

Paula Birocchi

Estudo do impacto de efluentes dos emissários submarinos em áreas do canal de São Sebastião, SP

Plano de trabalho apresentado ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para o curso de Mestrado, no programa Oceanografia, área de concentração Oceanografia Física. Período: 2016/18

Orientador:

Prof. Belmiro Mendes de Castro Filho

São Paulo

Março 2016

Sumário

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Introdução | 1 |
| 1.1 | Área de Estudo | 3 |
| 1.2 | Hipótese | 5 |
| 1.3 | Objetivos | 5 |
| 1.3.1 | Objetivos específicos | 5 |
| 2 | Metodologia | 6 |
| 2.1 | O Modelo <i>sECOM</i> | 6 |
| 2.1.1 | Módulo de Trajetória de Traçadores ou Patógenos | 6 |
| 2.2 | Implementação do modelo | 8 |
| 2.3 | Validação | 8 |
| 2.4 | Viabilidade Operacional | 8 |
| 2.5 | Justificativa | 8 |
| 3 | Resultados esperados | 8 |
| 4 | Cronograma | 9 |
| | Referências | 10 |

1 Introdução

O canal de São Sebastião apresenta grande importância econômica, turística e ecológica para o Estado de São Paulo. Assim, o conhecimento da hidrodinâmica e dos processos físicos que ocorrem no local é importante para uma coordenação harmoniosa das atividades econômicas, sociais e turísticas com o meio ambiente, amenizando possíveis impactos ambientais. Um desses impactos pode ocorrer pela descarga não controlada de esgoto no meio marinho, inclusive por meio de emissários submarinos.

Os emissários submarinos são sistemas de disposição oceânica de esgotos e são amplamente utilizados em todo o mundo como uma forma de destinação final de efluentes urbanos, principalmente devido ao baixo custo comparativamente a outras formas de tratamento. Porém, o descarte de dejetos no oceano, seja em águas rasas ou profundas, pode causar diversos impactos. Dos impactos ambientais, destacam-se a floração de algas tóxicas, a eutrofização, a introdução de microrganismos patogênicos e a contaminação por substâncias químicas capazes de produzir efeitos tóxicos sobre a biota (Jaquetti 2013; Teodoro 2011). Dentre estes impactos, a poluição das praias pode diminuir as atividades recreacionais e o turismo além de afetar a pesca, causando prejuízo aos pescadores artesanais que dependem desta atividade para sobreviver. Em adição, podem ocorrer problemas de saúde pública através de doenças transmitidas por organismos patogênicos e poluentes na água do mar. De forma a evitar esses impactos, o material transportado pelos emissários submarinos deve ser tratado corretamente antes de ser descartado, removendo possíveis contaminantes (Figura 1).

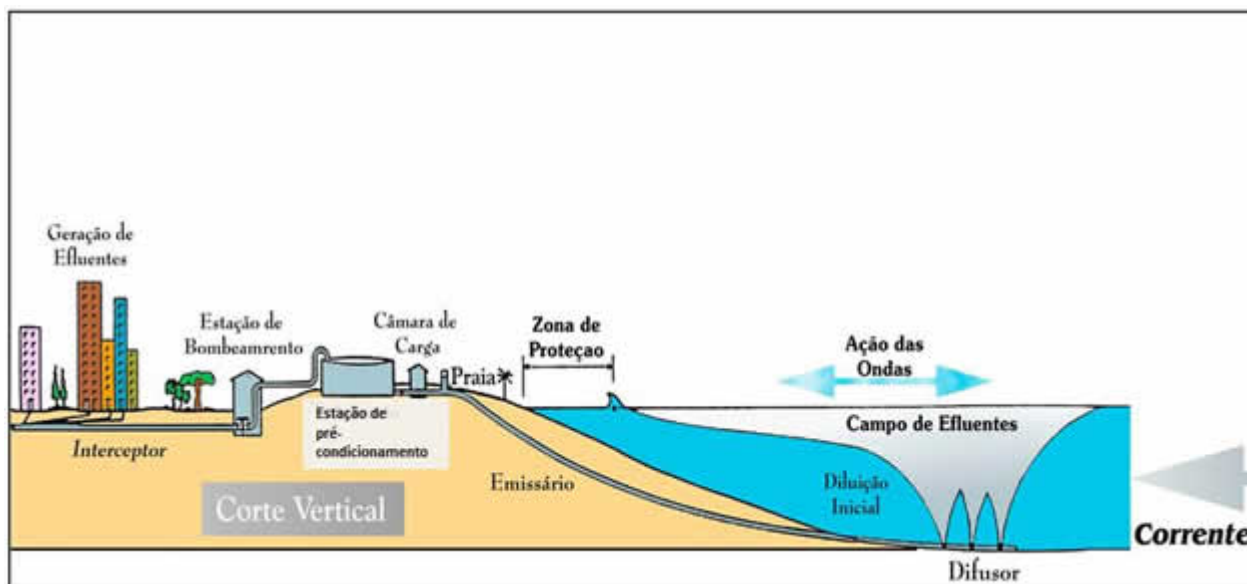


Figura 1: Modelo de emissário submarino na costa (Fonte: CETESB)

No canal de São Sebastião (CSS), existem 4 emissários submarinos sendo 3 de descarte de esgoto doméstico e 1 de descarte de resíduos de óleo. Os emissários de descarte doméstico localizam-se no Araçá, na praia das Cigarras (que localizam-se no continente, na cidade de São

Sebastião) e em Itaquanduba (localizado em Ilhabela) (Figura 2). O emissário submarino de descarte de resíduos de óleo é localizado no TEBAR (Terminal Marítimo Almirante Barroso) (Figura 3), que é o maior terminal aquaviário da América do Sul gerenciado pela Transpetro. Esse terminal de São Sebastião recebe petróleo nacional e importado por navios-petroleiros e o petróleo é transferido às refinarias por oleodutos.



Figura 2: Os três emissários submarinos de descarte de esgoto doméstico do canal de São Sebastião (em vermelho) e o emissário do TEBAR, de descarte de resíduos de óleo (em cinza) (Fonte: CETESB).

Esses emissários atendem às populações locais e suas características são mostradas na Tabela 1. Dessa tabela consta apenas, a população local, desconsiderando as populações flutuantes significativas durante a temporada de verão. Durante esse período, a população de Ilhabela, por exemplo, chega a ser o triplo da população local de 32.197 habitantes (IBGE 2015) e durante o verão mais de 650 mil pessoas frequentam o litoral norte de São Paulo (Prefeitura de São Sebastião 2014). Dada essa densa ocupação da região com grande reflexo no uso das águas, é importante compreender como o produto desses emissários impactam a balneabilidade da águas.

Assim, o presente trabalho pretende, através da análise das simulações de diversos cenários, estudar quais são os locais mais afetados pela descarga de esgoto doméstico dos emissários submarinos no Araçá, Cigarras e Itaquanduba. Por hora, não estudaremos os efeitos da descarga industrial do emissário submarino do TEBAR na região.



Figura 3: Terminal Marítimo Almirante Barroso (TEBAR) no canal de São Sebastião, SP (Fonte: TRANSPETRO)

Tabela 1: Dados dos emissários submarinos municipais no canal de São Sebastião. Observação: a literatura não inclui dados do TEBAR. SS é São Sebastião, Pta. é Ponta, máx é máxima e n° é número. Fonte: CETESB.

| Município – Local | Ilhabela Itaquanduba | SS (Pta. Cigarras) | SS (Pta. Araçá) |
|-----------------------|----------------------|--------------------|-----------------|
| População máxima | 26.000 | 1.600 | 21.396 |
| Vazão máx (m^3/s) | 0.15 | 0.012 | 0.14 |
| Comprimento (m) | 800 | 1.068 | 1.200 |
| Profundidade (m) | 37 | 8 | 17 |
| Diâmetro (m) | 0.4 | 0.16 | 0.4 |
| Tubo difusor (m) | 30 | 3.5 | 25 |
| Nº de orifícios | 8 | 7 | 6 |
| Início da Operação | 2010 | 1985 | 1991 |

1.1 Área de Estudo

A área de estudo desse trabalho compreende o canal de São Sebastião (CSS), que está localizado na costa nordeste do estado de São Paulo entre a Ilha de São Sebastião e o continente em 23°S (Figura 4). O CSS situa-se na região central da Margem Continental Sudeste Brasileira (MCSE), que é caracterizada pela proximidade da Corrente do Brasil (CB) que flui no talude continental transportando duas correntes de origens distintas: a Água Central do Atlântico Sul (ACAS) e a Água Tropical (AT) (Silva 2001).

A teoria aceita para a formação do canal é de origem tectônica pelo deslizamento de parte do continente em direção ao oceano (Kvinge 1967). O centro do canal possui largura de 1.9 km, enquanto suas entradas, apontadas para nordeste e outra para sudoeste, possuem 5.6 km e 7.2 km de largura, respectivamente (Castro 1990). O canal tem formato de meia lua, comprimento de quase 22 km (Castro and Miranda 1998) e topografia irregular. Além disso, é caracterizado por um aumento abrupto da profundidade nas margens, com profundidades maiores que 20 m ao longo do eixo longitudinal (Castro 1990). Existe um canal principal mais profundo próximo a ilha com profundidade de 25 m ao sul do canal e profundidade máxima de 45 m no centro do canal (Castro and Miranda 1998) e que ocupa todo o comprimento do canal (Kvinge 1967).

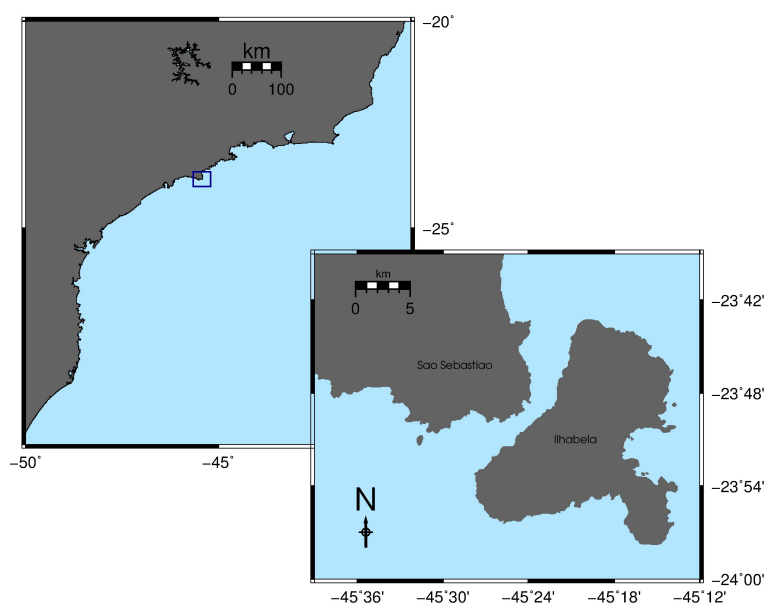


Figura 4: Área de estudo no canal de São Sebastião.

É importante observar a singularidade do CSS na costa brasileira pela sua posição e tendo em vista que não se trata de um canal estuarino, o que faz do mesmo um canal com características físicas únicas (Silva 2001). O CSS é caracterizado por processos físicos complexos, incluindo fortes correntes geradas pelo vento, mistura de águas de origens e características variadas e uma termoclina sazonal bem definida que é acompanhada por uma estrutura baroclínica de duas camadas (Castro and Miranda 1998). As principais forçantes dos movimentos no canal são a tensão de cisalhamento do vento sinótico e forças termohalinas, sendo as correntes do canal pouco influenciadas pelas marés (Kvinge 1967; Castro 1990; Dottori et al. 2015).

Durante períodos de vento favoráveis ao afloramento costeiro de águas mais profundas, especialmente nas estações de verão e primavera, Coelho (1997) mostrou através de experimentos numéricos que a intrusão da ACAS pode chegar ao CSS. Lohrenz and Castro (2004) mostraram que a ACAS, que propaga-se do talude em direção à costa, pelo fundo da Plataforma Continental Sudeste (PCSE) durante o verão e a primavera, flui através da entrada sul do CSS, formando uma aguda termoclina. Dottori et al. (2015) mostraram que a chegada da ACAS no CSS causa mudanças na temperatura e salinidade do canal também próximo à superfície. Além disso, Dot-

tori et al. (2015) também evidenciaram que as correntes próximas à Baía do Araçá, dentro do CSS, são dominadas pelo modo barotrópico. As escalas temporais predominantes para a variabilidade dos processos físicos no CSS são a sazonal e a subinercial. A primeira predomina nas intrusões da ACAS e a segunda na variabilidade sinótica dos ventos.

1.2 Hipótese

A hipótese científica desse trabalho é que os efluentes domésticos dos emissários submarinos presentes no canal de São Sebastião podem degradar a balneabilidade das áreas costeiras adjacentes, dependendo da situação hidrodinâmica presente.

1.3 Objetivos

O principal objetivo desse trabalho é determinar as áreas que afetadas negativamente pelos efluentes domésticos liberados pelos emissários submarinos do canal de São Sebastião.

1.3.1 Objetivos específicos

- Implementar modelo hidrodinâmico na região para estudar as correntes geradas pelo vento sinótico e por gradientes de densidade;
- Implementar modelo de qualidade de água para estudar a dispersão de coliformes fecais proveniente dos emissários submarinos.
- Determinar quais são as condições forçantes mais susceptíveis para que as áreas adjacentes tenham sua balneabilidade afetada negativamente.

2 Metodologia

A metodologia escolhida é a modelagem numérica através do uso do modelo *sECOM* (*Stevens Institute Estuarine and Coastal Ocean Model*) que será descrito nas seções a seguir. Ele será utilizado para estudar a distribuição, dispersão e destino de coliformes fecais na região do CSS.

2.1 O Modelo *sECOM*

O modelo *sECOM* teve a sua origem na metade da década de 80 com a criação do Princeton Ocean Model (POM) (Blumberg and Mellor 1987). O POM foi primeiramente adaptado para ambientes de águas rasas como baías, estuários, lagos e rios sendo nomeado como ECOM (Blumberg 1996). Posteriormente, na década de 90 foram incorporados conceitos de resuspensão, assentamento e consolidação de sedimentos ao ECOM e durante os últimos anos, desenvolveu-se o *sECOM* que inclui condições de contorno abertas, traçadores, modelo de ondas de superfície, transporte de sedimentos e também uma melhor quantificação do cisalhamento no fundo oceânico através de um submodelo físico para a camada limite de fundo.

O *sECOM* é um modelo tri-dimensional, hidrodinâmico, de ondas e de transporte de sedimentos que foi criado pelo Stevens Institute of Technology nos Estados Unidos. O modelo é designado para simular distribuições de nível da água, correntes, temperatura, salinidade, traçadores, sedimentos coesivos e não-coesivos e ondas em sistemas marinhos e de água doce que sejam dependentes do tempo, com o maior realismo possível.

O modelo possui uma estrutura computacional de grade ortogonal curvilínea para os três submodelos (hidrodinâmico, de ondas e de transporte de sedimentos), que devem ser trabalhados em conjunto onde, o *output* de um serve de *input* para o outro. O *input* do modelo é salvo no arquivo chamado *run_data* que contém parâmetros que controlam o tipo e comprimento da simulação, além da frequência do output e conteúdo da modelagem. O *output* do modelo é disponibilizado em formato *network compatible data format (netCDF)* que é portátil para qualquer sistema computacional. Além disso, o uso de um sistema de coordenadas curvilínea ortogonal no modelo aumenta a eficiência do mesmo para tratar as irregularidades da costa e também a capacidade de implementar uma alta resolução em regiões de interesse. Este fato é importante para o trabalho em questão, visto que a região de estudo é o Canal de São Sebastião, que requer uma grade mais refinada para o estudo. O *sECOM* é capaz de simular o transporte e o destino de sedimentos em suspensão, traçadores dissolvidos e partículas flutuantes em sistemas costeiros e estuarinos.

2.1.1 Módulo de Trajetória de Traçadores ou Patógenos

Para as nossas simulações, utilizaremos o módulo específico do *sECOM*, de trajetória de traçadores ou patógenos (*Tracer/Pathogen Fate Module*), afim de se estudar o transporte e o

destino de coliformes fecais que são despejados pelos três emissários submarinos no Canal de São Sebastião.

As abundâncias de organismos entéricos em sistemas naturais são determinadas por taxas de *inputs* (cargas) provindas de fontes da costa ou de emissários submarinos, transporte por correntes e processos de dispersão e perda que incluem fototoxicidade, temperatura, salinidade, predação, morte e assentamento. Esses fatores podem ser apresentados em graus variados dependendo da localização e situação. A distribuição resultante da concentração do organismo vai refletir o decaimento (ou crescimento) do organismo em função das escalas espaciais e temporais do corpo d'água.

A equação principal desse módulo é a equação clássica de difusão tri-dimensional dependente no tempo, representando os processos de perda que podem vistos na equação abaixo:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial Cu}{\partial x} + \frac{\partial Cv}{\partial y} + \frac{\partial Cw}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial C}{\partial z} \right) + F_c + kC, \quad (1)$$

onde, t é o tempo, x é a componente espacial leste-oeste, u velocidade zonal, y é a componente espacial norte-sul, v velocidade meridional, z é a componente vertical, w velocidade vertical, C é a concentração do organismo patógeno, k é a coeficiente de mortalidade ou taxa de decaimento, F_c representa a difusão horizontal da bactéria patógena e K_H é o coeficiente de difusão vertical.

Populações de coliformes exibem um número padrão de mortalidade em experimentos laboratoriais quando o esgoto é diluído pela água em experimentos para simulação da descarga de dejetos no corpo d'água receptor (Mancini 1978). Estimativas iniciais de k foram obtidas em estudos especiais em laboratórios (Mancini 1978). Esses estudos em laboratório indicaram que o valor de k para as bactérias coliformes (a 20°C) na água do mar variam entre 0.8/dia e 1.4/dia. Esses valores de laboratórios confirmam a seguinte relação funcional da taxa de mortalidade de bactérias coliformes:

$$k = k_d + k_i + k_s, \quad (2)$$

onde k_d é o coeficiente de taxa de mortalidade no escuro, incluindo efeitos de temperatura, salinidade e predação ($\text{dia}(\text{d})^{-1}$); k_i é o coeficiente de taxa de mortalidade mediado pela irradiância (d^{-1}) e k_s é o coeficiente de taxa de perda por sedimentação (d^{-1}).

A quantidade máxima de coliformes fecais que pode estar presentes na água do mar é estabelecida pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de acordo com a resolução nº20 de 1986 (CONAMA 1986). Águas salinas com concentração de coliformes fecais maiores que 1000/100ml de água são consideradas impróprias para: "a recreação de contato primário, proteção das comunidades aquáticas e criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana". Assim, para o trabalho proposto devemos ter como base esse valor para analisar as condições da qualidade da água do mar e qual é o impacto dos dejetos dos emissários submarinos na região de estudo.

2.2 Implementação do modelo

O foco da modelagem numérica será a dispersão, distribuição e transporte do despejo de efluentes de emissários submarinos através da análise das correntes no canal de São Sebastião. A grade numérica utilizada para o modelo cobre toda a região do canal. A grade utilizada será de caráter curvilíneo e possuirá 2 bordas abertas (saídas do canal) e duas fechadas no continente e na Ilha de São Sebastião. As condições de contorno serão determinadas por simulações de toda a Plataforma Continental Sudeste já em desenvolvimento no Laboratório de Hidrodinâmica Costeira (LHiCO) no Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP).

2.3 Validação

O modelo hidrodinâmico será validado quantitativamente com séries correntográficas e campanhas hidrográficas realizadas por pesquisadores do LHiCO no CSS nos últimos anos. Os resultados da difusão serão comparados com aqueles existentes em relatórios apresentados à CETESB e SABESP pelo Prof. Dr. Belmiro Mendes de Castro Filho, disponíveis no LHiCO.

2.4 Viabilidade Operacional

Esse trabalho possui viabilidade operacional e financeira. O LHiCO possui servidores para as simulações e análises desejadas e todos os dados necessários encontram-se no Banco de Dados desse laboratório.

2.5 Justificativa

A utilização desta metodologia envolve baixo custo, comparado com os demais, que necessitariam saídas de campo com navios o que encareceria a proposta. Além disso, a modelagem numérica permite o estudo individual de cada forçante atuante no sistema do canal, devido à liberdade de controlar a ação das forçantes no modelo proposto. Esse trabalho possibilitará o estudo conjunto de 3 emissários submarinos. Além disso, a modelagem numérica hidrodinâmica possibilitará, também, uma caracterização mais ampla da circulação no CSS.

3 Resultados esperados

Esperamos detectar as áreas adjacentes impactadas negativamente pelo material lançado por emissários submarinos no Canal de São Sebastião. Em termos práticos, obteremos ao final do trabalho mapas da distribuição de coliformes fecais no espaço do CSS. A partir de diferentes simulações numéricas, pretendemos mostrar como a qualidade da água pode ou não ser prejudicada devido à presença dos emissários submarinos, em diferentes cenários hidrodinâmicos.

4 Cronograma

Esse projeto será realizado no período de 2 anos (2016 e 2017). As seguintes tarefas serão realizadas no progresso do trabalho, na seguinte ordem:

1. Disciplina obrigatória: Dinâmica de Fluidos Geofísicos I
2. Disciplina obrigatória: Dinâmica de Fluidos Geofísicos II
3. Disciplina: Laboratório de Dinâmica do Fluido Geofísico
4. Disciplina: Preparação pedagógica em Oceanografia
5. Disciplina: Modelos Numéricos Aplicados a Processos Costeiros e Oceânicos
6. Disciplina: Hidrodinâmica da Plataforma Continental
7. Revisão bibliográfica
8. Implementação do modelo no Canal de São Sebastião, incluindo toda a configuração básica para inicialização.
9. Validação e análise dos resultados do modelo e comparação com outros trabalhos.
10. Confeção da dissertação e artigo científico.

Tabela 2: Cronograma Mensal

| | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
|--------|-----|-----|-----|-----|-------|-----|-------|-----|---------|-------|-----|-------|
| 1º ano | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,2,3 | 2,3 | 2,3,4 | 2,3 | 2,3,5,6 | 5,6 | 5,6 | 5,6,7 |
| 2º ano | 7,8 | 7,8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 9 | 9 | 9,10 | 9, 10 | 10 | 10 |

Referências

- Blumberg, A. (1996). An estuarine and coastal ocean version of pom, paper presented at princeton ocean model users meeting 1996. *Princeton Univ., Princeton, NJ*.
- Blumberg, A. F. and G. L. Mellor (1987). A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. *Three-dimensional coastal ocean models*, 1–16.
- Castro, B. M. d. and L. B. d. Miranda (1998). Hydrographic properties in the são sebastião channel: daily variations observed in march 1980. *Revista Brasileira de Oceanografia* 46(2), 111–123.
- Castro, B. M. F. (1990). Wind driven currents in the channel of são sebastião: winter, 1979. *Boletim do Instituto Oceanográfico* 38(2), 111–132.
- Coelho, A. (1997). Massas de água e circulação no canal de são sebastião (sp). *Massas de água e circulação no Canal de São Sebastião (SP)*.
- CONAMA, R. (1986). 20, 1986. *Conselho Nacional de Meio Ambiente do Brasil. Diário Oficial da União* 18.
- Dottori, M., E. Siegle, and B. M. Castro (2015). Hydrodynamics and water properties at the entrance of araçá bay, brazil. *Ocean Dynamics* 65(12), 1731–1741.
- IBGE (2015). População. <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2015/>. Acessado em: 09-03-2016.
- Jaquetti, D. K. S. (2013). Proposta de avaliação de impacto ambiental de emissários submarinos.
- Kvinge, T. (1967). On the special current and water level variations in the channel of são sebastião. *Boletim do Instituto Oceanográfico* 16(1), 23–38.
- Lohrenz, S. E. and B. M. Castro (2004). Western ocean boundaries panregional overview (w). *The Sea. The global coastal ocean: interdisciplinary studies and syntheses* 14, 3–20.
- Mancini, J. L. (1978). Numerical estimates of coliform mortality rates under various conditions. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 2477–2484.
- Prefeitura de São Sebastião (2014). Comitê de Bacias Hidrográficas do Litoral Norte alerta municípios para planos de ação junto ao Estado para evitar falta d'água no futuro. <http://www.saosebastiao.sp.gov.br/finaltemp/news.asp?id=N12122014162033>. Acessado em: 10-03-2016.
- Silva, L. d. S. (2001). *Estudo Numérico da Circulação e da Estrutura Termohalina no Canal de São Sebastião*. Ph. D. thesis, Universidade de São Paulo.
- Teodoro, A. C. (2011). *Estudo hidrogeoquímico, sedimentológicos e dos foraminíferos de áreas submetidas a esgotos domésticos e petroquímicos do canal de São Sebastião, SP*. Ph. D. thesis, Universidade de São Paulo.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO OCEANOGRÁFICO

Paula Birocchi

Plano de trabalho apresentado ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para o curso de Mestrado, no programa Oceanografia, área de concentração Oceanografia Física. Período: 2016/18

São Paulo, — / — / —

Orientador: Prof. Belmiro Mendes de Castro Filho

Aluna: Paula Birocchi