

# ESTUDO DA BALNABILIDADE NA BAÍA DE GUARATUBA

Edson COSTA Jr.<sup>1</sup> y Cynara L. C. CUNHA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Monitoramento e Modelagem Ambiental – LEMMA - UFPR, Brasil;; Telefone: +5541 3320-2001.

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – PPGA - UFPR, Brasil;; Telefone: +5541 3320-2027.

E-mail: edsoncostaj@gmail.com, cynara@ufpr.br

## Introdução

A baía de Guaratuba, localizada no litoral do Estado do Paraná, possui uma área de aproximadamente 50 km<sup>2</sup>. A baía de Guaratuba, assim como outras baías, é uma região de acesso para animais, constituindo um habitat natural para mamíferos, aves, peixes, crustáceos e moluscos. A pesca, que ocorre em toda a baía de Guaratuba, e a ostreicultura (cultivo de ostras), que ocorre em algumas fazendas de cultivos, são importantes fontes de renda para os moradores dos municípios banhados pelas águas da baía (Zem, 2005).

A principal fonte de renda dos municípios localizados na região de influência da baía, Guaratuba e Matinhos, provém do turismo. Nestes municípios, durante o verão, nos meses de janeiro e fevereiro, ocorre um aumento de quase 20 vezes na população, causando sérios problemas ambientais. O principal deles é o aumento na carga de esgoto sanitário que chega a baía, podendo interferir seriamente na balneabilidade da baía e da região costeira adjacente. E ainda, o aumento na carga de esgoto lançada pode interferir no cultivo de ostras, considerando que as ostras são animais capazes de filtrar organismos presentes na água, podendo assim levar essas impurezas aos consumidores das ostras *in natura*, gerando assim um grave problema de saúde pública para a região.

Para avaliar a balneabilidade e o potencial de contaminação das ostras cultivadas na baía de Guaratuba, utilizando como indicadores de contaminação fecal as concentrações de *Escherichia Coli* (*E. coli*), foram usados modelos matemáticos, que são ferramentas computacionais amplamente utilizadas para este tipo de avaliação. A *E. coli* é uma bactéria pertencente ao grupo dos coliformes termotolerantes, que vive exclusivamente no intestino humano e dos animais de sangue quente. O sistema de modelagem usado é o SisBaHiA<sup>®</sup> (Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental), muito utilizado para modelagem de regiões costeiras.

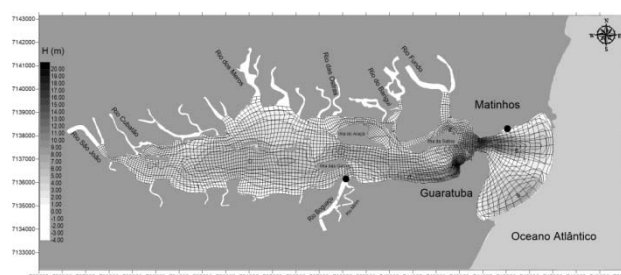
## Metodologia

Os modelos utilizados neste trabalho fazem parte do SisBaHiA<sup>®</sup> - Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental, desenvolvido pela COPPE/UFRJ. Informações sobre o sistema podem ser obtidas em [www.sisbahia.coppe.ufjr.br](http://www.sisbahia.coppe.ufjr.br), com detalhadas informações sobre a formulação matemática e numérica de todos os modelos. O SisBaHiA<sup>®</sup> é constituído por um conjunto de modelos, entre quais destaca-se o de Circulação Hidrodinâmica para corpos de água rasos, o de transporte Euleriano, o de Qualidade de Água e Eutrofização e o de transporte Lagrangeano (Rosman, 2017). Neste trabalho foram usados os modelos de transporte Lagrangeano, para a obtenção das plumas de contaminantes do indicador de contaminação fecal (*E. coli*), e o de circulação hidrodinâmica bidimensional. O SisBaHiA<sup>®</sup> usa diferenças finitas e elementos finitos nas discretizações temporal e espacial, respectivamente.

O modelo de transporte Lagrangeano do SisBaHiA<sup>®</sup> tem como objetivo simular o transporte de contaminantes ou substâncias misturados na coluna d'água ou presentes em apenas uma camada da coluna de água; sendo muito utilizado para estudos de plumas de contaminantes. Este modelo deve ser aplicado a problemas com fontes de pequena escala em relação ao domínio

do modelo de circulação hidrodinâmica, ou com fortes gradientes. O uso do modelo de transporte deve ser acoplado ao modelo de circulação hidrodinâmica, que usa a mesma malha de discretização e interpola espacial e temporalmente o campo de velocidades obtido pelo modelo de circulação hidrodinâmica.

A Figura 1 mostra o domínio de modelagem definido para a baía de Guaratuba, com a malha de elementos finitos quadráticos, usada na discretização do domínio, e a batimetria, definida a partir da digitalização da carta náutica 1803, obtidas junto à DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação.



**Figura 1.** - Domínio de modelagem para a baía de Guaratuba, mostrando a malha com 807 elementos finitos e 3610 nós, a visualização da topografia de fundo do domínio de modelagem e a localização das fontes de lançamento do esgoto sanitário (círculos).

Na simulação do padrão de circulação hidrodinâmica foi considerada a maré astronômica obtida a partir de 29 constantes, utilizadas como condição de contorno, como o principal forçante, uma vez que a circulação é regida principalmente pelo afluxo e efluxo da maré. Os rios São João e Cubatão são os principais rios da região e responsáveis pela maior parte da descarga fluvial que chega a baía de Guaratuba. As vazões do rio Cubatão foram obtidas no banco de dados *Hidroweb* (Sistema de informações Hidrológicas). Já as vazões do rio São João foram obtidas no Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) da Usina Termelétrica Norte Catarinense, que disponibiliza vazões específicas, com valores entre 50,0 a 90,0 L/s. km<sup>2</sup>, calculados pela ANA (Agência Nacional de Águas) para o ano 2015. Os dados de velocidade e direção do vento e temperatura do ar foram obtidos junto ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), para a cidade de Paranaguá, próxima a baía de Guaratuba.

Dois cenários foram considerados para a definição da circulação hidrodinâmica: o primeiro representa o mês de janeiro, quando as vazões fluviais e de esgoto são maiores, e o segundo, o mês de junho, quando as vazões fluviais e as de esgoto são menores. Os dois cenários foram simulados para o ano de 2015, devido à disponibilidade de dados. A Figura 2 mostra a curva de maré considerada para o mês de janeiro de 2015. Com o objetivo de identificar a eficiência do tratamento e da variação do tempo de decaimento foram avaliados quatro cenários, para a simulação do modelo do transporte Lagrangeano, todos tendo como base os dois cenários definidos para o modelo de circulação hidrodinâmica: para os meses de janeiro e junho, o efluente de esgoto com e sem tratamento, e o termo de decaimento permanente ou não.

Para o cálculo da vazão diária do esgoto doméstico dos municípios de Guaratuba e Matinhos, durante os meses de

janeiro e junho, foi utilizado uma contribuição de esgoto diária por pessoa de 130,0 L/dia. Em relação à variação populacional, foram utilizados dados de população estimada nos municípios de Matinhos e Guaratuba em janeiro e junho, mostrados na Tabela 1, onde é possível observar as vazões de esgoto diárias calculadas e usadas nas simulações.

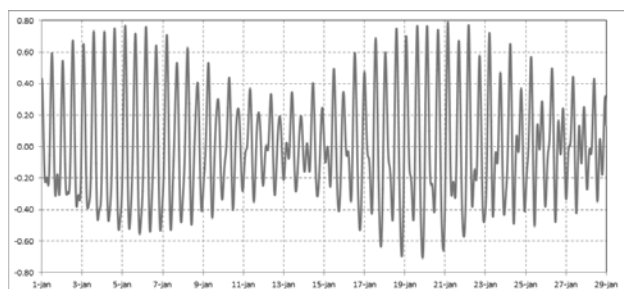


Figura 2.- Curva de maré prevista entre 01/01/2015 e 29/01/2015.

Tabela 1. - Dados da população e da vazão diária de esgoto nos meses de janeiro e junho, para as cidades de Guaratuba e Matinhos.

	População (hab.)		Vazão de esgoto (m <sup>3</sup> /dia)	
	Janeiro	Junho	Janeiro	Junho
Guaratuba	700.000,00	35.986,0	91.000,0	4.678,2
Matinhos	500.000,00	33.450,00	65.000,0	4.348,5
TOTAL	1.200.000,00	69.436,00	156.000,0	9.026,7

O município de Guaratuba possui uma estação de tratamento de esgoto (ETE), que lança seu efluente em um pequeno rio, localizado ao lado da ETE Esperança; este rio segue até lança suas águas no rio Boguaçu. A ETE Esperança possui apenas tratamento secundário, não sendo eficiente na diminuição das concentrações de *E.coli* do efluente. As características biológicas que normalmente estão presentes nos esgotos domésticos, em termos de organismos patogênicos e indicadores, usadas neste trabalho, são mostradas na Tabela 2 (Von Sperling, 2014).

Tabela 2. - Microrganismos e parasitas presentes no esgoto doméstico bruto.

Organismo	Contribuição per capita (org/hab.d)	Concentração (org/100mL)
Coliformes Totais	$10^6 - 10^{10}$	$10^6 - 10^{10}$
Coliformes Termotolerantes	$10^9 - 10^{13}$	$10^6 - 10^9$
<i>Escherichia Coli</i>	$10^9 - 10^{12}$	$10^6 - 10^9$

As emissões de *E.coli* foram realizadas durante os 30 dias de janeiro (verão) e durante os 30 dias de junho (inverno), para verificar as influências do aumento populacional na região e do termo de decaimento, que varia muito, influenciado pelos índices de radiação solar diferenciados. Os locais onde foram feitas as emissões pontuais são mostrados na Figura 1. O T90 considerado foi de 5 horas, com uma concentração de *E.coli* igual  $10^8$  org/100mL, para as duas fontes.

## Resultados

No Brasil, as principais resoluções federais vigentes para avaliar a qualidade dos corpos hídricos são a resolução CONAMA N° 357, 2005, que classifica os corpos d'água brasileiros de acordo com seus usos pré-estabelecidos, e assim, para cada classe de corpo d'água existe padrões de qualidade da água que devem ser obedecidos e a CONAMA N° 274, 2000, que define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. Segundo esta resolução, as águas salobras e salinas destinadas à balneabilidade (recreação de contato primário) terão sua condição avaliada como satisfatória se, em 80% ou mais de um

conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo, 800,0 *Escherichia coli* por 100 mililitros.

Na Figura 3 é mostrado o padrão espacial de velocidades no instante de meia maré vazante. Pode-se observar que os campos de velocidades apresentam forte relação com a batimetria. Nos locais de estrangulamento, devido à diminuição da área, as velocidades são maiores. A partir dos resultados da circulação hidrodinâmica foi possível simular o transporte da pluma de contaminantes e determinar as regiões onde ocorrem as maiores concentrações de *E. coli* por 100 mililitros.

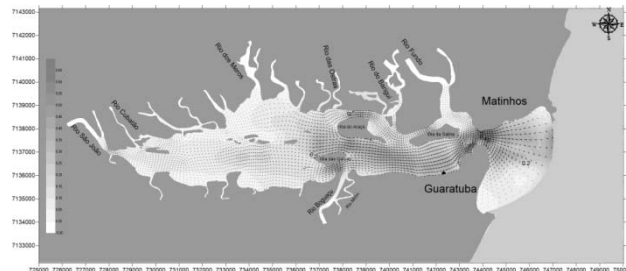


Figura 3.- Campo de corrente no domínio do modelo no instante de meia maré vazante.

Com os resultados obtidos pelo modelo de transporte Lagrangeano do SisBaHiA®, é possível definir quais as áreas de influência das plumas de contaminantes lançadas na baía. A Figura 4 mostra a pluma de contaminantes gerada para *E. coli* ao final do mês de janeiro. Observa-se que as concentrações de *E. coli* estão acima dos padrões estabelecidos nas regiões próximas as fontes; no entanto, em grande parte da baía, os valores estão abaixo do limite. Para os meses de junho, os resultados obtidos estão em concordância com os limites estabelecidos. Observou-se ainda, que o transporte é fortemente relacionado à capacidade das correntes em mover estes contaminantes e que a pluma atinge a região costeira adjacente e as regiões de cultivo de ostras com concentrações menores que os valores permitidos pela legislação. Finalmente foi possível estabelecer se a baía tem uma tendência de vazante, sendo capaz de "exportar" os poluentes presentes na baía.

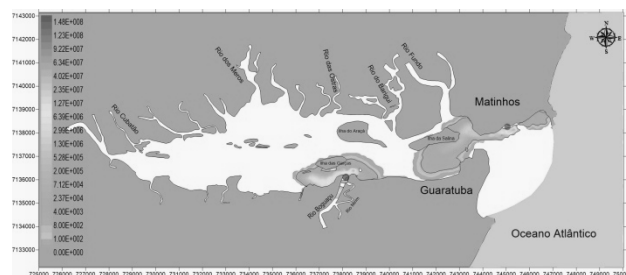


Figura 4.- Distribuição de concentrações de *E.coli*, em org/100mL, ao final do mês de janeiro. A linha corresponde ao limite de 800,0 *E.coli* por 100 mililitros.

## Referencias

- Conselho Nacional do Meio Ambiente (2012). Resoluções Conama: Resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012. Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA. 1126p.
- Rosman, P. C. C. (2017) *Referência Técnica do SisBaHiA*®. COPPE, Rio de Janeiro, Brasil.
- Von Sperling, M. (2014) *Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos*, Belo Horizonte. Editora UFMG. 2014. p. 82–114.
- Zem, R. C. (2005) *Dinâmica Sedimentar da Baía de Guaratuba – PR*. Setor Ciências da Terra. Universidade Federal do Paraná. Pontal do Paraná.