

## Modelagem Numérica da Hidrodinâmica e da Dispersão de Esgoto na Baía de Santos, SP

Joseph Harari<sup>1</sup>, Fernando Rodrigues Ferreira<sup>2</sup>, Fernando Antônio Degaspari<sup>3</sup>, Sílvia Maria Sartor<sup>4</sup>  
 joharari@usp.br - fer.oceano@hotmail.com - fernando.degaspari@bol.com.br - ssartor@uol.com.br

Recebido: 05/12/11 – revisado: 23/03/12 – aceito: 24/10/12

### RESUMO

*As zonas litorâneas são locais de grande importância econômica e social, em geral sujeitas a diversos tipos de impactos, entre os quais está o lançamento de esgoto sem tratamento adequado. O presente estudo visa relacionar a contaminação por esgoto na água com a hidrodinâmica na Baía de Santos-SP (Brasil), apresentando os resultados em mapas indicativos da dispersão de esgoto. Para tanto, foram implementados modelos tridimensionais hidrodinâmico e de dispersão, os quais foram processados para os anos de 2006 e 2007, para simulações das correntes e da distribuição de poluentes. As fontes de contaminante foram os canais de drenagem do Município de Santos, os canais estuarinos de Santos e de São Vicente e, por fim, o Emissário Submarino de Esgotos de Santos. Os resultados demonstraram que a fonte de maior influência na balneabilidade das praias do Município de Santos não é o emissário submarino, mas sim os canais de drenagem. As concentrações médias fornecidas pelo modelo de dispersão apresentaram a mesma ordem de grandeza de medições na Baía de Santos, o que demonstra a potencialidade da modelagem hidrodinâmica e de dispersão na avaliação da qualidade da água da Baía de Santos, bem como a qualidade das simulações realizadas.*

**Palavras-chave:** Modelagem. Esgoto. Baía de Santos. Saneamento.

### INTRODUÇÃO

No mundo, as zonas costeiras apresentam grande importância econômica e social, visto que cerca de 3 bilhões de pessoas vivem a menos que 200 km da costa, e estima-se que em 2025 esse número de habitantes possa aumentar para 6 bilhões (COHEN et al., 1997).

Essas zonas possuem diversos tipos de atividades, como pesca, tráfego marítimo, obras costeiras, turismo e indústria. Tais atividades são em geral responsáveis por problemas ambientais significativos, como os relacionados ao lançamento de esgotos sem tratamento nas praias e rios, despejo de efluentes industriais, movimentação portuária e disposição inadequada de lixo sólido (FERREIRA, 2008)

As deficiências na qualidade das águas costeiras são tão relevantes na Baixada Santista (região litorânea do Estado de São Paulo) que acompanham sua própria história. Sua população já

foi quase dizimada por epidemias vinculadas à falta de saneamento e, como consequência, sua economia foi muitas vezes prejudicada nas atividades turísticas, no lazer e recreação, na pesca de subsistência, entre outras (SARTOR; DEGASPARI, 2000).

O presente trabalho tem o intuito de agregar informações hidrodinâmicas e de indicadores de presença de esgoto, na Baía de Santos (SP), visando produzir mapas de dispersão, para facilitar a visualização das condições ambientais quanto à balneabilidade das praias.

### Disposição Oceânica

Em todo o mundo, uma solução encontrada para os esgotos gerados no litoral é a disposição oceânica. O esgoto coletado é inicialmente encaminhado a estações de pré-condicionamento, para gradeamento e peneiramento, objetivando remover os sólidos grosseiros e parte do material em suspensão; a desinfecção ocorre através de adição de cloro e, só após este pré-tratamento, o esgoto é lançado ao mar por meio dos emissários (LAMPARELLI, 2007).

Um emissário submarino constitui-se de uma longa tubulação assentada no fundo marinho,

<sup>1</sup>Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo

<sup>2</sup>Programa de Pós Graduação em Ciência Ambiental do Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP

<sup>3</sup>Centro Universitário Monte Serrat (UNIMONTE)

<sup>4</sup>Consultora ambiental

que em seu trecho final atinge grande profundidade, onde ocorre o lançamento do efluente por meio de difusores (orifícios).

Como uma estação de pré-condicionamento em geral não realiza nenhum tipo de tratamento primário, o mar fica responsável por diluir e depurar o material lançado.

Esta solução traz muitos benefícios para a qualidade das praias, na medida em que afasta o esgoto das mesmas, porém pode influenciar negativamente o litoral, caso o sistema não seja bem dimensionado e operado (ORTIZ; ARASAKI; MARCELLINO, 2007).

### O estuário de Santos/São Vicente, seus canais e suas praias

O estuário de Santos/São Vicente e a Baía de Santos (Figuras 1 e 2) são áreas muito impactadas por diversas atividades antrópicas, que lançam em suas águas grande quantidade de resíduos industriais, lixo sólido e esgoto doméstico sem tratamento. Essa perda de qualidade do ambiente estuarino é consequência de ter em suas margens a presença do maior porto da América Latina, o polo industrial de Cubatão, moradias subnormais e a drenagem dos municípios de Cubatão, Guarujá, Santos e São Vicente e do Canal de Bertioga (CETESB, 2008).

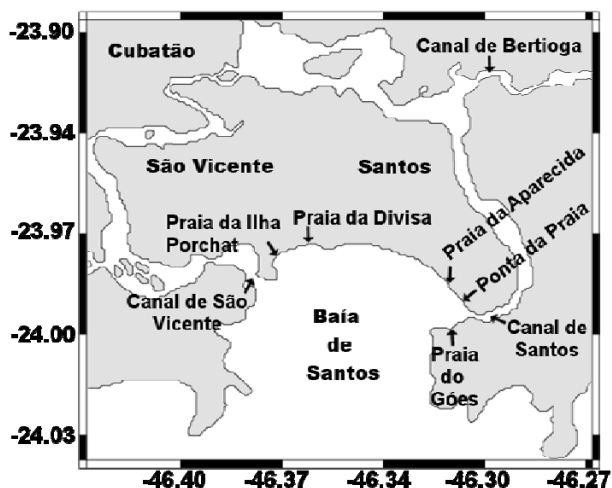


Figura 1 – Estuário de Santos/São Vicente, a Baía de Santos e suas praias

Os canais estuarinos de Santos e São Vicente ligam a baía ao interior do estuário, fazendo com que águas com baixa qualidade do estuário cheguem à baía.

Os municípios de Santos e de São Vicente possuem onze praias, sendo seis pertencentes a Santos e cinco a São Vicente. As praias santistas se estendem da Ponta da Praia até a Praia da Divisa (pertencente a São Vicente), ficando todas as praias voltadas à baía. Já as praias de São Vicente estendem-se da praia da Divisa até o interior do Canal de São Vicente (Figura 1).

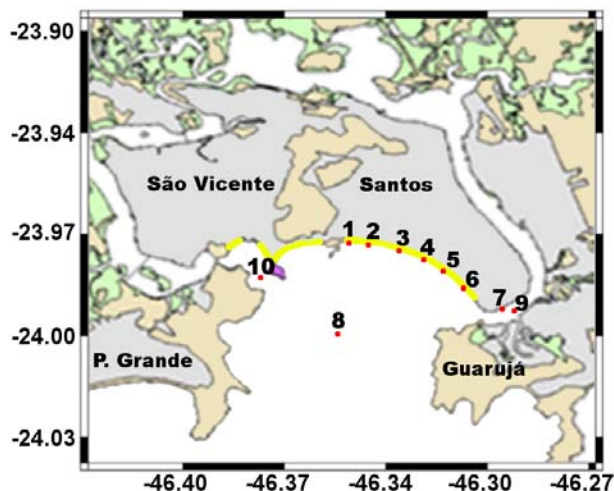


Figura 2 – Pontos 1 a 10, correspondentes às fontes de lançamento de esgoto utilizadas nesse estudo

Essas praias são utilizadas por banhistas principalmente durante o verão, período em que a população desses municípios aumenta muito. Segundo Cetesb (2008), as cinco praias de São Vicente apresentaram, no ano de 2007, uma variação de qualidade de suas águas entre regular e péssima, sendo que as piores condições foram observadas nas praias que ficam no interior do Canal de São Vicente. Nesse ano, as praias de Santos apresentaram classificação ruim em vários períodos ao longo do ano.

### Emissário Submarino de Santos e os canais de drenagem

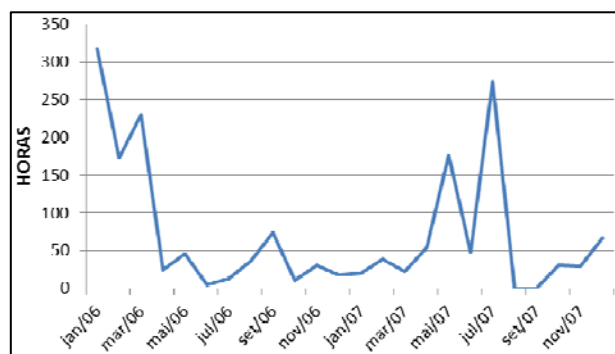
O emissário submarino de Santos, construído pela Sabesp (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), entrou em operação em 1979, tendo extensão atual de 4.432 m (SP Notícias, 2009) e capacidade máxima de vazão de 7.000 litros por segundo.

Apesar do afastamento do esgoto dos centros urbanos com a disposição oceânica, efluentes lançados pelo emissário submarino

acarretam um incremento da carga de matéria orgânica na Baía de Santos, aumentando a turbidez da água e a deposição no fundo de sedimentos finos. Além da poluição bacteriana, o enriquecimento com nutrientes provoca a eutrofização das águas da baía (CETESB, 2008; LAMPARELLI; ORTIZ, 2007).

Esse emissário, além de receber as contribuições dos coletores de esgotos, recebe também as águas dos canais de drenagem, que foram construídos para drenar as águas das chuvas do Município de Santos (Projeto do Eng. Francisco Saturnino de Brito, em 1905).

Por outro lado, esses canais chegam até as praias, em cujas saídas foram instaladas comportas que são mantidas fechadas, bloqueando as descargas na água do mar em períodos de pouca chuva; este procedimento procura evitar a poluição das praias, uma vez que todos os canais recebem uma carga de poluição difusa por ligações irregulares, ao mesmo tempo em que as comportas não permitem a entrada de areia nos canais pela ação de correntes litorâneas. Entretanto, na ocorrência de fortes precipitações, essas comportas são abertas, permitindo a saída das águas pluviais diretamente para o mar, mas prejudicando a balneabilidade das praias do município (SARTOR; DEGASPARI, 2000).



**Figura 3 – Número de horas por mês, no decorrer dos anos de 2006 e 2007, em que a comporta do canal 1 (Canal de Drenagem de Santos) ficou aberta.**

Fonte: SEMAM - Santos

As posições dos canais de drenagem 1 a 6, ao alcançarem as praias, são mostradas na figura 2, que contém também a posição de descarga do canal 7, no Canal de Santos, que é o único que não possui comporta de fechamento; a figura 2 também apresenta a posição de descarga do emissário submarino (Ponto 8) e as áreas de encontro dos canais estuarinos de Santos e São Vicente com a Baía de Santos (Pontos 9 e 10, respectivamente).

Esses 10 pontos foram considerados, no presente estudo, como as fontes de lançamento de esgoto para a Baía de Santos.

Como exemplo de informações utilizadas no presente trabalho, a figura 3 apresenta o número de horas por mês em que a comporta do Canal de drenagem 1 permaneceu aberta, no decorrer dos anos de 2006 e 2007.

## Modelagem Numérica

Modelos numéricos constituem uma ótima metodologia para estudos da circulação e da qualidade da água em estuários e zonas costeiras, sendo muito utilizados em estudos de avaliação de impacto ambiental, implementação e monitoramento de emissários submarinos e avaliação da qualidade de águas balneares (SOUSA, 2008).

Um parâmetro muito importante, na modelagem de dispersão de um indicador bacteriano, é o decaimento, que simula a morte dos microrganismos ao longo do tempo. Este parâmetro pode ser expresso em valores de T90, que é definido como o intervalo de tempo necessário para a depuração de 90% das bactérias. De fato, a representação matemática do decaimento, na modelagem da dispersão, constitui parte fundamental no estudo realizado.

## METODOLOGIA

### Modelo hidrodinâmico

Os movimentos na Baía de Santos foram estimados a partir de resultados de modelo numérico hidrodinâmico baseado no “Princeton Ocean Model – POM” (BLUMBERG; MELLOR, 1987). O POM é um modelo tri-dimensional não linear com as equações hidrodinâmicas completas (para nível do mar, correntes, temperatura, salinidade e densidade) cujas soluções são obtidas em sistema de coordenadas sigma (que acompanha o relevo submarino), considerando a separação de modos e fechamento turbulento de segunda ordem (MELLOR, 1998).

O modelo foi processado considerando como forçantes: (1) as marés nos contornos abertos, especificadas a partir dos resultados do modelo de plataforma de Harari e Camargo (1994); (2) variações do nível médio do mar nas bordas, estimadas através da filtragem de observações do nível do mar das estações costeiras de Cananéia e Ubatuba, e também pelo modelo de plataforma de Camargo e Harari (1994); (3) valores médios de

temperatura e salinidade do estuário, fornecidos por medições de projetos e estudos anteriores na área, além de dados históricos; e (4) ventos de superfície, disponibilizados pelo *National Center for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research* (NCEP/NCAR) (KALNAY et al., 1996). Esse modelo hidrodinâmico foi intensamente utilizado na reprodução de elevação do nível do mar e correntes em regiões costeiras e de plataforma (CAMARGO; HARARI, 2001; CAMARGO; HARARI; FRANÇA, 2006; HARARI; CAMARGO, 1998, 2003; HARARI et al., 2006). No presente estudo, uma grade do modelo cobre a Baía de Santos e a plataforma costeira adjacente, com espaçamento em torno de 1 Km, como no trabalho de Harari e Camargo (2003), e foi considerado um aninhamento somente para a baía, com espaçamento de 100 m.

### Modelo de Dispersão de Esgoto

Para as simulações de dispersão de esgoto em diferentes cenários, foi elaborado um modelo numérico 3D de advecção – difusão - decaimento, com esquema de diferenças finitas explícito, de coordenadas lineares, resolução horizontal de 100 m e vertical de 1 metro, escrito em Matlab 6.1. Como premissa, o poluente modelado foi considerado inerte, completamente miscível na água do mar, não sofrendo efeito da gravidade (HARARI; GORDON, 2001).

A taxa de decaimento do contaminante (T90) foi determinada utilizando equações elaboradas por Yukselen et. al. (2003), que foram produzidas a partir de experimentos empíricos. A primeira equação determina o valor do T90 em função da temperatura para o período noturno e a segunda equação corrige o valor inicial, considerando a influência dos raios solares. O estudo de Yukselen et al. (2003) forneceu três equações para o período do dia, segundo a taxa de irradiação solar; no presente trabalho foi utilizada a equação com valor intermediário de irradiação, de 49,7 cal/cm<sup>2</sup>.h.

### Contaminante

O indicador utilizado na modelagem foi coliformes termotolerantes. As fontes de poluição modeladas foram os canais de drenagem do município de Santos (pontos 1 a 7 da Figura 2), os canais estuarinos de Santos e São Vicente (pontos 9 e 10) e o Emissário Submarino de Santos (ponto 8).

Os canais de drenagem foram divididos em

três grupos, segundo as concentrações de coliformes apresentadas por Braga et al. (2003); os valores utilizados são as médias de suas medições nos anos de 1998 e 1999. A concentração lançada pelo primeiro grupo (que engloba os canais 1, 2 e 3) foi de  $3,82 \times 10^5$  coliformes (NMP/100 ml); pelo segundo grupo (canais 4, 5 e 6) foi de  $2,395 \times 10^6$  coliformes (NMP/100 ml); e pelo terceiro grupo (canal 7) foi de  $6 \times 10^3$  coliformes (NMP/100 ml).

Os valores de coliformes utilizados na modelagem dos canais estuarinos de Santos e São Vicente correspondem aos valores utilizados pelo projeto Ecomanage (NEVES; BARETTA; MATEUS, 2008). Como o indicador modelado por este projeto foi *Escherichia coli* (NEVES; BARETTA; MATEUS, 2008), os valores fornecidos receberam uma conversão para os valores respectivos de coliformes termotolerantes, utilizando como base as concentrações limites de cada indicador de esgoto presente na Resolução Conama nº 274 (valores foram multiplicados por 1,25). O valor final utilizado no modelo, para cada um dos dois canais, foi de  $6,625 \times 10^5$  coliformes (NMP/100 ml).

Para o Emissário Submarino de Santos foi considerado o valor fornecido por Lamparelli e Ortiz (2007), de  $4,5 \times 10^6$  coliformes (NMP/100 ml), que é da mesma ordem de grandeza do apresentado pelo projeto Ecomanage para o emissário. A profundidade de lançamento do contaminante foi de 10 m, através de três pontos de grade, representando de forma aproximada os 200 metros ocupados pelos 40 orifícios difusores do Emissário, pois a resolução do modelo (100 metros) não permitiu a representação individual dos orifícios. Visando simular a intrusão do contaminante pelos difusores e sua diferença de densidade para a água, foi considerada uma velocidade vertical adicional nos pontos de grade com introdução do contaminante, de 0,02 m/s, baseado em resultados de modelos e informações dos operadores do emissário.

### Hidrodinâmica

O modelo hidrodinâmico foi processado para os anos completos de 2006 e 2007, gerando valores horários de correntes nos pontos da grade que cobre a baía, em padrão tridimensional; esses dados foram utilizados como entrada para o modelo de dispersão, nos cálculos de advecção.

A circulação na Baía de Santos é bastante complexa, com preponderância dos efeitos de maré; os ventos, em geral, têm influência menor na baía, mas se tornam mais importantes no caso de

intensificação dos ventos predominantes de Nordeste ou quando ocorre a propagação de frentes frias muito intensas a partir do Sul (HARARI; GORDON, 2001).

### Dispersão de esgoto

Também o modelo de dispersão de esgoto foi processado para os anos de 2006 e 2007, de forma contínua.

Nas análises, foi utilizado o valor limite para a balneabilidade de 100 coliformes (NMP/100 ml), ou seja, uma ordem de grandeza menor que o limite estabelecido pela Resolução CONAMA N° 274 para balneabilidade, de 1000 coliformes (NMP/100 ml).

Na modelagem da dispersão a partir do emissário submarino, foram extraídas informações de comprimento (Distância DNS) e largura de pluma (Distância DLO) e distância entre a pluma e a praia (Distância DPP).

Na avaliação da correlação da dispersão do contaminante modelado com a hidrodinâmica, foram consideradas defasagens de até  $\pm 12$  horas, para os resultados dos comprimentos de pluma e de intensidades das correntes no ponto sobre o emissário submarino, sendo ambos na camada de superfície.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Exemplo de resultados de modelagem hidrodinâmica se encontra na figura 4, com as correntes muito intensas calculadas (para a superfície), devido à intrusão de uma frente fria muito forte.

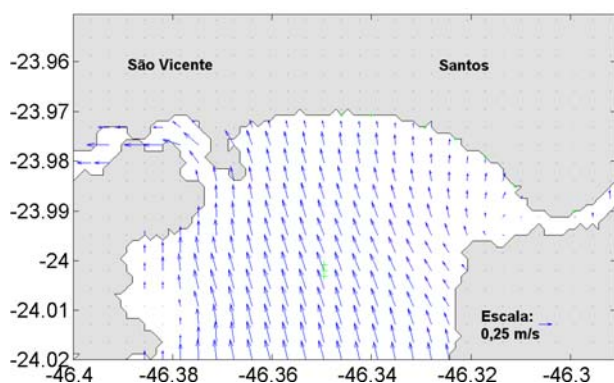


Figura 4 – Correntes de superfície intensas na Baía de Santos, em 23:00 GMT de 11 de fevereiro de 2007

Para facilitar a análise dos resultados, as fontes de contaminação foram modeladas separadamente – canais de drenagem, canais estuarinos e emissário submarino. Tendo em vista o grande número de resultados obtidos, foram selecionados alguns resultados, em certos meses de interesse.

### Canais de Drenagem

A condição mais crítica para a dispersão a partir dos canais de drenagem é apresentada nas figuras 5 e 6, com a concentração média mensal e o número de horas em que a região ficou sob influência da contaminação, sendo referentes a março de 2006. Nessas figuras, os valores máximos correspondem a  $2 \times 10^8$  coliformes (NMP/100 ml) e 730 horas.

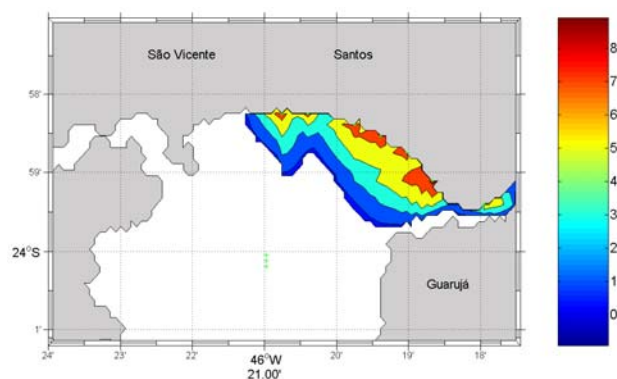


Figura 5 – Concentrações médias, em escala logarítmica, referentes ao mês de março/2006 (na superfície), a partir dos canais de drenagem

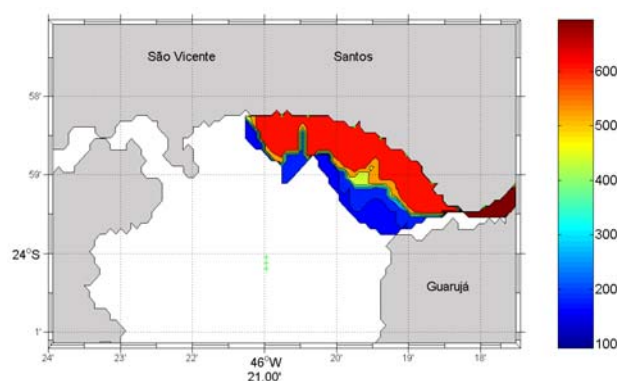


Figura 6 – Número de horas no mês em que a região ficou sob influência de concentração igual ou superior a 100 Coliformes (NMP/100mL), em março/2006 (superfície), a partir dos canais de drenagem

## Canais Estuarinos

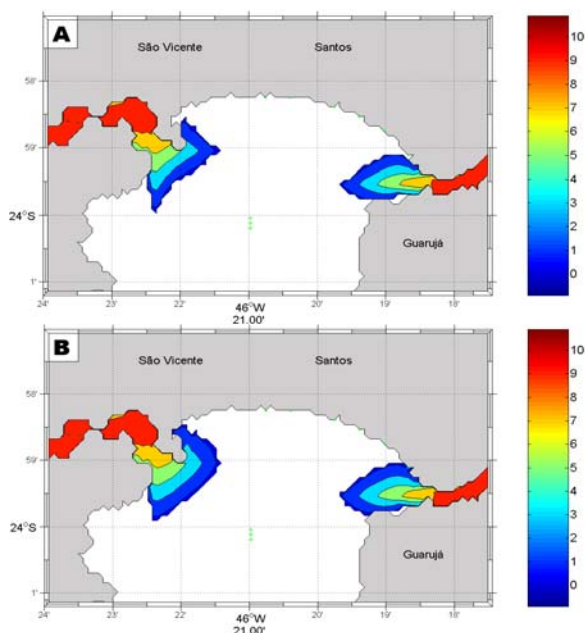


Figura 7 – Concentrações médias, em escala logarítmica, referentes aos meses de dezembro/2006 (“A”) e janeiro/2007 (“B”) (na superfície), a partir dos canais estuarinos

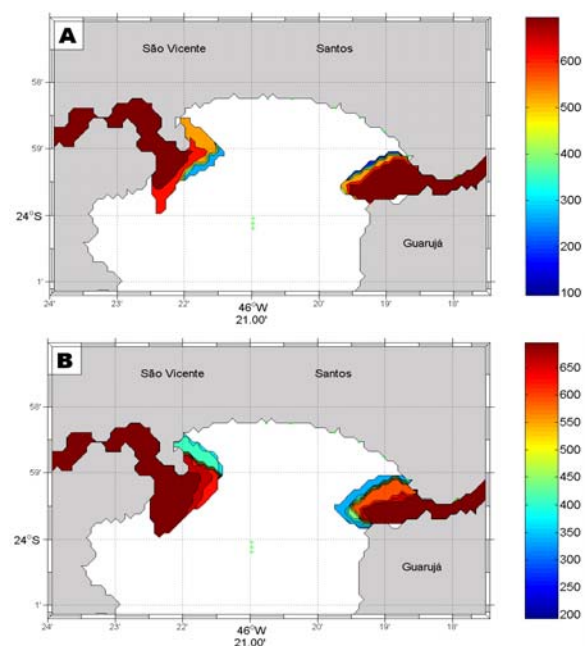


Figura 8 - Número de horas no mês em que a região ficou sob influência de concentração igual ou superior a 100 Coliformes (NMP/100mL), em dezembro/2006 (“A”) e janeiro/2007 (“B”) (na superfície), a partir dos canais estuarinos

Para as fontes de poluentes nos canais estuarinos de Santos e São Vicente, as condições mais críticas foram as calculadas para dezembro de 2006 e janeiro de 2007, cujos resultados são apresentados nas figuras 7 e 8. Para esses dois meses, a modelagem indicou valores máximos correspondentes a  $1,78 \times 10^9$  coliformes (NMP/100 ml) e 730 horas, para concentrações a partir das fontes poluentes dos canais estuarinos.

## Emissário Submarino de Santos

Ao considerar a fonte de poluição no emissário submarino de esgotos, a situação extrema foi encontrada em abril de 2006, cujos resultados são apresentados nas figuras 9 e 10, com máximos de  $1 \times 10^8$  coliformes (NMP/100 ml) e 715 horas.

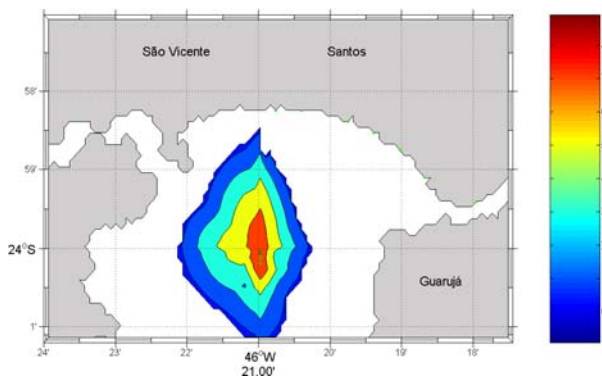


Figura 9 – Concentrações médias, em escala logarítmica, referentes ao mês de abril/2006 (na superfície), a partir do emissário submarino de esgotos

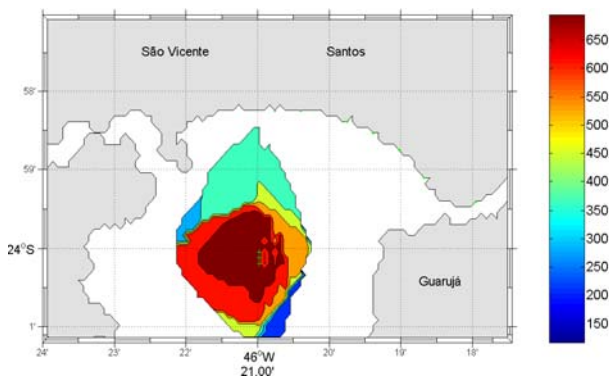


Figura 10 - Número de horas no mês em que a região ficou sob influência de concentração igual ou superior a 100 Coliformes (NMP/100mL), em abril/2006 (na superfície), a partir do emissário submarino de esgotos

A figura 11 demonstra a esquematização dos valores de comprimento (Distância DNS) e largura de pluma (Distância DLO) e distância entre a pluma e a praia (Distância DPP), na modelagem da dispersão a partir do emissário submarino de esgotos, bem como os valores médios mensais dessas distâncias, no decorrer dos anos processados.

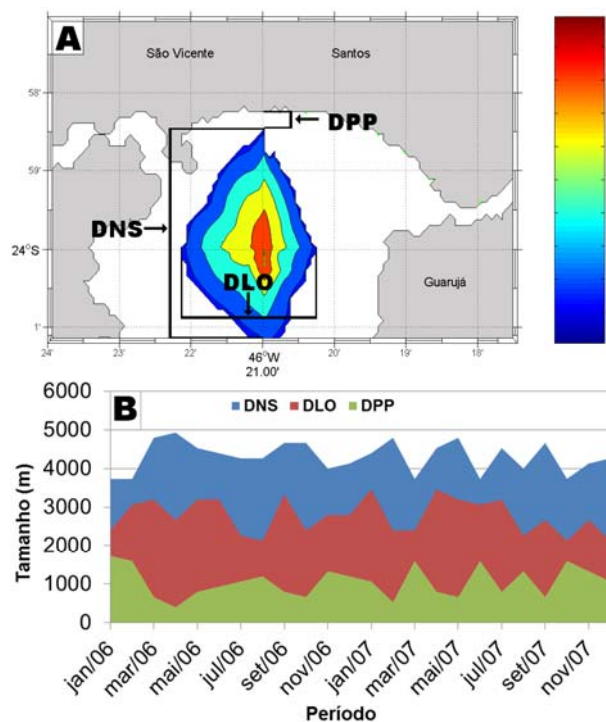


Figura 11 – Esquematização de comprimento e largura das plumas do emissário, bem como a distância pluma – praia (“A”). Valores mensais de DNS, DLO e DPP atingidos no decorrer de 2006 e 2007 (“B”)

#### Correlação: Dispersão X Hidrodinâmica

Os resultados da correlação da dispersão (comprimento da pluma) com a hidrodinâmica (intensidade de corrente no emissário), para os dados dos anos de 2006 e 2007, apresentaram valor de 73% com defasagem zero. A maior correlação entre os dados foi observada com -2 horas de defasagem, com valor de 88%, para um intervalo de confiança de  $\pm 2\%$  (Figura 12).

Os resultados mostram que a dispersão da pluma de esgoto demora 2 horas para completar a resposta ao efeito da corrente marinha. Na correlação obtida, é notória a existência de um ciclo de correlação, gerado pela influência da maré no processo de dispersão do esgoto (Figura 12).

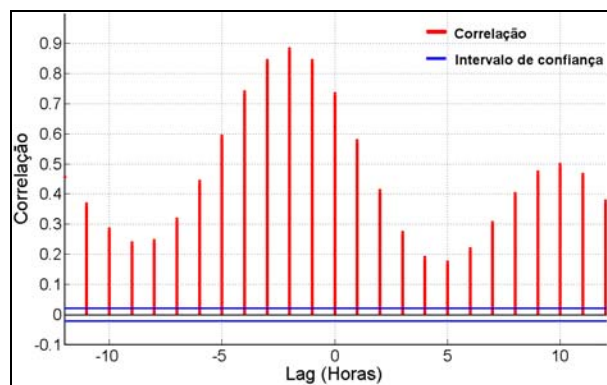


Figura 12 – Correlações de dados de dispersão de esgoto e hidrodinâmica, com defasagens (“lags”) em horas

## CONCLUSÕES

### Canais de Drenagem

As maiores plumas provenientes dos canais de drenagem foram observadas nos meses de maior precipitação, indicando uma relação direta entre a qualidade balnear das praias santistas e os índices pluviométricos; essa relação também foi observada por Sartor e Degaspari (2000).

O número de horas em que os canais de drenagem permaneceram abertos, como também a especificação de que canais foram abertos, influenciaram diretamente no tamanho e forma da área impactada pelas águas de má qualidade provenientes dos canais.

A falta de mecanismo de comporta bloqueando as descargas provenientes do canal 7 produz um efeito crônico de contaminação sobre as águas do canal do porto (Canal de Santos), pois em 100% do tempo a região apresentou concentrações iguais ou superiores a 100 coliformes (NMP/100 mL); note-se que mesmo o limite da Resolução CONAMA 274/2000, de 1000 coliformes (NMP/100 mL) foi por diversas vezes ultrapassado na região do canal 7, no decorrer dos processamentos, em função de seu lançamento contínuo de esgoto.

A hidrodinâmica costeira, principalmente a maré, influencia bastante a dispersão das plumas provenientes dos canais 3, 4, 5, 6 e 7, tendo menor influência nos canais 1 e 2.

### Canais Estuarinos

Em vários períodos a pluma do Canal de São Vicente impacta a Praia da Ilha Porchat. Por outro lado, o Canal de Santos influencia a qualidade

da Ponta da Praia, e pode chegar a influenciar até a praia seguinte, Praia da Aparecida. A Praia do Góes também recebe influência da pluma de contaminante lançada pelo Canal de Santos (ver localização das praias na Figura 1).

Devido à circulação costeira, as plumas formadas pelos canais estuarinos apresentam tendência de dispersão para Sul, na direção do mar aberto, porém, na ocorrência de fenômenos meteorológicos associados a frentes frias, pode ocorrer dispersão para Norte, na direção das praias.

### **Emissário Submarino de Santos**

As dimensões laterais da pluma do Emissário Submarino de Santos têm tendência de menores valores, se comparadas às de comprimento. Isto indica uma menor diluição Leste-Oeste do contaminante se comparado à diluição na direção Norte-Sul, certamente devido à influência das correntes, que atuam mais intensamente na direção Norte-Sul.

De fato, correntes mais intensas e duradouras na direção Norte-Sul foram responsáveis pelos maiores comprimentos de pluma; essas correntes são geradas por influência de fenômenos meteorológicos extremos, como por exemplo frentes frias.

No período analisado (os anos de 2006 e 2007) as dimensões médias das plumas com valores iguais ou superiores a 100 coliformes (NMP/100mL) não alcançaram as praias, chegando no máximo a 400 m das mesmas.

As concentrações médias fornecidas pelo modelo de dispersão apresentaram a mesma ordem de grandeza de medições realizadas na Baía de Santos pelo Projeto Cirsan (SARTOR; DEGASPARI; FERREIRA, 2008) e experimentos de modelagem na Baía e estuário do Projeto Ecomanage (NEVES; BARETTA; MATEUS, 2008). Isto demonstra a potencialidade da modelagem hidrodinâmica e de dispersão na avaliação da qualidade da água da Baía de Santos, bem como a qualidade das simulações realizadas.

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Considerando os resultados obtidos por esse estudo, pode-se afirmar que a balneabilidade das praias do Município de Santos recebe maior influência do material lançado pelos canais de drenagem do que pelas demais fontes modeladas.

Isso se deve à presença desses canais na face das praias, lançando suas águas com presença de esgoto diretamente nas mesmas. A abertura das comportas para liberação das águas do interior dos canais, em direção ao mar, inviabiliza as praias para uso de contato primário (recreação, prática de natação e esportes aquáticos), prejudicando o lazer nas praias santistas; por outro lado, caso não sejam abertas as comportas, os canais transbordam, poluindo as praias da mesma forma. Atualmente, a Sabesp realiza um programa de remoção dos esgotos lançados nos canais de drenagem, chamado “Canal Limpo”, que foi iniciado em 2009, no canal 4. Com esse programa se espera minimizar os problemas da má qualidade das águas dos canais de drenagem.

Por outro lado, o fato do canal 7 não possuir comporta de fechamento faz com que se torne uma fonte permanente de poluentes para as águas do Canal de Santos.

No caso das praias de São Vicente, as principais fontes de contaminação são os canais de drenagem e o canal estuarino de São Vicente. Evidentemente, as áreas das desembocaduras dos canais estuarinos de Santos e São Vicente são diretamente afetadas pelas águas de má qualidade provenientes das áreas interiores do estuário.

No período analisado, a pluma proveniente do emissário submarino de esgotos praticamente não alcançou nenhuma das praias de Santos e São Vicente, ficando a uma distância mínima de 400 m das mesmas.

As concentrações médias fornecidas pelo modelo de dispersão apresentaram a mesma ordem de grandeza de medições na Baía de Santos e experimentos de modelagem de outros autores (NEVES; BARETTA; MATEUS, 2008), o que demonstra a potencialidade da modelagem hidrodinâmica e de dispersão na avaliação da qualidade das águas da Baía de Santos, bem como a qualidade das simulações realizadas.

### **REFERÊNCIAS**

- BLUMBERG, A. F.; MELLOR, G. L. A Description of a Three Dimensional Coastal Ocean Circulation Model. In: HEAPS, N. S. (Ed.). *Three-dimensional Coastal Ocean Models*. Washington, D. C.: American Geophysical Union, 1987. p. 1-16. v. 4: Coastal and Estuarine Sciences 4.
- BRAGA, E. S.; FONSECA, A. L. D. O.; BOSQUILHA, G. E.; DUCATTI, G. M.; AGUIAR, V. M. C.; LIMA, C. A. C.; ARASAKI, E. Eutrophication and Bacterial

Pollution Assessment Risks on the Santos Bay's Sandy Beaches (Brazil): Influence of Seasonal Conditions. *Journal of Coastal Research*, v. 35, n. SI, p. 516-524, 2003.

CAMARGO, R.; HARARI, J. Modelagem numérica de ressacas na plataforma sudeste do Brasil a partir de cartas sinóticas de pressão atmosférica na superfície. *Boletim do Instituto Oceanográfico da USP*, v. 42, n. 1, p. 19-34, 1994.

CAMARGO, R.; HARARI, J. Operational forecast of surges in the Southwestern Atlantic. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON OFFSHORE MECHANICS AND ARCTIC ENGINEERING, 20., 2001, Rio de Janeiro, BR. *Proceedings...*

CAMARGO, R.; HARARI, J.; FRANÇA, C. A. S. Downscaling the ocean circulation on Western South Atlantic: hindcasting, monitoring and forecasting purposes In: *International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography*, 8., 2006, Foz do Iguaçu, BR. *Proceedings...* p. 507-511.

CETESB. *Relatório de Qualidade das Águas Litorâneas do Estado de São Paulo - 2007: Balneabilidade das praias*. São Paulo: CETESB, 2008.

COHEN, J. E.; SMALL, C.; MELLINGER, A.; GALLUP, J.; SACHS, J. D. Estimates of Coastal Populations. *Science*, v. 278, n. 5341, p. 1211-1212, 1997.

FERREIRA, J. A. *Estudo das associações de anelídeos Polychaeta da Baía de Santos e Plataforma Continental Adjacente (SP, Brasil) e suas inter-relações com parâmetros físicos e geoquímicos estruturadores*. 2008. 204 p. Tese (Doutorado) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/21/21131/tde-29062009-144234>>. Acesso em: 14 dez. 2009.

HARARI, J.; CAMARGO, R. Modelagem numérica da região costeira de Santos (SP): circulação de maré. *Revista Brasileira de Oceanografia*, v. 46, n. 2, p. 135-156, 1998.

HARARI, J.; CAMARGO, R. Numerical simulation of the tidal propagation in the coastal region of Santos (Brazil, 24°S 46°W). *Continental Shelf Research*, v. 23, n. 16, p. 1597-1613, 2003.

HARARI, J.; CAMARGO, R. Simulação da

propagação das nove principais componentes de maré na plataforma sudeste brasileira através de modelo numérico hidrodinâmico. *Boletim do Instituto Oceanográfico da USP*, v. 42, n. 1, p. 35-54, 1994.

HARARI, J.; CAMARGO, R.; FRANÇA, C. A. S.; MESQUITA, A. R.; PICARELLI, S. S. Numerical modeling of the hydrodynamics in the coastal area of Sao Paulo State – Brazil. *Journal of Coastal Research*, v. SI 39, p. 1560-1563, 2006.

HARARI, J.; GORDON, M. Simulações numéricas da dispersão de substâncias no Porto e Baía de Santos, sob a ação de marés e ventos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 6, n. 2, p. 115-131, 2001.

KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; COLLINS, W.; DEAVEN, D.; GANDIN, L.; IREDELL, M.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J.; ZHU, Y.; LEETMAA A.; REYNOLDS, R. The Ncep/Ncar 40-year reanalysis project. *Bulletin American Meteorological Society*, v. 77, n. 3, p. 437-470, 1996.

LAMPARELLI, C. C. Desafios para o licenciamento e monitoramento ambiental de emissários: a experiência de São Paulo. In: LAMPARELLI, C. C.; ORTIZ, J. P. *Emissários submarinos: projeto, avaliação de impacto ambiental e monitoramento*. São Paulo: CETESB, 2007. v. 1, cap. 1, p. 11-23.

LAMPARELLI, C. C.; ORTIZ, J. P. *Emissários Submarinos: projeto, avaliação de impacto ambiental e monitoramento*. São Paulo: CETESB, 2007. v. 1.

MELLOR, G. L. *A three-dimensional, primitive equation, numerical ocean model – user's guide*. Princeton: Princeton University, 1998. (Internal report, 41).

NEVES, R.; BARETTA, J.; MATEUS, M. *Perspectives on integrated coastal zone management in South America*. São Paulo: IST Press, 2008.

ORTIZ, J. P.; ARASAKI, E.; MARCELLINO, E. B. Visão geral dos emissários submarinos no Litoral Paulista. In: LAMPARELLI, C. C.; ORTIZ, J. P. *Emissários Submarinos: projeto, avaliação de impacto ambiental e monitoramento*. São Paulo: CETESB, 2007. v. 1. cap. 2, p. 25-42.

SARTOR, S. M.; DEGASPARI, F. A. A Balneabilidade das Praias de Santos - Discussão dos Critérios Oficiais de Avaliação. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA

Y AMBIENTAL, 28., 2000, Porto Alegre, RS. *Anais ...* 2000. v. 1.

SARTOR, S. M.; DEGASPARI, F. A.; FERREIRA, F. R. *Análise da variabilidade sazonal da circulação do Estuário de Santos (SP) – CIRSAN*. São Paulo, Brasil: [s.n.], 2008.

SOUSA, S. A. G. T. *Modelo Matemático de Mortalidade de Bactérias Coliformes em Águas Costeiras*. 2008. 80 p. Dissertação (Mestrado) - Ecologia, Gestão e Modelação de Recursos Marinhos, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2008.

SP NOTÍCIAS. Mega operação da Onda Limpa instala prolongamento do emissário submarino em Santos. Portal do Governo do Estado de São Paulo, 06 de novembro de 2009. SP Notícias. Disponível em: <<http://www.saopaulo.sp.gov.br/spnoticias/lenoticia.php?id=205859>>. Acesso em: 22 dez. 2009.

YUKSELEN, M. A.; CALLI, B.; GOKYAY, O.; SAATCI, A. Inactivation of coliform bacteria in Black Sea waters due to solar radiation. *Environment International*, v. 29, n.1, p. 45-50, 2003.

*quality of water in Santos Bay, and also the quality of the simulations performed.*

**Key-words:** Modeling; Sewage; Santos Bay; Sanitation.

## ***Numerical Modeling Of Hydrodynamics And Sewage Dispersion In Santos Bay, SP***

### **ABSTRACT**

*Littoral zones are economically and socially very important places, and usually subject to different types of impact, including the discharge of sewage without appropriate treatment. The present study aims at relating contamination by sewage in the water to the hydrodynamics of Santos Bay, São Paulo, Brazil. showing the results on maps that indicate sewage dispersion. For this purpose, three-dimensional hydrodynamic and dispersion models were implemented, which were processed for the years of 2006 and 2007, to simulate the currents and distribution of pollutants. The sources of contaminant were the drainage canals of the Municipality of Santos, the estuarine channels of Santos and São Vicente, and , finally, the Marine Outfall for Sewage in Santos. The results showed that the greatest source of influence for batheability at the beaches of the Municipality of Santos is not the marine outfall, but rather the drainage canals. The mean concentrations supplied by the dispersion model presented the same order of magnitude in measurement in Santos Bay, which demonstrates the potential of hydrodynamic modeling and dispersion in assessing the*