



Disposição Oceânica através de emissários submarinos para comunidades com menos de 50 mil habitantes.

Jayme Pinto Ortiz ¹, Robinson Siqueira García ² e Jacqueline Pedrera Yanes ³

¹ Professor Doutor – Livre Docente, Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da USP, São Paulo-SP, Brasil. Professor Pleno, Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul-SP, Brasil, jportiz@usp.br

² Aluno de Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da USP, São Paulo-SP, Brasil, robin17sg@gmail.com

³ Mestre em Engenharia Mecânica, Aluna de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da USP, São Paulo-SP, Brasil, j.pedrera@usp.br

Palavras-chave: disposição oceânica, efluentes domésticos, modelação hidrodinâmica.

Tema: Água e meio ambiente pela busca do balanço entre as necessidades do homem e dos ecossistemas terrestres e aquáticos

Tipo de comunicação: Oral

RESUMO

O serviço de esgotamento sanitário nas cidades brasileiras, principalmente nas áreas costeiras, tem sérias deficiências tanto na coleta quanto no tratamento do esgoto coletado devido a um histórico de falta de investimento em infra-estrutura sanitária. Essa deficiência nos sistemas de coleta, afastamento e tratamento adequado para o esgoto sanitário no litoral, somada ao surgimento de populações novas e o crescimento acelerado das mesmas, além do incremento da população flutuante em época de férias, gera graves problemas sócio-ambientais e econômicos.

Um dos principais problemas é o lançamento de efluente sanitário sem tratamento prévio, causando a poluição do corpo d'água marinho próximo à costa ou mesmo de rios e estuários, podendo afetar a balneabilidade do corpo da água e a qualidade de seu uso para outras atividades econômicas ou para o abastecimento.

Uma das soluções técnicas possíveis para mitigar esse problema é o uso da disposição oceânica através de emissários submarinos. Essa tem sido uma solução usada há décadas para grandes cidades litorâneas por ter uma menor relação custo-benefício de implantação *per capita* de efluente lançado, em comparação com outros métodos de tratamento de esgotos. Embora para comunidades menores a relação custo-benefício já não seja favorável devido ao alto custo de construção, atualmente, a utilização de material polimérico e a modernização dos métodos construtivos, têm permitido que pequenas comunidades disponham de recursos para construir emissários relativamente longos.

No entanto, a análise técnica dessa opção deve ser acompanhada de uma análise de impacto ambiental na região de implantação do sistema de disposição oceânica, objetivando diminuir possíveis impactos ambientais negativos e permitindo a adequação à legislação vigente em termos de balneabilidade e concentrações de poluente. Uma importante ferramenta que pode ser usada com esse intuito é a modelagem computacional hidrodinâmica na região de descarga do efluente.

Nesse trabalho mostra-se a utilização da modelagem hidrodinâmica para estabelecer o diagnóstico do comportamento de um sistema de emissário a partir da observação da evolução da pluma e da verificação do comprometimento da qualidade da água, na faixa costeira do Estado de São Paulo, na praia de Boracéia, em Bertioga.

INTRODUÇÃO



A situação dos serviços de coleta e tratamento do efluente sanitário das cidades brasileiras está muito aquém das necessidades da população. Esse problema é observado com frequência em cidades costeiras, onde grande parte dos recursos financeiros provém do serviço de turismo. Essa falha do serviço de saneamento, em geral, acontece devido a uma histórica falta de política de investimento em infra-estrutura sanitária. Esse problema é mais notável nos municípios de baixa população, submetidos a uma ocupação urbana sem controle efetivo das autoridades municipais e estaduais.

O Brasil tem, aproximadamente, 24% da população habitando em regiões costeiras (IBGE, 2012). No Estado de São Paulo 5,3% da população (IBGE, 2010) concentra-se em aproximadamente 620 quilômetros de costa paulista, estando essa população concentrada principalmente na região da baixada santista.

Observando dados disponíveis do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNSA, 2012), tem-se que o índice de esgoto tratado para cidades litorâneas paulistas com menos de 100 mil habitantes é menor do que 50%. A única exceção é a cidade de Iguape, com 57,6% como mostrado na tabela 1.

Tabela 1 – Índices de tratamento de esgoto e de distribuição da rede de esgoto. Fonte dos índices: SNSA, 2012.
Fonte da população: IBGE, 2010.

Cidade	Índice de tratamento de esgoto IN46	Índice de abastecimento de rede de coleta de esgoto IN56	População
	2010	2010	2010
Santos	76,8	100,0	419.400
São Vicente	57,3	71,6	332.445
Guarujá	52,5	63,7	290.572
Praia Grande	42,1	58,4	262.051
Cubatão	29,6	34,2	118.720
Caraguatatuba	45,9	55,5	100.840
Itanhaém	13,7	20,1	87.057
Ubatuba	25,7	34,5	78.801
São Sebastião	49,3	49,3	73.942
Peruíbe	28,0	51,3	59.773
Bertioga	21,4	41,9	47.645
Mongaguá	23,4	44,3	46.293
Iguape	57,6	49,9	28.841
Ilhabela	7,1	5,1	28.196
Cananéia	44,9	46,9	12.226
Ilha Comprida	31,9	30,9	9.025

Para regiões costeiras, uma das soluções de engenharia empregadas para o tratamento e encaminhamento do esgoto é a disposição oceânica, através de emissários submarinos. Segundo Ortiz e Arasaki (2006) as vantagens desse método podem se resumir em: menor custo de implantação, operacional e de manutenção do sistema; menor impacto visual e menores problemas de odor na estrutura em terra, quando comparado com os métodos convencionais de tratamento de esgoto; menores problemas com a disposição do lodo. Porém suas principais desvantagens são: a dificuldade da construção e manutenção do emissário; a perda da qualidade da água no local do lançamento e a necessidade de contínuo monitoramento.

Ainda levando em conta o custo, segundo Ortiz e Arasaki (2006), essa solução é atrativa para grandes cidades, por ter uma menor relação custo de implantação *per capita* de efluente lançado, em comparação com outros métodos de tratamento de esgoto, porém, para comunidades com menor população, essa



relação pode não ser tão vantajosa. No entanto, atualmente, a utilização de material plástico (por exemplo, polietileno de alta densidade) e a modernização dos métodos construtivos têm permitido que pequenas comunidades disponham de recursos para executar emissários relativamente longos e empregar mão de obra local (Reiff, 2002).

Para o projeto de um sistema de disposição oceânica, é necessária a avaliação de condicionantes ambientais que podem interferir na dispersão da pluma de efluente no corpo hídrico. Esse processo é influenciado por ondas, marés e correntes oceânicas; pela batimetria; por condicionantes meteorológicas e pelo perfil de densidade do local. Também deve ser levado em conta, para contaminantes não conservativos (como coliformes termotolerantes), sua taxa de decaimento em função da localidade, verificando se as condições necessárias de lançamento do efluente atendem os requisitos ditados pela legislação ambiental vigente.

Descrição da região estudada

A cidade de Bertioga, pertencente à Região Metropolitana da Baixada Santista está localizada na região do litoral norte paulista. A cidade tem uma área de 482 km², com 45 km de costa, sendo 36 km de praia e 9 km de costão (Alves, 2009). De acordo com o SNSA (2012), 41,9% da população é assistida por rede de esgoto e apenas 21,4% do esgoto coletado é efetivamente tratado. (tabela 1)

O condomínio Morada da Praia está localizado na região de Boracéia (figura 1), perto da divisa dos municípios de Bertioga e São Sebastião e é cortado pelo rio Vermelho, pertencente à bacia do rio Guaratuba, que nasce no Parque Estadual da Serra do Mar (figura 2).

O esgoto coletado do condomínio Morada da Praia não passa por um tratamento adequado e é lançado nestes rios, ato que denigre a qualidade da água e de toda a praia. O tratamento de esgoto da região restringe-se a construção de fossas individuais, sem controle ambiental.



Figura 1 – Imagem da região de Boracéia e, em destaque, o condomínio Morada da Praia (Fonte: www.novomilenio.inf.br).

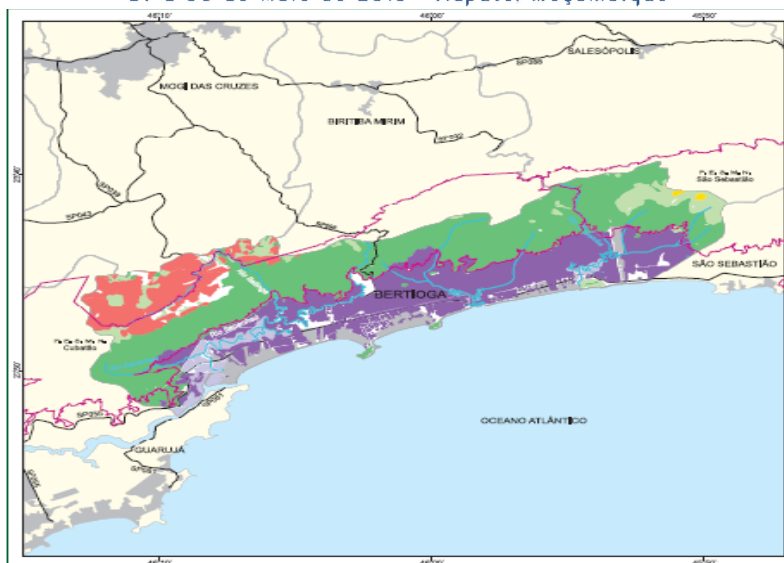


Figura 2 – Mapa da cidade de Bertioga e seu entorno, onde, ao norte, temos o parque Estadual da Serra do Mar.

Fonte: Instituto Florestal (São Paulo, 2005).

Padrões de qualidade da água

As principais legislações brasileiras que legislam sobre a qualidade das águas são as resoluções CONAMA 274(2000) e CONAMA 357(2005), atualizadas pelas resoluções CONAMA 397(2008) e CONAMA 430(2011). A resolução CONAMA 274 (CONAMA, 2000) dita sobre a balneabilidade do corpo hídrico, estabelecendo critérios de avaliação de qualidade da água para corpos hídricos em que haja recreação de contato primário, distinguindo-se as condições de próprias e impróprias. Na tabela 2, apresentam-se esses critérios, baseados na quantidade de coliformes termotolerantes nas amostras.

Tabela 2 – Resumo das condições de balneabilidade conforme a Resolução CONAMA 274 (2000)

Categoria		Coliformes termotolerantes (UFC/100ml)	Escherichia coli (UFC/100ml)	Enterococos (UFC/100ml)
Própria	Excelente	Máximo de 250 em mais de 80% do tempo	Máximo de 200 em mais de 80% do tempo	Máximo de 25 em mais de 80% do tempo
	Muito Boa	Máximo de 500 em mais de 80% do tempo	Máximo de 400 em mais de 80% do tempo	Máximo de 50 em mais de 80% do tempo
	Satisfatória	Máximo de 1000 em mais de 80% do tempo	Máximo de 800 em mais de 80% do tempo	Máximo de 100 em mais de 80% do tempo
Imprópria		Superior de 1000 em mais de 20% do tempo	Superior de 800 em mais de 20% do tempo	Superior de 100 em mais de 20% do tempo
		Maior do que 2500 na ultima medição	Maior do que 2000 na ultima medição	Maior do que 400 na ultima medição

A Resolução CONAMA 357 (CONAMA, 2005) dispõe sobre a classificação dos corpos hídricos em função do uso do recurso e da salinidade. Em função da classificação, a resolução define padrões de qualidade da água para cada classe, de acordo com características físico-químicas do corpo hídrico. Ela também regulamenta o lançamento de efluentes, determinando condições de lançamento e padrões de concentração para o lançamento.

Atualmente, o lançamento de efluentes é regulamentado pela resolução CONAMA 430 (CONAMA, 2011). Essa resolução dita que o lançamento do efluente não deve conferir ao corpo receptor características de qualidade em desacordo com as metas obrigatórias de seu enquadramento. Porém, nessa mesma resolução, está prevista uma zona de mistura onde podem ser admitidas concentrações em desacordo



11º Simposio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Expressão Portuguesa. XI Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa

11º SILUSBA
Zonas Costeiras 2013

27 a 30 de Maio de 2013 - Maputo, Moçambique

com os padrões de qualidade estabelecidos. A resolução 430 incorpora, portanto, conceitos da disposição oceânica através de emissários submarinos.

OBJETIVO

O objetivo desse trabalho é realizar um estudo envolvendo a modelagem hidrodinâmica da região litorânea da praia de Boracéia, no município de Bertioga, para verificar a viabilidade técnica e ambiental de um sistema de disposição oceânica de efluentes domésticos, provindos de uma pequena comunidade (menor do que 50.000 habitantes). Deve-se, portanto, observar o comportamento do encaminhamento do poluente e a região impactada, além de verificar a qualidade das águas costeiras com a implantação do sistema.

Busca-se estabelecer o diagnóstico do comportamento do sistema a partir da observação da evolução da pluma e da verificação do comprometimento da qualidade da água na faixa costeira, delimitada a 300 metros da costa. Eventuais impactos da pluma na região da ilha do Montão de Trigo, ao sul da região estudada, deverão também ser verificados.

METODOLOGIA

De acordo com Marcelino e Macedo (2006), na fase de estudo preliminar de viabilidade de projeto de disposição oceânica, são necessários:

- a) avaliação ambiental da macro-região;
- b) consulta às cartas náuticas e a Capitania dos Portos;
- c) consulta a estudos oceanográficos, geológicos e geotécnicos;
- d) consultas a trabalhos científicos (Universidades, ONG's, etc);
- e) verificação de impeditivos legais, zona de importância ecológica e de aquicultura;
- f) dados oceanográficos adicionais e;
- g) consulta à comunidade (pescadores, surfistas, ONG's etc).

Para seguir com essas premissas, buscou-se a compreensão conceitual e de utilização dos modelos computacionais disponíveis para a aplicação. Além disso, buscou-se também a compreensão da metodologia desenvolvida para o dimensionamento de emissários submarinos, baseada na dispersão necessária para obedecer às legislações vigentes.

Na quantificação do lançamento, estimou-se a vazão lançada pelo emissário, considerando a população projetada de 25000 habitantes, com o consumo per capita de 200 litros/dia e um coeficiente de retorno igual à unidade, resultando uma vazão constante de 58 litros por segundo. O nutriente utilizado como padrão foi o fósforo, com concentração no ponto de lançamento de 5 mg/l. Para a modelagem hidrodinâmica da região, utilizou-se a suíte Delft3D, conjunto de *software* de modelos integrados flexíveis, que pode realizar simulações hidrodinâmicas de regiões costeiras, rios e estuários. Esse *software* permite simulações de fluxo, ondas, advecção e dispersão, transporte de sedimentos e morfologia, além de qualidade da água e ecologia, em modelos bidimensionais ou tridimensionais. No estudo aqui apresentado, foi feita a simulação bidimensional com o módulo Delft3D-FLOW (Deltares, 2011).

Na modelagem da batimetria, entrou-se com os dados de cartas náuticas da região para criar a malha. Usou-se, na representação do local, células bidimensionais de dimensões aproximadas de 100x100 metros (figura 3). Para as entradas de maré, nas bordas Leste do modelo, entrou-se com as constantes harmônicas, determinadas pelos marégrafos localizados no Porto de São Sebastião e no Leste de Ilhabela (Saco do Sombrio) disponibilizadas pela Marinha do Brasil na internet. Pare efeito de comparação e calibração, usaram-se os dados de maré da Ilha do Montão de Trigo, obtidos pelo mesmo



procedimento acima citado. Na borda Oeste, obteve-se junto ao Instituto Oceanográfico, a partir de seus modelos, uma série temporal dos anos 2004 e 2005, com intervalo de tempo de 1 hora. A borda inferior da malha foi considerada, para efeito de modelagem, fechada.

Os valores adotados de vazão para os rios que chegam à região estudada foram extraídos do relatório da Agência Nacional de Águas (ANA, 2001), usando-se as vazões médios anuais. Em relação à entrada de salinidade e temperatura, aplicaram-se valores constantes de 34,6 ppt (águas marinhas), 5 ppt (para as águas dos rios) e temperatura constante de 22,75°C. O período simulado no modelo hidrodinâmico para estudo nesta etapa foi de 31 dias (de 01/07/2005 a 31/07/2005) tendo-se analisado o comportamento hidrodinâmico da pluma em posições previamente escolhidas como possíveis locais de lançamento: a 1800 e 4000 metros da costa, para efeito de comparação. Os resultados de concentração foram comparados com o valor estipulado pela resolução CONAMA 357/2005, que estabelece para águas salinas de classe 1 uma concentração de 0,062 mg/l de fósforo total.

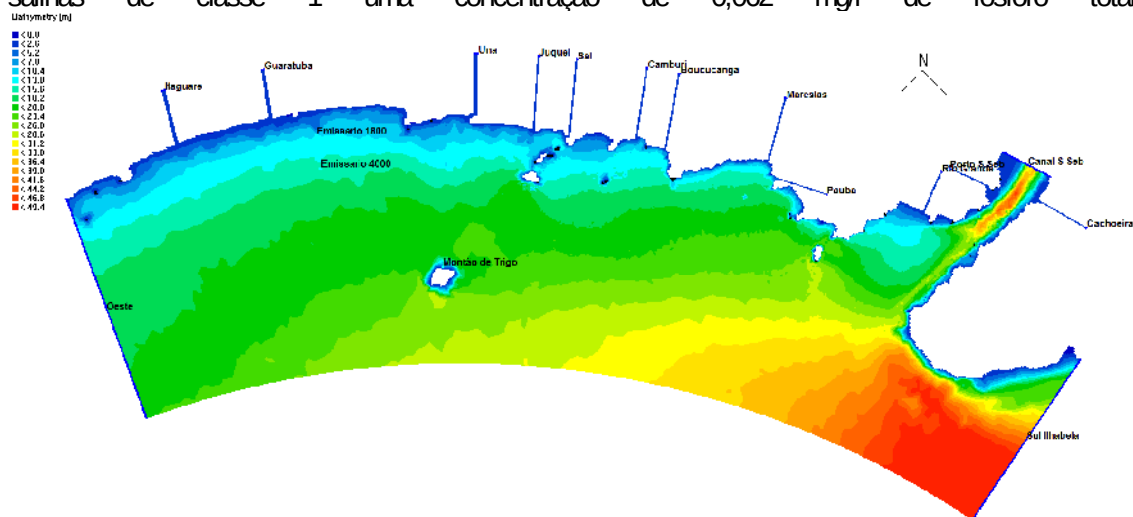


Figura 3 – Imagem da batimetria da região modelada, entre a enseada de São Lourenço e a ilha de São Sebastião.

PRINCIPAIS RESULTADOS:

A seguir, apresentam-se, nas figuras 4 a 7, as imagens dos resultados das concentrações de fósforo de alguns dos dias simulados para o lançamento a 1800 m (figuras 4 e 5) e a 4000 m (figuras 6 e 7) da costa. Nas figuras 8 e 9, apresentam-se as concentrações em função do tempo nos respectivos pontos de lançamento utilizados.

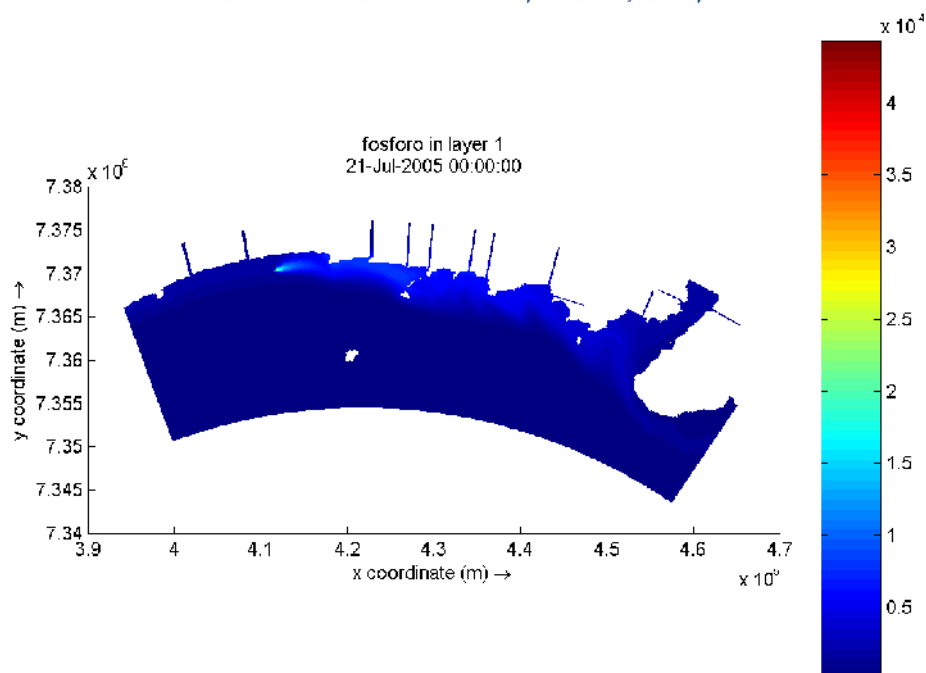


Figura 4 – Distribuição da concentração de fósforo, com o ponto de lançamento em 1800 m, após 21 dias simulados (valores da concentração em mg/l)

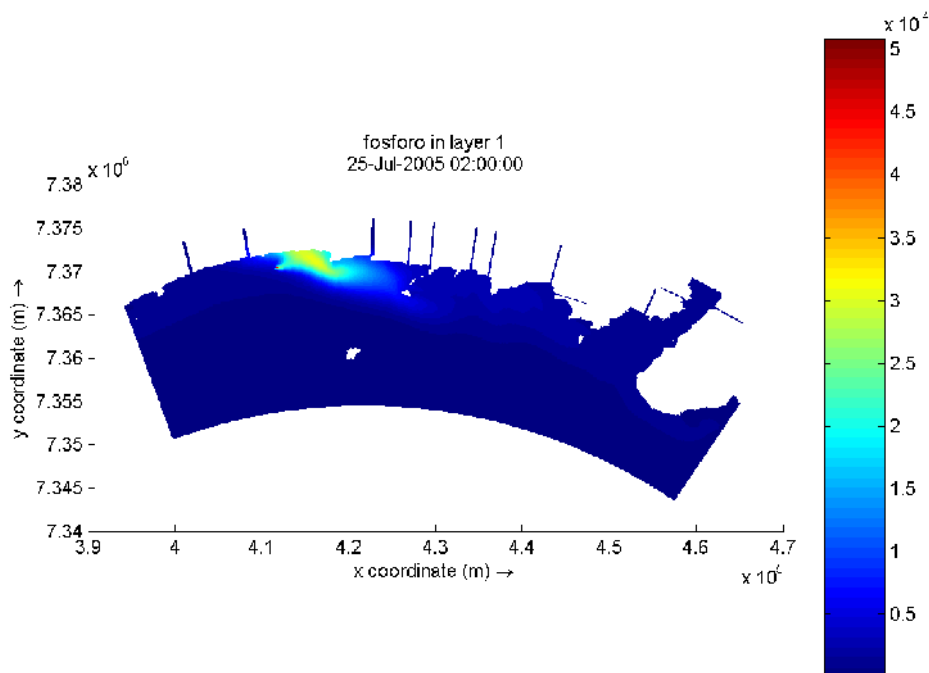


Figura 5 – Distribuição da concentração de fósforo, com o ponto de lançamento em 1800 m, após 25 dias simulados (valores da concentração em mg/l)

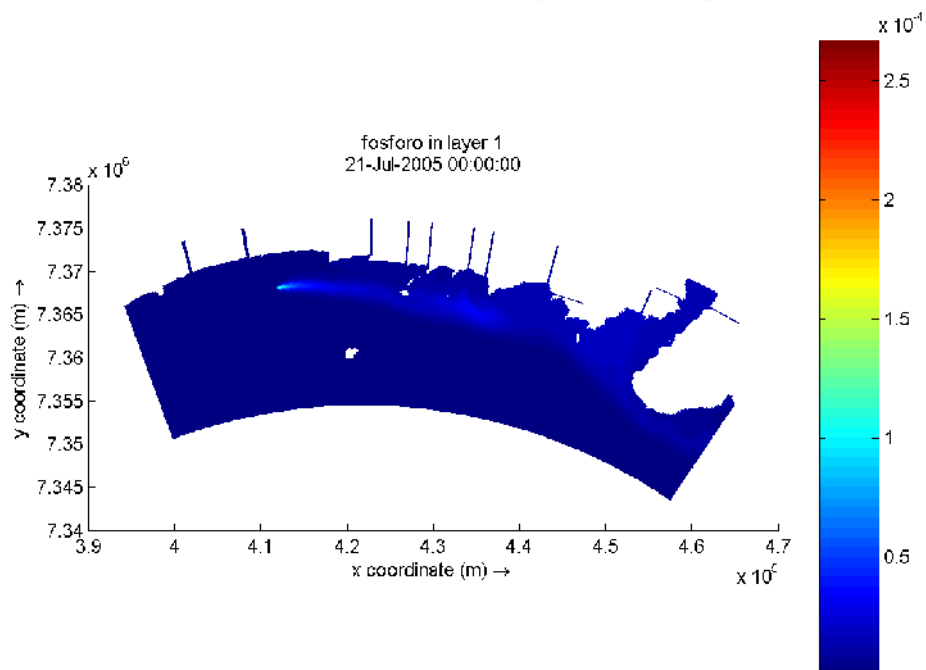


Figura 6 – Distribuição da concentração de fósforo, com o ponto de lançamento em 4000 m, após 21 dias simulados (valores da concentração em mg/l)

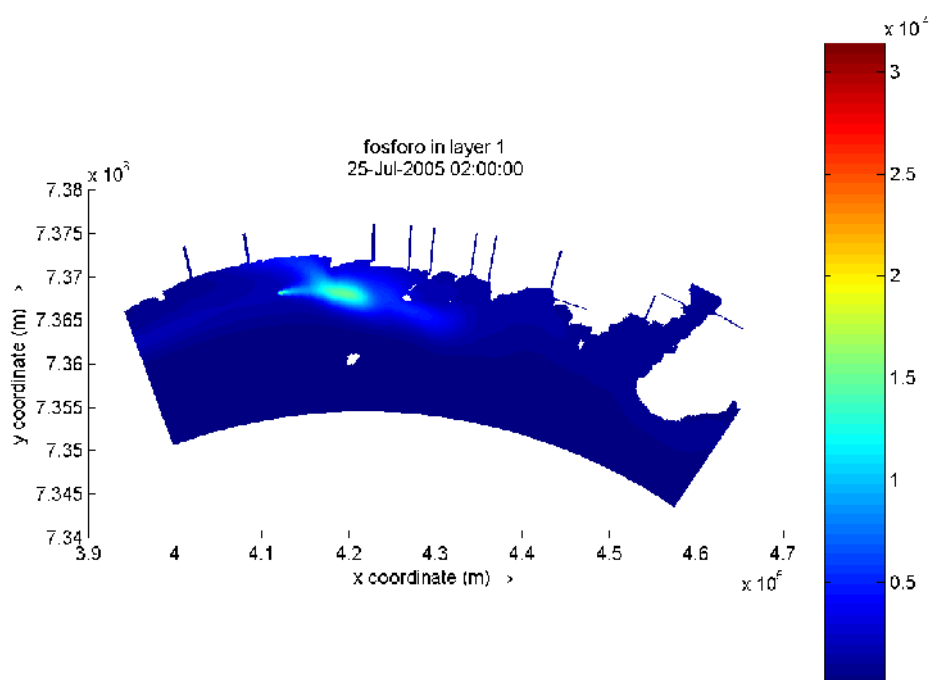


Figura 7 – Distribuição da concentração de fósforo, com o ponto de lançamento em 4000 m, após 25 dias simulados (valores da concentração em mg/l)



Concentração de Fósforo no ponto de lançamento - Lançamento a 1800 m

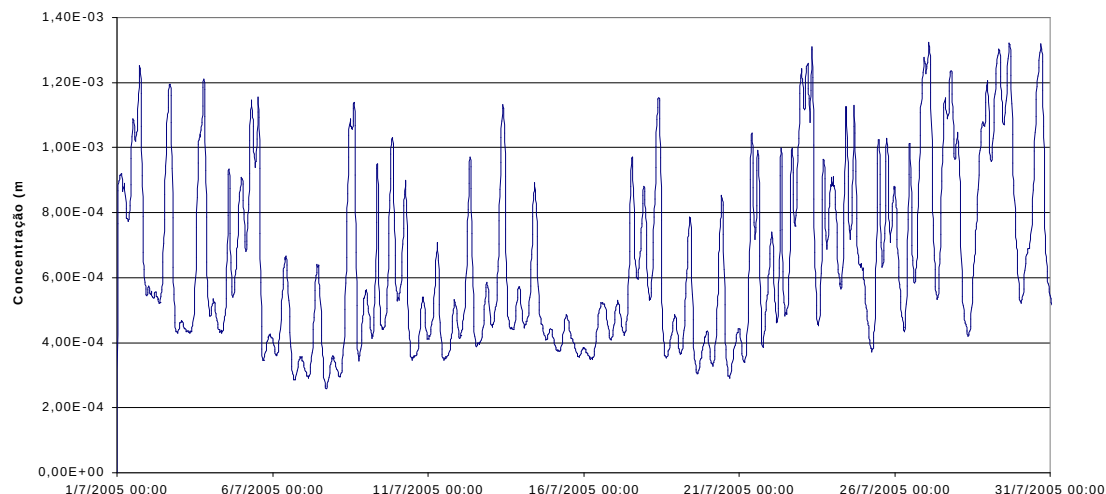


Figura. 8 – Concentração de fósforo no ponto de lançamento a 1800 m da costa

Concentração de Fósforo no ponto de lançamento - Lançamento a 4000 m

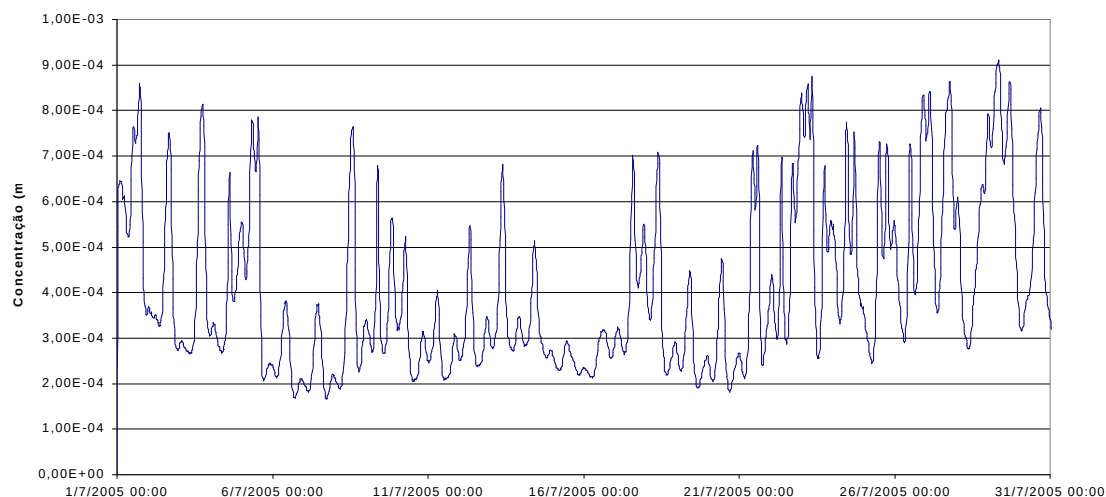


Figura 9 – Concentração de fósforo no ponto de lançamento, com o lançamento feito a 4000 m da costa.

DISCUSSÃO

Observa-se, pela baixa vazão do efluente disposto, que existe uma alta diluição já no ponto de lançamento, obedecendo imediatamente as concentrações limites estabelecidas na resolução CONAMA 357/2005 para águas salinas de classe 1 (ver figuras 8 e 9). Isso permitiria um ponto de lançamento mais próximo da costa, diminuindo-se o custo e a complexidade da implantação do emissário submarino no local. Porém, convém notar, que seria conveniente a modelagem tridimensional para a obtenção do processo de diluição da pluma ao longo da coluna d'água, particularmente nos casos de estratificação vertical do corpo hídrico. A despeito do nível baixo de concentrações, observou-se que a pluma, devido a corrente preferencialmente paralela à linha da costa no local de interesse, tende a ficar muito próxima da costa, quando do lançamento à 1800 m (figuras 4 e 5), sendo que com a extensão do emissário para 4000 m, há uma menor interação entre a pluma e a linha da costa (figuras 6 e 7).



Estudos posteriores de modelagem são previstos considerando a borda inferior da malha aberta e refinando a malha com células menores do que as adotadas nesse estudo. Além disso, novos estudos demográficos deverão ser incorporados, considerando o crescimento atual da região estudada, de modo a atualizar a capacidade de vazão volumétrica do emissário.

CONCLUSÕES

Observa-se, a princípio, o potencial técnico e ambiental da disposição oceânica de efluentes através de emissário submarino para atender as necessidades da população alvo desse estudo, devido à alta diluição resultante nas simulações apresentadas. Porém há a necessidade de um aprofundamento no estudo de modelagem, com a ampliação da base de dados e de informações da região.

Em futuro próximo pretende-se que essa ferramenta computacional possa fornecer subsídios importantes na tomada de decisão para a escolha de sistemas de tratamento de esgoto sanitário em comunidades litorâneas com populações inferiores a 50000 habitantes, tendo como opção a disposição oceânica através de emissários submarinos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES) e ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo, que suportam, respectivamente, os alunos de doutorado, J. P. Yanes, e de graduação, R. S. Garcia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, E. M. (2009) – O crescimento urbano do município de Bertioga inserido no debate sobre a sustentabilidade ambiental. Dissertação de mestrado pela Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP.
- ANA (2001) – Sinopse das Bacias Hidrográficas do Atlântico Sul, Volume II: Trecho Sudeste. Agência Nacional de Águas. Brasília, DF.
- CONAMA (2000) – Resolução CONAMA 274 – Conselho Nacional do Meio Ambiente, Ministério do Meio Ambiente, Brasil.
- CONAMA (2005) – Resolução CONAMA 357 – Conselho Nacional do Meio Ambiente, Ministério do Meio Ambiente, Brasil.
- CONAMA (2008) – Resolução CONAMA 397 – Conselho Nacional do Meio Ambiente, Ministério do Meio Ambiente, Brasil.
- CONAMA (2011) – Resolução CONAMA 430 – Conselho Nacional do Meio Ambiente, Ministério do Meio Ambiente, Brasil.
- DELTARES (2011) – Delft3D-FLOW: Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments - User Manual. Delft, Holanda.
- IBGE (2010) – Censo Demográfico, Ano 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Brasil.
- IBGE (2012) – Indicadores de Desenvolvimento Sustentável - Brasil 2012. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Brasil.
- INTERNET – Site <http://www.novomilenio.inf.br/bertioga/bnucleo04.htm>, acessado em 15/jan/2013, as 15:00
- MARCELINO, E. B., MACEDO, L. S. (2006) – Emissários Submarinos: Critérios de Localização e Minimização de Impactos no Meio Marinho. Workshop Emissários Submarinos: Projeto, Avaliação de Impacto Ambiental e Monitoramento. São Paulo, SP - CETESB.



11º SILUSBA
Zonas Costeiras 2013

11º Simposio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Expressão Portuguesa. VI Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa

27 a 30 de Maio de 2013 - Maputo, Moçambique

ORTIZ, J. P., ARASAKI, E. (2006) - Critérios de Decisão Aplicados aos Emissários Submarinos do Litoral Paulista. Workshop Emissários Submarinos: Projeto, Avaliação de impacto Ambiental e Monitoramento. São Paulo, SP - CETESB.

REIFF, F. M. (2002) - Small diameter (HDPE) submarine outfall. Division of Health and Environment. Pan American Sanitary Bureau, Regional of the World Health Organization – WHO. Washington, DC: WHO.

SABESP (2011) – Estudo preliminar de disposição oceânica dos esgotos de Boracéia, Município de Bertioga. Documento cedido pela SABESP. Acesso restrito.

SÃO PAULO (2005) – Inventário Florestal da vegetação natural do Estado de São Paulo. Instituto Florestal, Secretaria do Meio Ambiente – Imprensa Oficial.

SNSA (2012) – Diagnóstico de serviços de água e esgotos – 2010. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília, DF.