

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO SIMPLIFICADO PARA DEFINIÇÃO DE BACIAS CRÍTICAS E SUPORTE A PROCESSOS DE ENQUADRAMENTO

MALTA, L.R.S¹.; VASCONCELOS, A. F.²; SILVA, E.C.³.; PORTO, M. A⁴

RESUMO

Este artigo apresenta uma proposta de modelo simplificado de qualidade de água que possa definir quais bacias hidrográficas em uma área urbana precisam, com maior prioridade, de ações de controle de cargas poluentes domésticas, além de ajudar no processo de enquadramento. O modelo emprega a relação de capacidade de assimilação do corpo hídrico e os lançamentos de cargas domésticas na bacia. O município empregado no estudo de caso foi o Rio de Janeiro. Os resultados apresentados apontam com bastante nitidez quais deveriam ser as bacias hidrográficas prioritárias para as ações de controle de cargas. Com isso os gestores poderão ter bons embasamentos para definir qual a vazão de referência a ser empregada e avaliar questionamentos sobre a classe do corpo hídrico a ser adotada.

ABSTRACT

This paper shows a water quality model propose that appoints what watershed in urban territory needs priority actions of domestic waste control and help in the classification of water bodies. The model assimilates capacity ratio of water bodies and domestic waste releases into the watersheds. Rio de Janeiro was used as study case. The results clearly show what watersheds should be priority in action proposes of domestic waste control and the managers should have a good basis to properly define which reference flow will be employed, and evaluate questions about the water body class to be adopted.

PALAVRAS CHAVES: Modelo Simplificado, Qualidade, Enquadramento.

KEYWORDS: Simplified Model, Quality, Classification of Water Bodyes.

¹Pesquisador (Doutor) da EPUSP, Depto. de Engenharia Hidráulica e Sanitária; E-mail: luiz.malta1968@hotmail.com

²Mestranda em Recursos Hídricos e Saneamento.COPPE/UFRJ. Centro de Tecnologia - Bloco B - Sala 101 - Ilha do Fundão. Caixa Postal 68506 - CEP: 21945-970 - Rio de Janeiro – RJ. E-mail: anai_vas@yahoo.com.br

³Graduada em Engenharia Agrícola e Ambiental. Universidade Federal Fluminense. Rua Passo da Pátria, 156, São Domingos. CEP: 24210-240. Niterói – RJ. E-mail: elainbe_uff@yahoo.com.br

⁴ Professora Titular da EPUSP, Depto. de Engenharia Hidráulica e Sanitária; E-mail: mporto@usp.br

INTRODUÇÃO

A proposta deste artigo é apresentar um modelo simplificado de qualidade de água com o objetivo de definir bacias hidrográficas críticas em zonas urbanas e que sirva como ferramenta de apoio para possível processo de enquadramento, sendo aqui adotado como estudo de caso o município do Rio de Janeiro.

A avaliação de problemas existentes através de modelos de simulação é de fundamental importância no entendimento e gerenciamento dos recursos hídricos e dos problemas de qualidade. Contudo, para a realização desta avaliação, devem ser consideradas as informações existentes (e suas limitações) que possam alimentar um dos diversos modelos de qualidade da água disponíveis no mercado. Por tal motivo a proposta deste trabalho parte para um modelo simplificado que estime a situação de alguns parâmetros de qualidade em relação à capacidade de diluição, permitindo assim identificar as bacias críticas.

Utilizar essa capacidade de diluição dos rios, corresponde a considerar a capacidade que um corpo d'água tem de assimilar os despejos, sem apresentar problemas do ponto de vista ambiental. Um curso d'água é um recurso natural que pode ser explorado. Esta visão realística é de grande importância em vista das condições das condições da maior parte das bacias hidrográficas do país, em que a carência de recursos financeiros justifica que se utilizem os cursos d'água como complementação dos processos que ocorrem no tratamento de esgotos (desde que feito com parcimônia e segundo critérios técnicos seguros e bem definidos).

A Agência Nacional das Águas (ANA) já preconizou uma metodologia de estimativa de cargas de esgoto doméstico e da capacidade de diluição dos corpos hídricos para diagnosticar as cargas orgânicas do país inteiro, inclusive em regiões que não apresentam monitoramento. A síntese de tal trabalho encontra-se apresentada no Programa da Qualidade das Águas Superficiais no Brasil - Caderno de Recursos Hídricos 1 (ANA, 2005).

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Porto e Azevedo (1997), um modelo é uma representação simplificada do sistema real que se deseja analisar. As situações reais são, em geral, demasiadamente complexas para serem representadas na sua íntegra e, freqüentemente, a maior parte desta complexidade é irrelevante à resolução do problema. Por esta razão, procura-se conceber um modelo da realidade que considere apenas a essência do sistema, ou seja, apenas os aspectos realmente relevantes.

Existem diferentes classificações para os modelos. A classificação apresentada por Romero (2003), parece bastante pertinente para este estudo, pois permite ver que o objetivo proposto neste

trabalho se enquadra no modelo de monitoramento de acordo sua classificação. A classificação por ele proposta diferencia os modelos em:

- Modelos de controle, através da descrição dos processos físicos, químicos e biológicos, visam controlar a qualidade da água, de maneira a avaliar os aspectos ambientais de forma global. Uma característica importante que possuem é a possibilidade de criar cenários de controle, permitindo, uma visão da situação no futuro;
- Modelos de monitoramento funcionam como apoio às atividades poluidoras e como fonte de informação;
- Os modelos de pesquisa são utilizados para fins científicos. Possibilitam a realização de testes de diferentes hipóteses de como a natureza se manifesta e, assim, apontam possíveis assuntos de pesquisas futuras.

Se o objetivo do trabalho fosse de cunho de pesquisa seria necessário partir para modelos mais complexos e realizar profundas buscas de dados de entrada para rodar estes modelos. Se houver necessidade de modelos complexos, é preciso conhecer a disponibilidade de dados. Um modelo complexo sem as informações exigidas por ele não funcionará. De acordo com Tucci (1993) o grau de detalhamento que um modelo pode atingir está relacionado às informações disponíveis e à precisão desejada para retratar a bacia. Além disto, com o aumento da complexidade há um aumento das incertezas sobre o modelo. Contudo, muitas vezes, modelos simplificados podem atender aos objetivos a que se propõe o estudo. Além disto, muitas vezes é melhor ter uma ideia da situação existente do que nenhuma informação por falta de dados.

A Tabela 1 apresenta alguns modelos de qualidade disponíveis no mercado. Esses modelos, de modo geral, eles refletem a quantidade de dados de entrada necessários para proceder seu processamento. Avaliando estas exigências de dados de entrada, percebe-se claramente que os dados necessários na sua maioria não estão disponíveis para avaliar um município inteiro, e, portanto, estes modelos não podem ser empregados, motivando a geração de um modelo mais simplificado.

Tabela 1. Relação de alguns modelos disponíveis no mercado.

Nome do Modelo	Dados de Entrada	Referência
ANSWERS (<i>Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation</i>).	Complexidade de dados de entrada, não há transformações químicas de nitrogênio e fósforo, requerem pequenos elementos de célula e assumem que estas são homogêneas.	Beasley <i>et al.</i> (1980).
BASINS (<i>Better Assessment Science Integrating point and Nonpoint Sources</i>).	Ocupação do solo, topografia, zonas urbanas, limites de ecorregiões, captações de água potável, barragens, medidas de estações de qualidade da água, climáticos, sedimentação, entre outros.	U.S. EPA (2000).
CREAMS (<i>Chemicals Runoff and Erosion from Agricultural Manag. Systems</i>).	48 parâmetros (19 para o modelo hidrológico e 29 para o modelo de qualidade), entre eles: chuvas diárias e horárias, temperaturas médias mensais, radiação solar média, dados de entradas de N e P.	Knisel (1980).

A COPPE vem realizando diversos estudos na região do município do Rio de Janeiro, tais como o apresentado por Villas Boas (2008), porém com modelos voltados para pesquisa. Estes estudos recobrem somente algumas parcelas da área urbana, devido à dificuldade de obtenção dos dados de entrada e tem como dados de saída respostas muito superiores à necessidade do objetivo proposto.

METODOLOGIA

Para o estudo proposto, o primeiro passo foi a definição das vazões a serem empregadas, que serão: a vazão média de longo termo (Q_{MLT}), a vazão mínima com um tempo de recorrência de 10 anos e período de mínima de 7 dias ($Q_{7,10}$), a vazão de permanência de 95% ($Q_{95\%}$).

Estas vazões poderão ser avaliadas futuramente no processo de enquadramento, como vazão de referência a ser adotada, permitindo assim trabalhar com uma maior maleabilidade da capacidade de diluição dos corpos hídricos.

Ainda será possível visualizar quais as bacias que necessitarão de intervenções em diferentes óticas de vazão, resultando uma resposta de onde há necessidade de redução de cargas domésticas com maior prioridade. Ou seja, aquelas em condições mais críticas necessitam de intervenções mais urgentes e as com condições mais razoáveis necessitam de intervenções com menor urgência, por exemplo.

Para definição das vazões empregadas no modelo, foi empregado o estudo de regionalizações de vazões da sub-bacia 59 que compreende a região litorânea do Rio de Janeiro. Para este estudo foram utilizadas 75 estações pluviométricas das seguintes instituições: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), da antiga Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagos (SERLA), Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Além de dados de 13 estações fluviométricas (CPRM, 2002).

De acordo com este estudo, a regionalização da vazão média de longo termo deve seguir a Equação (1).

$$QMLT = 0,0211 A^{1,0196} P^{0,7917} \quad (1)$$

Em que:

QMLT = vazões de média de longo em m³/s;

A = área em km²;

P = precipitação média em m.

O segundo passo seria de estimativa da capacidade de assimilação dos corpos hídricos. Para tanto considerou-se duas hipóteses:

- Que os rios da bacia estejam enquadradas na classe 2, situação atual de enquadramento (visto que não há enquadramento no rios do município);
- Que os rios da bacias estejam enquadradas na classe 4, uma situação que permite ampliar a capacidade de assimilação.

Os parâmetros empregados foram: a Demanda Biológica de Oxigênio (DBO), o nitrogênio amoniacal total, o fósforo total e os coliformes termotolerantes, por serem considerados muito relevantes para a avaliação da questão de qualidade dos corpos hídricos.

Levando em conta tais hipóteses para o caso de Demanda Biológica de Oxigênio, multiplicou-se a(s) vazão(ões) disponível(is) (Q_{MLT} , $Q_{7,10}$, $Q_{95\%}$) pelo valor de 5 mg/L para hipótese classe 2 e as mesmas vazões pelo valor de 10mg/L para hipótese classe 4.

Para o caso de nitrogênio amoniacal total, multiplicou-se a(s) vazão(ões) disponível(is) (Q_{MLT} , $Q_{7,10}$, $Q_{95\%}$) pelo valor de 3,7 mg/L para hipótese classe 2 e as mesmas vazões pelo valor de 13,3 mg/L para hipótese classe 4, considerando que as águas no município do Rio de Janeiro apresentam normalmente pH inferior a 7,5.

Para o caso de fósforo total, multiplicou-se a(s) vazão(ões) disponível(is) (Q_{MLT} , $Q_{7,10}$, $Q_{95\%}$) pelo valor de 0,1 mg/L para hipótese classe 2 e as mesmas vazões pelo valor de 0,15 mg/L para hipótese classe 4.

Para o caso de coliformes termotolerantes, multiplicou-se a(s) vazão(ões) disponível(is) (Q_{MLT} , $Q_{7,10}$, $Q_{95\%}$) pelo valor de 10.000 NMP/L para hipótese classe 2 e as mesmas vazões pelo valor de 40.000 NMP/L para hipótese classe 4, considerando como demais usos.

Empregando a equação (1), tem-se os resultados obtidos de vazões de média de longo termo e as respectivas capacidades de assimilação para DBO, nitrogênio amoniacal, fósforo total e de coliformes termotolerantes para as bacias do município do Rio de Janeiro (Tabela 2).

Tabela 2. Resultados de vazões de permanência Q_{MLT} e de capacidade de assimilação de DBO, N amoniacal, P total e coliformes termotolerantes para classes 2 e 4.

Bacia Hidrográfica	Área (ha)	Q_{MLT} (L/s)	Cap. de Assim. DBO cl. 2 (mg/s)	Cap. de Assim. DBO cl. 4 (mg/s)	Cap. de Assim. N_{NH_4} cl. 2 (mg/s)	Cap. de Assim. N_{NH_4} cl. 4 (mg/s)	Cap. de Assim. $P_{tot.}$ cl. 2 (mg/s)	Cap. de Assim. $P_{tot.}$ cl. 4 (mg/s)	Cap. de Assim. Coli. cl. 2 (mg/s)	Cap. de Assim. Coli. cl. 4 (mg/s)
Acari	13794.4	10181.5	50907.6	101815.1	37671.6	135414.1	1018.2	1527.2	1.02E+08	4.07E+08
Irajá/Penha	3060.6	2938.8	14694.0	29387.9	10873.5	39085.9	293.9	440.8	29387902	1.18E+08
Ramos	495.9	695.7	3478.3	6956.6	2574.0	9252.3	69.6	104.3	6956632	27826529
Cunha	6260.8	6017.9	30089.5	60179.0	22266.2	80038.1	601.8	902.7	60178988	2.41E+08
Canal do Mangue	4533.2	4893.7	24468.7	48937.4	18106.8	65086.8	489.4	734.1	48937406	1.96E+08
Centro	789.2	1209.6	6048.0	12095.9	4475.5	16087.6	121.0	181.4	12095949	48383796
Rio Carioca	756.7	1542.1	7710.5	15421.1	5705.8	20510.1	154.2	231.3	15421098	61684393
Botafogo	599.2	1282.0	6409.8	12819.6	4743.3	17050.1	128.2	192.3	12819615	51278460
Lagoa	2296.7	3678.0	18390.0	36780.1	13608.6	48917.5	367.8	551.7	36780087	1.47E+08
Urca	161.9	366.4	1831.8	3663.6	1355.5	4872.6	36.6	55.0	3663575	14654302
Copacabana	504.9	907.3	4536.3	9072.6	3356.9	12066.6	90.7	136.1	9072643	36290571
Praia Vermelha	98.0	246.2	1231.0	2462.1	911.0	3274.5	24.6	36.9	2462057	9848228
Praia de Fora	52.5	150.2	751.0	1502.1	555.8	1997.8	15.0	22.5	1502085	6008340

De acordo com este estudo, a regionalização para a vazão mínima, d-média, (empregada aqui $Q_{7,10}$), deve seguir a Equação (2).

$$Q_{\text{mín,d -média}} = 0,0118 A^{1,0168} d^{0,0860} \quad (2)$$

Em que:

$Q_{\text{mín,d -média}}$ = vazões de mínima, d-média em m^3/s ;

A = área em km^2 ;

P = precipitação média em m.

Os resultados obtidos serão ocultados mas seguem os mesmos moldes da tabela 2, somente adotando a vazão $Q_{7,10}$.

De acordo com este estudo, a regionalização para a vazão de permanência (empregada aqui $Q_{95\%}$), deve seguir a Equação (3).

$$Q_{95\%} = 0,0131 A^{1,0023} \quad (3)$$

Em que:

$Q_{95\%}$ = vazões de permanência de 95% em m^3/s ;

A = área em km^2 .

Os resultados obtidos serão ocultados mas seguem os mesmos moldes da tabela 2, somente adotando a vazão $Q_{95\%}$.

O terceiro passo foi a definição das cargas domésticas empregadas para cada bacia hidrográfica. Estas foram obtidas seguindo os seguintes passos:

1) Definir a população contribuinte de cada bacia hidrográfica, etapa realizada com o auxílio de dados e das ortofotos encontrados no banco de dados do SIS ARQ da Rio Águas. Foram definidos os bairros ou as partes dos bairros que estavam contidas em cada uma das bacias hidrográficas, e com os dados populacionais dos bairros pode-se definir a população para cada uma das bacias de acordo com o Censo 2000 do IBGE. Estas população sofreram uma projeção para os anos 2010 e 2020, seguindo o estudo de projeções de população realizado para o município do Rio de Janeiro e adotando a hipótese 2 deste estudo, a qual é mais restritiva;

2) O total de habitantes existente em cada bacia hidrográfica foi multiplicado por índices de carga gerada por habitante para cada tipo de poluente. Para este estudo

DBO_{5,20}, nitrogênio amoniacal, fósforo total e coliformes termotolerantes. São vários os valores encontrados em literatura para a geração de poluentes por habitante, mas que, de modo geral, convergem para números muito próximos. A Tabela 3 mostra alguns destes valores apresentados em nota de aula do Prof. Carlos Ernando da Silva - Tratamento de Resíduos e Impactos Ambientais – UFSM/CT/HDS.

Em relação ao índice de atendimento, considerou-se que não há transposição de bacia hidrográfica do esgoto coletado dentro da bacia de esgotamento, e não se considerou tratamento deste esgoto, devido a falta de informações. Para as regiões onde há algum tipo de tratamento serão feitas considerações na oportunidade da avaliação dos resultados.

Tabela 3 - Valores de cargas geradas típicas (g/hab.d) para diferentes poluentes

Parâmetros	CPC (g/hab.d)		Concentração (mg/L)	
	Faixa	Típico	Faixa	Típico
Sólidos totais	120-220	180	700-1300	1000
Em suspensão	35-70	60	200-450	400
Em suspensão fixos	7-14	10	40-100	80
Dissolvidos	85-150	120	500-900	700
Dissolvidos fixos	50-90	70	300-550	400
Dissolvidos voláteis	35-60	50	200-350	300
Sedimentáveis	-	-	10-20	15
DBO _{5,20}	40-60	50	200-500	350
DQO	80-130	100	400-800	700
DBOúltima	60-90	75	350-600	500
Nitrogênio total	6-112	8	35-70	50
Nitrogênio orgânico	2,5-5,0	3,5	15-30	20
Nitrogênio amoniacal	3,5-7,0	4,5	20-40	30
Nitrito	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
Nitrato	0-0,5	≈ 0	0-2	≈ 0
Fósforo total	1-4,5	2,5	5-25	14
Fósforo orgânico	0,3-1,5	0,8	2-8	4
Fósforo inorgânico	0,7-3,0	1,7	4-17	10
pH	-	-	6,5-7,0	7,0
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	20-30	25	20-50	35
Cloretos	4-8	6	20-50	35
Óleos e graxas	10-30	20	55-70	110

Fonte: Nota de aula do Prof. Carlos Ernando da Silva - Tratamento de Resíduos e Impactos Ambientais – UFSM/CT/HDS.

O levantamento do panorama da qualidade das águas superficiais da Agência Nacional de Águas adotou o valor de 54 g de DBO_{5,20}/habitante/dia.

A partir destes valores encontrados em literatura adotou-se os valores apresentados na Tabela 4 para os cálculos de carga proposta neste estudo.

Tabela 4 - Valores adotados para carga doméstica por habitante no modelo proposto

Parâmetros	Valor adotado para carga doméstica por habitante dia (g ou NMP/hab/dia)
DBO _{5,20}	54
P total	2,5
N amoniacal	4,5
Coliformes termotolerantes	16.000.000

3) Tendo em mãos as cargas geradas passou-se a uma outra etapa que foi atribuir decaimentos para os poluentes nos corpos hídricos. Os valores de decaimento foram adotados somente para DBO e coliformes termotolerantes. O nitrogênio e fósforo foram considerados como conservativos.

Para definir o decaimento pela bacia hidrográfica, se adotou diferentes percentuais de decaimento para um conjunto de anéis concêntricos cujo centro é o exutório da bacia.

Este percentuais foram calculados a partir Equação (4) :

$$L = L_0 * e^{-k_1 * \lambda / V} \quad (4)$$

Em que:

L = Carga ou concentração final;

L₀ = Carga ou concentração inicial;

K₁ = constante de decaimento, valor empregado de 0,35 dia⁻¹ para DBO e 0,5 dia⁻¹ para Coliformes termotolerantes;

λ = distância percorrida de 4.000 m - distância entre anéis;

V = velocidade média do rio, adotado valor de 0,4 m/s.

Cada um destes anéis abriga um conjunto de bairros. Os bairros situados entre dois anéis foram considerados como pertencendo ao anel no qual a maior parte de sua população está localizada. As cargas destes bairros tiveram o abatimento do decaimento definido para aquele anel ao qual o bairro pertence. A Figura 1 exemplifica estes anéis adotados em uma bacia hidrográfica e a Tabela 5 traz os valores percentuais de decaimento adotados para DBO e coliformes para cada um dos anéis.

Tabela 5 - Valores de decaimento no modelo proposto

Distância do exutório	% de decaimento de DBO	% de decaimento de Coliformes termo tolerantes
1º anel (0 a 4km)	4	6
2º anel (4 a 8km)	8	12
3º anel (8 a 12km)	12	18
4º anel (12 a 16km)	16	24
5º anel (16 a 20km)	20	32

Cumpridas estas etapas, pode se obter as cargas nos pontos dos exutórios de cada bacia hidrográfica do município do Rio de Janeiro. Os resultados destas cargas para cada um dos poluentes deste estudo encontram-se na Tabela 6.

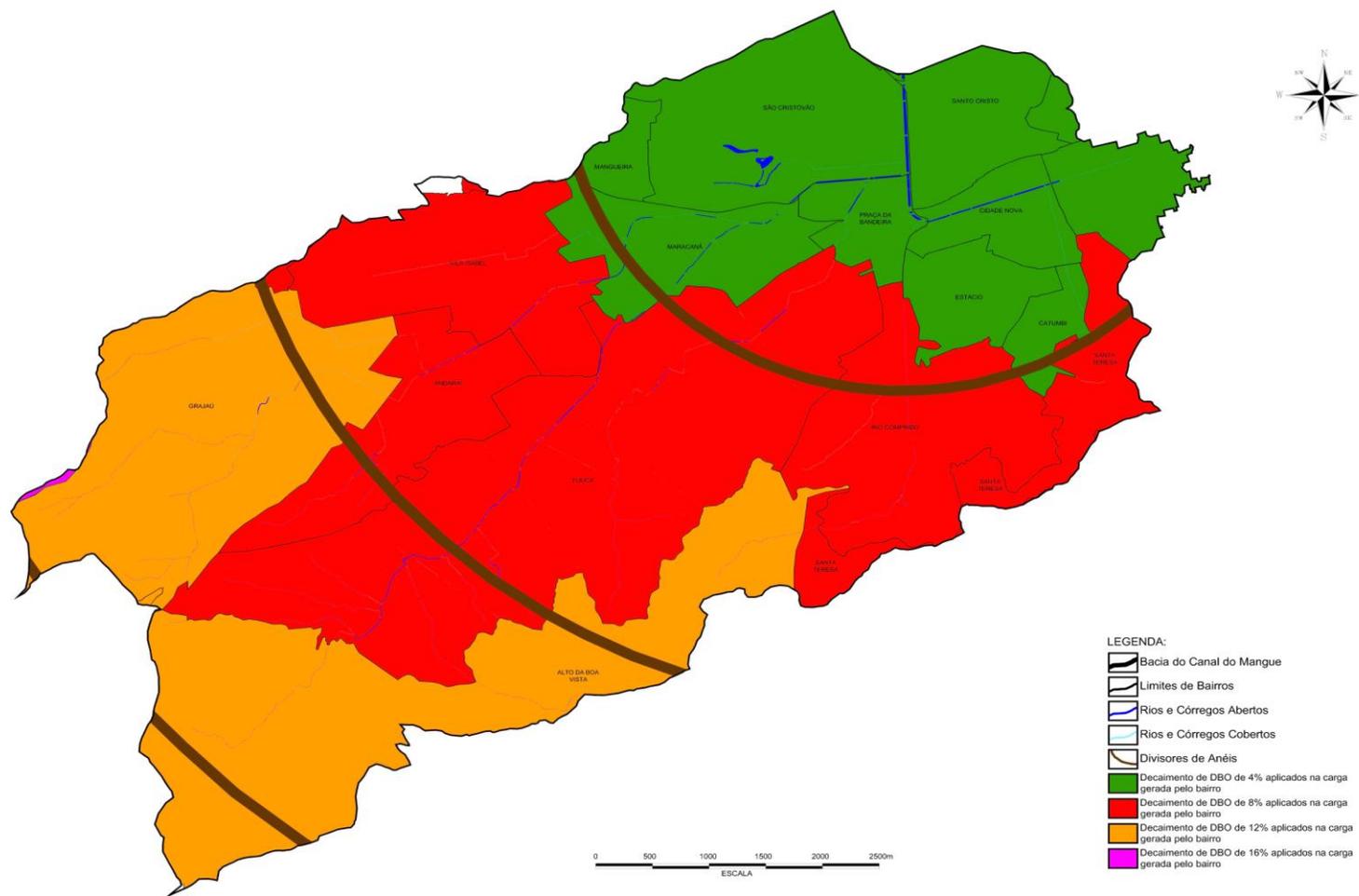


Figura 1. Esquema dos anéis de distribuição de decaimento.

Tabela 6. Resultados de cargas domésticas geradas por bacia hidrográfica dos poluentes DBO, N amoniacal, P total e coliformes termo tolerantes para o cenário 2010 e 2020.

Bacia Hidrográfica	População 2010 (hab) na Bacia	População 2020 (hab) na Bacia	Σ Carga DBO (mg/s) para 2010	Σ Carga DBO (mg/s) para 2020	Σ Carga N (mg/s) para 2010	Σ Carga N (mg/s) para 2020	Σ Carga P (mg/s) para 2010	Σ Carga P (mg/s) para 2020	Σ Carga Coliformes termo tolerantes (NMP/s) para 2010	Σ Carga Coliformes termo tolerantes (NMP/s) para 2020
Acari	1253735	1243462	783040	687808	116087	115135	36277	35980	194327645	192374890
Irajá/Penha	377083	351070	233872	214423	34915	32507	11091	10158	68874104	63162785
Ramos	137554	147253	85971	92033	12736	13635	3980	4261	25472877	27269160
Cunha	685370	600369	403886	354015	63460	55590	19831	17372	117662108	103143358
Canal do Mangue	396845	331825	233010	194656	36745	30725	11483	9601	67916515	56723194
Centro	65022	51301	40639	32063	6021	4750	1881	1484	12041050	9500216
Rio Carioca	98349	84237	61468	52648	9106	7800	2846	2437	18212846	15599364
Botafogo	92198	79262	57624	49539	8537	7339	2668	2293	17073644	14678212
Lagoa	151522	123594	94701	87553	14030	11444	3999	3576	25594594	22887739
Urca	12462	10714	7789	6696	1154	992	361	310	2307810	1984024
Copacabana	138099	118917	86312	74323	12787	11011	3996	3441	25573802	22021601
Praia Vermelha	3263	2807	2039	1754	302	260	94	81	604223	519768
Praia de Fora	1456	1252	910	783	135	116	42	36	269719	231877

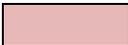
O quarto e último passo será a definição propriamente dita que é a criticidade ou potencial de poluição da bacia hidrográfica para DBO, nitrogênio amoniacal, fósforo total e coliformes termotolerantes, definido aqui pela relação entre cargas de poluição gerada na bacia e capacidade de assimilação no ponto de saída da bacia hidrográfica, empregando como hipótese que não há um certo tipo de tratamento dos efluentes gerados. Esta não consideração deve-se ao fato de não haver informações concretas a este respeito, contudo podem ser avaliados dados gerais conhecidos relevantes.

Para definir este passo serão empregados diferentes cenários, que adotaram diferentes vazões de referência e classes de enquadramento permitindo avaliar os corpos hídricos em diferentes condições, dando assim indícios para uma futura avaliação de enquadramento. Manter os corpos hídricos em classe 2 ou com vazões de referência muito restritivas, faz com que a tarefa de se atingir estas condições seja quase impossível, sendo necessária uma discussão mais séria de que qualidade esperar dos corpos hídricos urbanos, para que depois haja um sério comprometimento dos órgãos responsáveis para atingi-la.

Para um primeiro cenário avaliado de criticidade foi empregada uma vazão média de longo termo, que permite uma visão mais geral de qualidade, mantendo os corpos hídricos enquadrados na classe 2, o que seria a atual classe destes corpos hídricos, já que segundo o CONAMA 357, os corpos hídricos que não tenham sofrido enquadramento passam a ser automaticamente classe 2, para os poluentes acima relacionados. Os resultados deste primeiro cenário estão relacionados na Tabela 7. Para este cenário, não foram verificados resultados de qualidade péssima para nenhum poluente e as bacias hidrográficas em estado considerado ruim deveriam ser consideradas como bacias de prioridade 1, para futuras ações por parte do agente gestor (ex: Bacia de Ramos).

Tabela 7. Resultados da relação entre cargas e capacidade de assimilação do corpo hídrico em vazão média, na classe 2, para os poluentes: DBO, N amoniacal, P total e coliformes termotolerantes nos cenários 2010 e 2020.

Bacia Hidrográfica	Relação Carga por Capacidade e de Assimilação do DBO (2010)	Relação Carga por Capacidade de Assimilação DBO (2020)	Relação Carga por Capacidade e de Assimilação do N_{NH4} (2010)	Relação Carga por Capacidade de Assimilação N_{NH4} (2020)	Relação Carga por Capacidade de Assimilação P_{tot} (2010)	Relação Carga por Capacidade de Assimilação P_{tot} (2020)	Relação Carga por Capacidade de Assimilação Coli. (2010)	Relação Carga por Capacidade de Assimilação Coli. (2020)
Acari	15.4	13.5	3.1	3.1	35.6	35.3	1.9	1.9
Irajá/Penha	15.9	14.6	3.2	3.0	37.7	34.6	2.3	2.1
Ramos	24.7	26.5	4.9	5.3	57.2	61.2	3.7	3.9
Cunha	13.4	11.8	2.9	2.5	33.0	28.9	2.0	1.7
Canal do Mangue	9.5	8.0	2.0	1.7	23.5	19.6	1.4	1.2
Centro	6.7	5.3	1.3	1.1	15.5	12.3	1.0	0.8
Rio Carioca	8.0	6.8	1.6	1.4	18.5	15.8	1.2	1.0
Botafogo	9.0	7.7	1.8	1.5	20.8	17.9	1.3	1.1
Lagoa	5.1	4.8	1.0	0.8	10.9	9.7	0.7	0.6
Urca	4.3	3.7	0.9	0.7	9.9	8.5	0.6	0.5
Copacabana	19.0	16.4	3.8	3.3	44.1	37.9	2.8	2.4
Praia Vermelha	1.7	1.4	0.3	0.3	3.8	3.3	0.2	0.2
Praia de Fora	1.2	1.0	0.2	0.2	2.8	2.4	0.2	0.2

 péssima
  Ruim
  razoável
  boa
  ótima

O segundo cenário diverge do primeiro pois adota a classe 4 para os corpos hídricos, mantendo a mesma vazão de referência, resultados apresentados na Tabela 8.

O terceiro cenário é nos moldes atuais de como é visto o enquadramento dos corpos hídricos do município do Rio de Janeiro, ou seja, considerando como vazão de referência o $Q_{7,10}$ e a classe de enquadramento como sendo a dois, resultados apresentados na Tabela 9.

O quarto cenário considera como vazão de referência o $Q_{7,10}$ e a classe de enquadramento 4, não será apresentado o resultado neste trabalho.

O cenário 5 emprega como vazão de referência a de permanência de 95% e como classe de enquadramento a classe 2. A adoção desta vazão de referência é vista com muito bons olhos por diversos gestores na área de recursos hídricos, resultados apresentados na Tabela 10. O cenário 6 emprega vazão de referência a de permanência de 95% e como classe de enquadramento a classe 4, não será apresentado o resultado neste trabalho.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O modelo proposto diferencia bem a situação das bacias hidrográficas no que tange a capacidade de assimilação dos corpos hídricos, podendo se diferenciar claramente quais as bacias que devem ser priorizadas em trabalhos de controle de lançamentos de cargas domésticas. O modelo também dá boas indicações para trabalhos de enquadramentos futuros. É claro que a definição da classe de enquadramento deve ser feita pelo uso pretendido, porém quando esta classe se apresenta muito distante de ser atingida deve-se repensar se realmente este deva ser o objetivo a ser atingido. Quanto a vazão de referência a ser adotada no enquadramento, que é de livre escolha dos gestores, o modelo apresenta boas diretrizes para esta escolha.

Deve-se, em próximos passos de aprimoramento do modelo, tentar acoplar a ele as cargas industriais e dispositivos de redução de cargas para onde já haja dados de coleta e posterior tratamento dos efluentes domésticos.

Tabela 8. Resultados da relação entre cargas e capacidade de assimilação do corpo hídrico em vazão média, na classe 4, para os poluentes: DBO, N amoniacal, P total e coliformes termotolerantes nos cenários 2010 e 2020.

Bacia Hidrográfica	Relação Carga por Capacidade de Assimilação DBO (2010)	Relação Carga por Capacidade de Assimilação DBO (2020)	Relação Carga por Capacidade de Assimilação N _{NH4} (2010)	Relação Carga por Capacidade de Assimilação N _{NH4} (2020)	Relação Carga por Capacidade de Assimilação P _{tot} (2010)	Relação Carga por Capacidade de Assimilação P _{tot} (2020)	Relação Carga por Capacidade de Assimilação Coli. (2010)	Relação Carga por Capacidade de Assimilação Coli. (2020)
Acari	7.7	6.8	0.9	0.9	23.8	23.6	0.5	0.5
Irajá/Penha	8.0	7.3	0.9	0.8	25.2	23.0	0.6	0.5
Ramos	12.4	13.2	1.4	1.5	38.2	40.9	0.9	1.0
Cunha	6.7	5.9	0.8	0.7	22.0	19.2	0.5	0.4
Canal do Mangue	4.8	4.0	0.6	0.5	15.6	13.1	0.3	0.3
Centro	3.4	2.7	0.4	0.3	10.4	8.2	0.2	0.2
Rio Carioca	4.0	3.4	0.4	0.4	12.3	10.5	0.3	0.3
Botafogo	4.5	3.9	0.5	0.4	13.9	11.9	0.3	0.3
Lagoa	2.6	2.4	0.3	0.2	7.2	6.5	0.2	0.2
Urca	2.1	1.8	0.2	0.2	6.6	5.6	0.2	0.1
Copacabana	9.5	8.2	1.1	0.9	29.4	25.3	0.7	0.6
Praia Vermelha	0.8	0.7	0.1	0.1	2.5	2.2	0.1	0.1
Praia de Fora	0.6	0.5	0.1	0.1	1.9	1.6	0.0	0.0

péssima
 Ruim
 razoável
 boa
 ótima

Tabela 9. Resultados da relação entre cargas e capacidade de assimilação do corpo hídrico em vazão mínima, na classe 2, para os poluentes: DBO, N amoniacal, P total e coliformes termotolerantes nos cenários 2010 e 2020.

Bacia Hidrográfica	Relação Carga por Capacidade de Assimilação DBO (2010)	Relação Carga por Capacidade de Assimilação DBO (2020)	Relação Carga por Capacidade de Assimilação N _{NH4} (2010)	Relação Carga por Capacidade de Assimilação N _{NH4} (2020)	Relação Carga por Capacidade de Assimilação P _{tot} (2010)	Relação Carga por Capacidade de Assimilação P _{tot} (2020)	Relação Carga por Capacidade de Assimilação Coli. (2010)	Relação Carga por Capacidade de Assimilação Coli. (2020)
Acari	104.7	92.0	21.0	20.8	242.5	240.5	13.0	12.9
Irajá/Penha	144.5	132.5	29.2	27.1	342.3	313.5	21.3	19.5
Ramos	338.1	361.9	67.7	72.4	780.4	835.5	50.1	53.6
Cunha	120.6	105.7	25.6	22.4	296.0	259.3	17.6	15.4
Canal do Mangue	96.6	80.7	20.6	17.2	237.7	198.8	14.1	11.8
Centro	99.6	78.6	20.0	15.7	229.4	181.0	14.8	11.6
Rio Carioca	157.3	134.7	31.5	27.0	364.9	312.4	23.3	20.0
Botafogo	186.9	160.7	37.4	32.2	430.3	369.8	27.7	23.8
Lagoa	78.4	72.4	15.7	12.8	165.2	147.8	10.6	9.5
Urca	95.6	82.2	19.1	16.5	225.6	193.8	14.2	12.2
Copacabana	333.3	287.0	66.7	57.4	768.5	661.7	49.4	42.5
Praia Vermelha	41.7	35.9	8.3	7.2	94.0	81.0	6.2	5.3
Praia de Fora	35.0	30.1	7.0	6.0	84.0	72.0	5.2	4.5

péssima
 Ruim
 razoável
 boa
 ótima

Tabela 10. Resultados da relação entre cargas e capacidade de assimilação do corpo hídrico em vazão permanência, na classe 2, para os poluentes: DBO, N amoniacal, P total e coliformes termotolerantes nos cenários 2010 e 2020.

Bacia Hidrográfica	Relação Carga por Capacidade de Assimilação DBO (2010)	Relação Carga por Capacidade de Assimilação DBO (2020)	Relação Carga por Capacidade de Assimilação N_{NH_4} (2010)	Relação Carga por Capacidade de Assimilação N_{NH_4} (2020)	Relação Carga por Capacidade de Assimilação P_{tot} (2010)	Relação Carga por Capacidade de Assimilação P_{tot} (2020)	Relação Carga por Capacidade de Assimilação Coli. (2010)	Relação Carga por Capacidade de Assimilação Coli. (2020)
Acari	84.8	74.5	17.0	16.8	196.4	194.8	10.5	10.4
Irajá/Penha	114.5	105.0	23.1	21.5	271.8	249.0	16.9	15.5
Ramos	260.9	279.3	52.2	55.9	603.0	645.6	38.7	41.4
Cunha	96.5	84.6	20.5	18.0	236.9	207.6	14.1	12.3
Canal do Mangue	77.0	64.3	16.4	13.7	189.8	158.7	11.2	9.4
Centro	77.4	61.1	15.5	12.2	179.1	141.3	11.5	9.0
Rio Carioca	122.1	104.6	24.5	20.9	281.8	241.3	18.1	15.5
Botafogo	144.7	124.4	29.0	24.9	333.5	286.6	21.4	18.4
Lagoa	61.8	57.2	12.4	10.1	130.7	116.9	8.4	7.5
Urca	72.6	62.4	14.5	12.5	171.9	147.6	10.8	9.2
Copacabana	257.3	221.5	51.5	44.3	596.4	513.6	38.1	32.8
Praia Vermelha	31.4	27.0	6.3	5.4	72.3	62.3	4.7	4.0
Praia de Fora	26.2	22.6	5.3	4.5	60.0	51.4	3.9	3.3

 péssima
  Ruim
  razoável
  boa
  ótima

BIBLIOGRAFIA

Agência Nacional de Águas (Brasil). Programada qualidade das águas superficiais no Brasil. Agência Nacional de Águas, Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, Brasília: ANA, SPR,2005.

Beasley, D.B. et al. ANSWERS: A model for watershed planning. Trans. ASAE, v.23, n.4, pp. 938-44. 1980.

CPRM (Serviço Geológico do Brasil)/ Superintendência Regional de São Paulo – SP. Relatório-síntese do trabalho de Regionalização de Vazões da Sub-bacia 5. São Paulo, 2002.

Knisel, W. G. CREAMS: A field scale model for Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems. U.S. Department of Agriculture, Conservation Research, Report n° 26. 1980.

Porto, R.L. e Azevedo, L.G.T. Sistemas de suporte a decisão aplicados a problemas de recursos hídricos. In: Organizado por Porto, R.L. et al. Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ABRH. 1997.

Tucci, C. E. M. Hidrologia: Ciência a Aplicação. Organizado por Tucci, C.E.M.. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH:EDUSP,1993. 944p.

Romeiro, N. M. L., Simulação numérica de modelos de qualidade de água usando o método de elementos finitos estabilizados. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2003.

United States Environmental Protection Agency - U. S. EPA. BASINS Technical Note 3: HSPF Simulation Module Matrix. EPA-823-R-99-003, July, 2000.

Villas Boas, M. D. Modelo de Simulação de Sistemas Hídricos Complexos, Integrado com Avaliação de Qualidade da Água – Uma Ferramenta de Gestão para Apoio a Decisão. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2008.