HIDROCONSULT LTDA. São Paulo, 1973.
- ODUM, E. P.. **Ecologia.** São Paulo: Editora Guanabara , 1983. 433p.
- PORTO, M. F. A. Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas. In: **Drenagem Urbana.** 1. ed. Porto Alegre, ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995. p. 387-426.
- PRIME ENGENHARIA. **Avaliação da poluição por fontes difusas afluente ao reservatório Guarapiranga - Relatório preliminar.** São Paulo, 1998.
- SABESP. **Implantação do Redesenho do Macroprocesso de Produção de Água Projeto Sistema Produtor Ribeirão da Estiva.** São Paulo. 2000.
- SABESP. **Qualidade da água nos mananciais da RMSP – Ribeirão da Estiva – Relatório preliminar.** São Paulo. 2001.
- SABESP. **Qualidade da água nos mananciais da RMSP – Rio Grande – Relatório preliminar.** São Paulo, 1999.
- SAGGIO, A. A. **Estudo da Eutrofização do Reservatório de Barra Bonita (Rio Tietê – SP) através de simulação numérica.** 1992. 105p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos.
- SIMONS, D. B.; SENTÜRK, F. **Sediment transport technology.** Colorado: Water Resources Publications, 1976.
- SOHRABI, T. M.; SHIRMOHAMMADI, A.; MONTAS, H. Uncertainty in nonpoint source pollution models and associated risks. **Environmental Forensics,** 3, 2002, p. 179-189.
- STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G.. **Diretrizes para o gerenciamento de lagos.** São Paulo: ILEC, UNEP. 2000. v.9.
- TEIXEIRA Fº, J **Estudo de modelos matemáticos de qualidade de água e aplicação do modelo qual-i na bacia do rio Piracicaba.** 1988, 248p. Tese de mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- THOMAN, R. V. et al. **Mathematical modeling of phytoplankton in Lake Ontario.** 1975, EPA-660/3-75-005
- TUCCI, C. E. Modelos de qualidade da água em reservatórios. In: Wrobel, L. C. et al. **Métodos Numéricos em Recursos Hídricos I.** Rio de Janeiro, Editora ABRH. 1989. P 223-99.
- TUNDISI, J. G. **Limnologia no Século XXI: Perspectivas e Desafios.** In: Conferência de Abertura do Congresso Brasileiro de Limnologia, 7, São Carlos, 2000. 24 pág.

- TUNDISI, J. G. **Planejamento e gerenciamento de lagos e represas: uma abordagem integrada ao problema de eutrofização**. UNEP-IETC. São carlos, 2001. 383 pp.
- USEPA, 2000. **A Guide to the Environmental Visioning Process Utilizing a Geographic Information System (GIS)**. EPA-625-R-98-003
- USEPA, 1999b. **BASINS 2.0 technical note 1 - Creating Hydraulic Function Tables (FTABLES) for Reservoirs in BASINS 2.0**. EPA-823-R-99-006.
- USEPA, 2000a. **BASINS 2.0 Case Study 1 - Cottonwood Creek Watershed, Idaho County, Idaho**. EPA-823-R-00-024
- USEPA, 1999c. **BASINS 2.0 technical note 2 - BASINS 2.0 Scripts and Extracted Data Fields**. EPA-823-R-99-001.
- USEPA, 1999d. **BASINS 2.0 technical note 3 - NPSM/HSPF Simulation Module Matrix**. EPA-823-R-99-005.
- USEPA, 1999e. **BASINS 2.0 technical note 4 - Incorporating upstream flow and water quality time series in the Nonpoint Source Model (NPSM)**. EPA-823-R-99-005.
- USEPA, 1999f. **BASINS 2.0 technical note 5 – Using HSPEXP with BASIN/NPSM**. EPA- 823-R-99-010.
- USEPA, 2002. Flow Calibration Tutorial.
- USEPA, 1999g. **BASINS 2.0 technical note 6 - Estimating Hydrology and Hydraulic parameters for HSPF**. EPA-823-R00-012.
- USEPA, 1998. **Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources User's Manual**. EPA-823-B-98-006.
- USEPA, 1997a. Controlling Nitrogen Inputs into the Peconic Estuary. In: **Information About Estuaries and Near Coastal Waters Winter**. Volume 7, Number 1.
- USEPA, 2000. **Fecal coliform TMDL modeling report – Cottonwood Creek Watershed, Final Report**. Idaho, USA.
- USEPA, 1993. **Handbook – Urban runoff pollution: prevention and control planning**. 1993. EPA1625/R-93/004
- USEPA,1996. **Hydrological Simulation Program – FORTRAN, User's Manual for Release 11.0**.
- USEPA, 1997b. Managing Nonpoint Source Pollution from Agriculture. In: **NonPoint Source Pointers (Factsheets)**. EPA841-F-96-004F.
- USEPA, 2002a. **Section 319 - Success Stories Volume III: The Successful Implementation of the Clean Water Act's Section 319 Nonpoint Source Pollution Program**. EPA 841-S-01-001.
- USEPA, 1997c. **Technical Guidance Manual for Developing Total Maximum Daily Loads. Book 2: Streams and Rivers – Part 1: Biochemical Oxygen demand/ Dissolved Oxygen And Nutrients/ Eutrophication**. EPA 838-B-97-002.

- USEPA, 1997d. **Techniques for tracking, evaluating and reporting the implementation of nonpoint source control measures**. I. Agriculture. EPA/841-B-97-010.
- USEPA, 2001 (a). **Total maximum daily load (TMDL) for sediment in the Tobesofkee Creek Watershed**.
- USEPA, 1997e. The Nonpoint Source Management Program. In: **NonPoint Source Pointers (Factsheets)**. EPA/841-F-96-004C. Disponível em: <http://www.epa.gov/owow/nps/facts/point4.html>
- USEPA, 1997f. **Tracking Nonpoint Pollution in a Multi-Use Watershed at the Hudson River NERR**. In: Information About Estuaries and Near Coastal Waters Winter. **Volume 7, Number 1**.
- USEPA, 1999. **Watershed Protection Management Measure**.
- USEPA, 1999a. **WDMUtil Version 1.0 (BETA) User's Manual**. EPA-823-C-99-001
- USEPA, 2001b. **WinHSPF Version 2.0. An Interactive Windows Interface to HSPF (WinHSPF) User's Manual**. EPA 68-C-98-010.
- U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 1995. **User's manual for Annie, version 2, a computer program for interactive hydrologic data management**. Report 95-4085.
- USHER, J.; MACKENZIE, I. Biological cell population. In: **Mathematical Modeling, a source book of case studies**. Oxford University Press. London,1990. p.255-72.
- VENTURINI, V.; BUCHBERGER, S. A new approach to integrate parameters in lumped models. In: **Annual spring specialty conference**, Texas, 2001. American Water Resources Association. p. 35-42.
- WELCH, F. B. et al. Lake Sammamish Response to Wastewater Diversion and Increasing Urban Runoff. **Water Research**. Vol. 14, pp. 821-828, 1980.
- WHITTEMORE, R. C. "Hydrologic modeling at the watershed scale using NPSM", by Lee Carruba. **Journal of the american water resources association**. Vol. 38, n° 3, 2002, pp. 871-874.
- YAGOW, G.; SHANHOLTZ, V. **Procedures for indexing monthly NPS pollution loads from agricultural and urban fringe watersheds**. In: Watershed 96.
- ZIEGLER, K. C.; OWEN, C. F. Improvement of sediment transport dynamics in HSPF. In: **Annual spring specialty conference**, Texas, 2001. American Water Resources Association. p. 29-34.
- ZISON, S. W.; MILLS, W. B.; DEIMER, B & CHEN, C. W.. **Rates, constants, and kinetics formulations in surface water quality modeling**. U. S. Environmental Protection Agency, Washington, D. C. 1978. EPA 600-3-68-105.