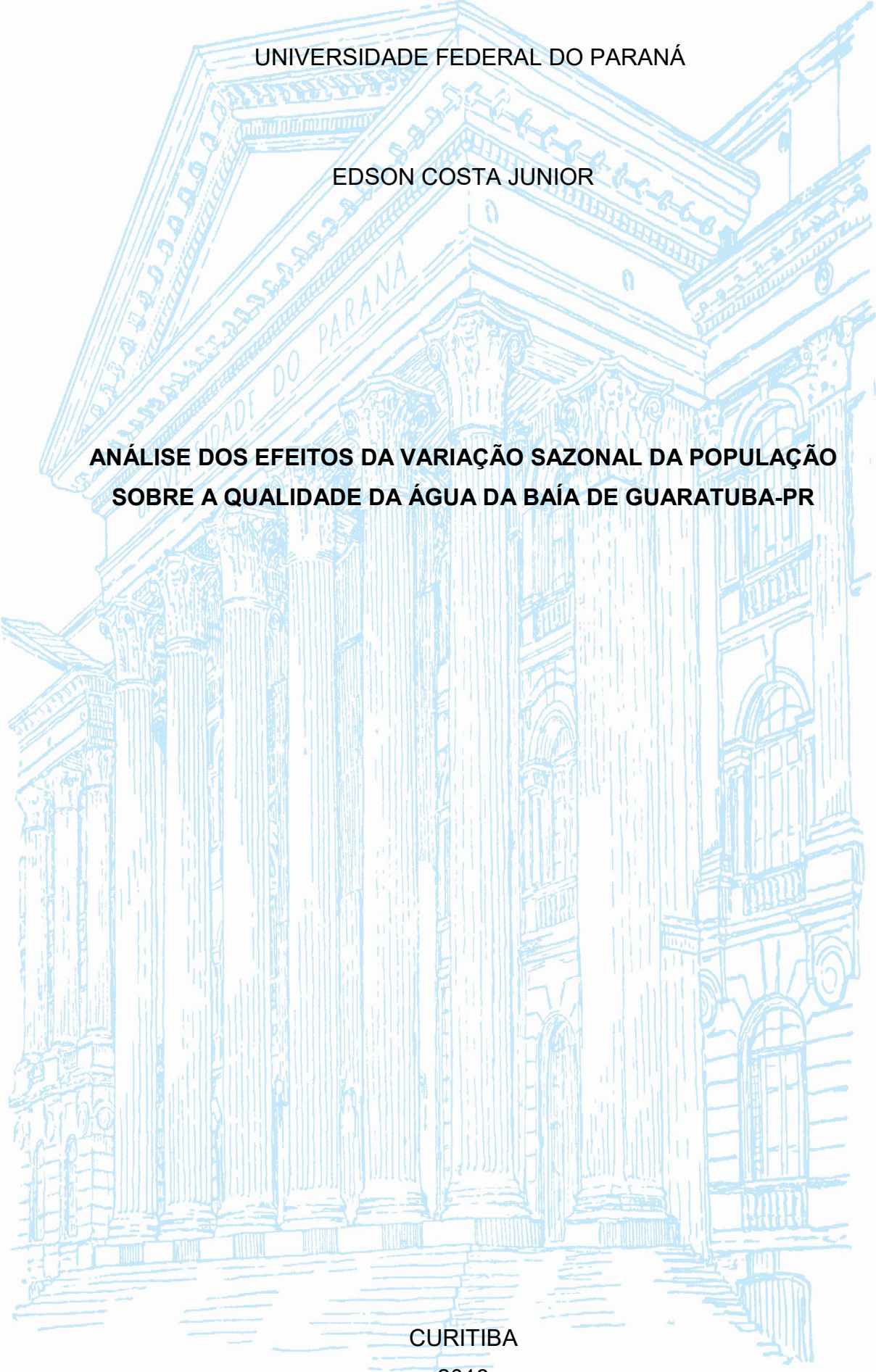




UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

EDSON COSTA JUNIOR

**ANÁLISE DOS EFEITOS DA VARIAÇÃO SAZONAL DA POPULAÇÃO
SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA DA BAÍA DE GUARATUBA-PR**

CURITIBA

2018

EDSON COSTA JUNIOR

**ANÁLISE DOS EFEITOS DA VARIAÇÃO SAZONAL DA POPULAÇÃO
SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA DA BAÍA DE GUARATUBA-PR**

Trabalho apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Ambiental, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Profa. Dra. Cynara de Lourdes da Nóbrega Cunha

CURITIBA

2018



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

TERMO DE APROVAÇÃO DE PROJETO FINAL

EDSON COSTA JUNIOR

ANÁLISE DOS EFEITOS DA VARIAÇÃO SAZONAL DA POPULAÇÃO SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA DA BAÍA DE GUARATUBA-PR

Projeto Final de Curso, aprovado como requisito parcial para a obtenção do Diploma de Bacharel em Engenharia Ambiental no Curso de Graduação em Engenharia Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, com nota 10,0, pela seguinte banca examinadora:

Orientador(a):

Prof.ª Cynara De Lourdes da Nóbrega Cunha

Departamento de Engenharia Ambiental/ Universidade Federal do Paraná

Membro(a) 1:

Prof. Edurado Gobbi

Departamento de Engenharia Ambiental/ Universidade Federal do Paraná

Membro(a) 2:

Prof. Michael Mannich

Departamento de Engenharia Ambiental/ Universidade Federal do Paraná

Curitiba, 26 de junho de 2018

RESUMO

As cidades de Matinhos e Guaratuba, municípios localizados na região de influência da baía de Guaratuba, localizada no estado do Paraná, é o destino de mais de um milhão de pessoas que, durante o verão, aproveitam suas praias, provocando um aumento de quase 20 vezes da sua população, causando sérios problemas ambientais. O principal deles é o aumento na carga de esgoto sanitário que chega a baía, com grandes concentrações de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* (*E.coli.*), indicadores de contaminação fecal, usados para caracterizar a pluma de esgoto, que podem interferir seriamente na balneabilidade da região de influência da baía. Assim, problemas como uma carga excessiva de esgoto não tratado sendo despejado na baía durante o verão, ocorrem com frequência. Neste trabalho, através da modelagem computacional, utilizando o sistema de modelos do SisBaHiA[®]; são obtidas as plumas de contaminantes dos indicadores de contaminação fecal (coliformes termotolerantes e *E. coli*), presentes no esgoto bruto, para os meses de inverno e verão, com cuidado especial para as regiões onde existem cultivo de ostras. As ostras são animais capazes de filtrar microrganismos presentes na água, podendo causar uma série de doenças aos seus consumidores e assim, prejudicar uma importante parcela da população nativa, que tem essa atividade como sua fonte de renda. Foram simulados dois cenários, inverno e verão, com tempos de decaimentos constantes de 6 e 12 horas e variável para os indicadores biológicos. As plumas de concentração no verão foram maiores do que no inverno; em todos os cenários, grande parte da região onde é cultivada as ostras se manteve dentro dos padrões exigidos pela legislação.

Palavras chave: Baía de Guaratuba, SisBaHiA[®], cultivo de ostras, esgoto sanitário.

ABSTRACT

The cities of Matinhos and Guaratuba, municipalities located in the Guaratuba Bay region, located in the state of Paraná, is the destination of more than one million people who, during the summer, enjoy their beaches, causing an increase of almost 20 of its population, causing serious environmental problems. The main one is the increase in the sanitary sewage load that reaches the bay, with large concentrations of thermotolerant coliforms and *Escherichia coli* (E.coli.), Indicators of fecal contamination, used to characterize the sewage plume, that can seriously interfere in the bathing area of the bay. Thus, problems such as excessive loading of untreated sewage being dumped into the bay during the summer, occur frequently. In this work, through the computational modeling, using the system of models of the SisBaHiA®; the feathers of contaminants from fecal contamination indicators (thermotolerant coliforms and *E. coli*), present in the raw sewage, are obtained for the winter and summer months, with special care for the regions where oysters are cultivated. Oysters are animals capable of filtering microorganisms present in the water, which can cause a series of diseases to their consumers and thus harm an important part of the native population, which has this activity as their source of income. Two scenarios were simulated, winter and summer, with constant decay times of 6 and 12 hours and variable for biological indicators. Summer plumes of concentration were higher than in winter; in all scenarios, much of the region where oysters are grown has remained within the standards required by legislation.

Keywords: Guaratuba Bay, SisBaHiA®, oyster culture, effluent discharge

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Variáveis importantes na Circulação Hidrodinâmica de um corpo d'água.....	16
FIGURA 2 - Variáveis utilizadas nos principais modelos de decaimento bacteriano.....	23
FIGURA 3 - Mapa da APA de Guaratuba.....	24
FIGURA 4 - Localização da Baía de Guaratuba.....	25
FIGURA 5 - Bacia Hidrográfica da baía de Guaratuba. Fonte: Plano Diretor de Guaratuba, 2015.	26
FIGURA 6 - Sedimentos no fundo da Baía de Guaratuba, em 1989 (à esquerda) e 2003 (à direita).	27
FIGURA 7 - Maré na baía de Guaratuba medida a cada 15 minutos, durante 100 dias.....	28
FIGURA 8 - Área de cultivo de ostras na baía de Guaratuba.....	28
FIGURA 9 - <i>Crassostrea rhizophorae</i> e <i>Crassostrea brasiliana</i>	29
FIGURA 10 - Destinação das ostras produzidas na Baía de Guaratuba.....	29
FIGURA 11 - Curvas de decaimento de coliformes termotolerantes ou <i>E.coli</i> , para um dia de verão com céu aberto, a partir da hora em que foi lançado. ...	39
FIGURA 12 - Curvas de decaimento de coliformes termotolerantes ou <i>E.coli</i> , para um dia de inverno com céu aberto, a partir da hora em que foi lançado..	39
FIGURA 13 – Domínio de modelagem para o sistema da Baía de Guaratuba com a malha de elemento finitos.....	40
FIGURA 14 – Batimetria (m) do fundo do domínio de modelagem.	41
FIGURA 15 – Amplitude da rugosidade do fundo, em metros, no domínio de modelagem.....	42
FIGURA 16 - Vazões diárias do Rio Cubatão, para o período de verão e inverno.	43

FIGURA 17 - Rio que recebe o esgoto tratado da estação de tratamento de esgoto.	45
FIGURA 18 - Localização das estações de vento selecionadas no Complexo Estuarino de Paranaguá (círculos pretos).	46
FIGURA 19 - Rosa da distribuição dos ventos gerados com o WRF para os meses de verão.....	47
FIGURA 20 - Rosa de distribuição dos ventos gerados com o WRF para os meses de inverno	47
FIGURA 21 - Maré astronômica na baía de Guaratuba para o verão de 2009.	49
FIGURA 22 - Maré astronômica na baía de Guaratuba para o inverno de 2009.	49
FIGURA 23 - Localização das fontes de lançamento do esgoto sanitário (círculos vermelhos).	50
FIGURA 24 - Foz do rio Boguaçu, onde deságua o efluente tratado da ETE, local da Fonte 1.....	51
FIGURA 25 - Rio Prainha 1 desaguando no trapiche da Praia Mansa, em Caiobá, Local da Fonte 2.	51
FIGURA 26 - Localização das estações onde os valores da superfície livre, das componentes Norte-Sul e Leste-Oeste das velocidades e das concentrações de coliformes termotolerantes e E.coli foram observados, para diferentes cenários.	52
FIGURA 27 – Posição da superfície livre, entre 15/06/2009 e 29/08/2009, nas estações A, B e C.....	53
FIGURA 28 - Posição da superfície livre, entre 15/12/2008 e 28/02/2009, nas estações A, B e C.....	54
FIGURA 29 - Elevação da superfície livre durante um dia de inverno, para os períodos de sizígia (esquerda) e quadratura (direita), nas estações A, B e C.	54
FIGURA 30 - Elevação da superfície livre durante um dia de verão, para os períodos de sizígia (esquerda) e quadratura (direita), nas estações A, B e C.	55

FIGURA 31 – Componente Leste-Oeste da velocidade na baía de Guaratuba, entre 15/06/2009 e 29/08/2009, nas estações A, B e C.....	56
FIGURA 32 - Componente Leste-Oeste da velocidade na baía de Guaratuba, entre 15/12/2008 e 28/02/2009, nas estações A, B e C.....	56
FIGURA 33 - Componente Leste-Oeste da velocidade durante um dia de inverno, para os períodos de sizígia (esquerda) e quadratura (direita), nas estações A, B e C.....	57
FIGURA 34 - Componente Leste-Oeste da velocidade durante um dia de verão, para os períodos de sizígia (esquerda) e quadratura (direita), nas estações A, B e C.....	57
FIGURA 35 - Componente Norte-Sul da velocidade na baía de Guaratuba, durante 15/06/2009 00h00 a 29/08/2009 00h00.....	58
FIGURA 36 - Componente Norte-Sul da velocidade na baía de Guaratuba, durante 15/12/2008 00h00 a 28/02/2009 00h00.....	58
FIGURA 37 - Componente Norte-Sul da velocidade durante um dia de inverno, para os períodos de sizígia (esquerda) e quadratura (direita) nas estações A, B e C.....	59
FIGURA 38 - Componente Norte-Sul da velocidade durante um dia de verão, para os períodos de sizígia (esquerda) e quadratura (direita) nas estações A, B e C.....	59
FIGURA 39 – Campo de correntes no domínio do modelo em situação de preamar de sizígia no instante 04:00 no dia 26/01/2009.....	60
FIGURA 40 - Campo de correntes no domínio do modelo em situação de meia maré vazante de sizígia no instante 6:30 no dia 26/01/2009.	61
FIGURA 41 – Campo de correntes no domínio do modelo em situação de baixamar de sizígia no instante 8:30 no dia 26/01/2009.	61
FIGURA 42 – Campo de correntes no domínio do modelo em situação de meia maré enchente de sizígia no instante 13:00 no dia 26/01/2009.	62
FIGURA 43 - Campo de correntes residual no domínio do modelo, considerando 24 horas, em 20/01/2009.	63

FIGURA 44 - Campo de correntes residual no domínio do modelo, considerando 24 horas, em 26/01/2009.	63
FIGURA 45 - Campo de correntes residual no domínio do modelo, considerando 24 horas, em 29/06/2009.	64
FIGURA 46 - Campo de correntes residual no domínio do modelo, considerando 24 horas, em 06/07/2009.	64
FIGURA 47 - Vórtices formados na baía durante o período de sizígia no verão.	65
FIGURA 48 - Vórtices formados na baía durante os períodos de sizígia e quadratura no inverno.	65
FIGURA 49 - Concentração de coliformes termotolerantes para diferentes T90, no verão, na estação D.	67
FIGURA 50 - Concentração de coliformes termotolerantes para diferentes T90, durante 2 dias de verão, na estação D.	67
FIGURA 51- Concentração de coliformes termotolerantes para diferentes T90, no verão, na estação E.	67
FIGURA 52 - Concentração de coliformes termotolerantes para diferentes T90, durante dois dias de verão, na estação E.	68
FIGURA 53 - Concentração de coliformes termotolerantes para diferentes T90, no inverno, na estação D.	68
FIGURA 54 - Concentração de <i>E.coli</i> para diferentes T90, para dois dias de inverno, na estação D.	69
FIGURA 55 – Concentração de coliformes termotolerantes para diferentes T90, no inverno, na estação E.	69
FIGURA 56 - Concentração de coliformes termotolerantes para diferentes T90, durante 2 dias de inverno, na estação E.	69
FIGURA 57 - Concentração de coliformes termotolerantes para diferentes T90, no inverno, na estação F.	70

FIGURA 58 - Porcentagem de tempo em que a concentração de coliformes termotolerantes está acima de 88 NMP/100 ml, para o cenário 1. Em detalhe, a região de cultivo de ostra.	72
FIGURA 59 - Porcentagem de tempo em que a concentração de coliformes termotolerantes está acima de 88 NMP/100 ml, para o cenário 2. Em detalhe, a região de cultivo de ostra.	72
FIGURA 60 - Porcentagem de tempo em que a concentração de coliformes termotolerantes está acima de 88 NMP/100ml, para o cenário 3. Em detalhe, a região de cultivo de ostra.	73
FIGURA 61 - Porcentagem de tempo em que a concentração de coliformes termotolerantes está acima de 88 NMP/100 ml , para o cenário 4. Em detalhe, a região de cultivo de ostra.	73
FIGURA 62 - Porcentagem de tempo em que a concentração de coliformes termotolerantes está acima de 88 NMP/100 ml, para o cenário 5. Em detalhe, a região de cultivo de ostra.	74
FIGURA 63 - Porcentagem de tempo em que a concentração de coliformes termotolerantes está acima de 88 NMP/100 ml , para o cenário 6. Em detalhe, a região de cultivo de ostra.	74
FIGURA 64 - Possíveis regiões para novos cultivos de ostras na baía de Guaratuba	76

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Características físico-químicas do esgoto sanitário.....	19
TABELA 2: Microorganismos e parasitas presentes no esgoto doméstico bruto.....	20
TABELA 3: Classificação das áreas de cultivos de moluscos bivalves, segundo a diretiva europeia 91/942/EEC.....	31
TABELA 4: Vazões para o verão e inverno dos principais rios da baía de Guaratuba.....	43
TABELA 5: Contribuição de esgoto diário por tipo de prédio e ocupante.....	44
TABELA 6: Dados da população e da produção diária de esgoto nos meses de janeiro e junho, para as cidades de Guaratuba e Matinhos.....	45
TABELA 7: Amplitude e fase das constantes harmônicas para o iate clube de Guaratuba.....	48
TABELA 8: Características dos cenários usados para definir o padrão hidrodinâmico e o transporte de poluentes na baía de Guaratuba.....	50
TABELA 9: Quantidade de tempo em que a concentração de coliformes termotolerantes esta acima do limite legislado.....	71

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS.....	14
2.1. OBJETIVO GERAL	14
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3. REFERÊNCIAL TEÓRICO	15
3.1. BAÍA E ESTUÁRIOS.....	15
3.2. CIRCULAÇÃO HIDRODINÂMICA.....	16
3.3. CARACTERÍSTICAS DOS EFLUENTES DOMÉSTICOS.....	18
3.4. INDICADORES DE BALNEABILIDADE.....	20
3.5. TEMPO DE DECAIMENTO	22
4. ÁREA DE ESTUDO	24
4.1. CULTIVO DE OSTRAS.....	28
5. MATERIAIS E MÉTODOS	34
5.1. SisBaHiA®	34
5.2. MODELO HIDRODINÂMICO	34
5.3. MODELO DE TRANSPORTE LAGRANGEANO	35
5.4. MODELO DE DECAIMENTO BACTERIANO	38
5.5. APLICAÇÃO DOS MODELOS À BAÍA DE GUARATUBA	40
5.6. VAZÃO FLUVIAL	42
5.7. VAZÃO DOS EFLUENTES DE ESGOTO DOMÉSTICO	44
5.8. VENTO.....	46
5.9. MARÉ.....	48
6. RESULTADOS	52
6.1. CIRCULAÇÃO HIDRODINÂMICA.....	53
6.2. PLUMAS DE CONTAMINANTES	66
7. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	75
8. BIBLIOGRAFIA	77

1. INTRODUÇÃO

A baía de Guaratuba, localizada no litoral do Estado do Paraná, assim como outras baías, é uma região que constitui 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. A baía de Guaratuba, com uma área de aproximadamente 50 km², é cerca de onze vezes menor que a baía de Paranaguá, a maior baía do Sul do Brasil, também localizada no Estado do Paraná (MARONE et al., 2006).

A principal fonte de renda dos municípios localizados na região de influência da baía de Guaratuba, Guaratuba e Matinhos, provém do turismo. Durante o verão ocorre um aumento populacional nestes municípios, que sofrem um aumento de quase 20 vezes da sua população, chegando a mais de um milhão de pessoas em toda a região, potencialmente gerando perturbações com consequências ambientais. O principal deles é o aumento na carga de esgoto sanitário que chega a baía, com grandes concentrações de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* (*E.coli.*), que podem interferir seriamente na balneabilidade da baía.

Esse aumento na carga de esgoto lançada na baía de Guaratuba pode afetar o cultivo de ostras, considerando que as ostras são animais capazes de filtrar organismos presentes na água, podendo assim, levar essas impurezas, como bactérias aos consumidores das ostras *in natura*, sendo esse um grande problema para a região.

Para avaliar essa potencial contaminação das ostras cultivadas na baía de Guaratuba por organismos oriundos do lançamento de esgoto doméstico, foram propostos modelos matemáticos, que são ferramentas computacionais amplamente utilizadas para este tipo de avaliação. Um modelo muito utilizado para modelagem de regiões costeiras é o SisBaHiA[®] (Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental), um conjunto de modelos computacionais para corpos d'água naturais, desenvolvido pela setor de Engenharia Costeira e Oceanografia do Programa de Engenharia Oceânica da COPPE/UFPR. O

SisBaHiA[®] tem a capacidade de realizar modelagens bidimensionais (2DH) e tridimensionais (3D) da circulação hidrodinâmica e de transporte substâncias utilizando, para a discretização temporal, o método de diferenças finitas e, na discretização espacial, o método dos elementos finitos (ROSMAN, 2017).

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O principal objetivo deste trabalho é avaliar o efeito das emissões de efluentes domésticos na Baía de Guaratuba, analisando o risco e o impacto que as concentrações de coliformes termotolerantes ou *E.coli*, indicadores de contaminação fecal, podem gerar na região de produção de ostras, para diferentes cenários, usando a modelagem computacional.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definição da circulação hidrodinâmica da baía de Guaratuba, usando o SisBaHiA[®];
- Definição das cargas de esgoto doméstico para os diferentes cenários;
- Aplicação do modelo de transporte Lagrangeano do SisBaHiA[®];
- Determinação das concentrações de coliformes termotolerantes e *E.coli* na região das fazendas de produção de ostras;
- Avaliação dos riscos e impactos na região de cultivo das ostras;
- Definição de alternativas de localizações para novas fazendas de cultivo de ostras possam ser instaladas, a partir dos resultados obtidos.

3. REFERÊNCIAL TEÓRICO

3.1. BAÍA E ESTUÁRIOS

Entende-se por baía uma entrada do mar rodeada por terra em todos os lados, com a exceção de um deles que apresenta uma saída pro mar; normalmente possui a forma de uma concavidade sobre a costa litorânea, sofrendo os efeitos do mar aberto (HATJE e ANDRADE, 2009).

As baías são normalmente maiores que estuários comuns, onde praticamente cada saída fluvial acaba se tornando um estuário. Baías muitas vezes são chamadas de sistemas estuarinos, termo proposto inicialmente por Pritchard, em 1952 (HATJE e ANDRADE, 2009).

Muitas baías brasileiras possuem cidades em seu entorno, as principais delas são: baía da Guanabara com a cidade do Rio de Janeiro, baía de Todos os Santos com a cidade de Salvador, a baía de São Marcos com a cidade de São Luís, a baía da Babitonga com a cidade de Joinville, e em menor escala, no Paraná temos a baía de Paranaguá com a cidade de Paranaguá e a baía de Guaratuba com as cidades de Matinhos e Guaratuba. Todas essas baías possuem um problema em comum: o despejo de esgoto doméstico sem tratamento. Apesar de praticamente todas as cidades possuírem estações de tratamento de esgoto, uma grande quantidade desse esgoto chega clandestinamente a estas, e isso gera um grave problema na qualidade da água das baías, comprometendo os seus usos (COSTA, 2015).

Estuários são regiões costeiras semi-fechadas e possuem como característica principal, ser um ambiente de transição entre o continente e o oceano, basicamente, onde os rios encontram o mar, causando uma considerável diluição da água salgada. E por esses aspectos apresentam uma grande importâncias nos aspectos ecológicos, econômicos e sociais (MIRANDA et al., 2012)

Segundo Silva (2011), o ambiente estuarino pode ser dividido em 3 zonas, relacionando a interação entre o aporte fluvial e o prisma de maré: a zona estuarina fluvial, onde a salinidade das águas da regiões são próximas a zero, mas apresenta influência da maré, a zona de mistura, onde normalmente ocorre a mistura da água doce dos rios com a água salgada marinha, na

interface entre a zona fluvial e a zona de mistura encontra-se a zona de máxima turbidez, devido a alta concentração de sedimentos suspensos vindos tanto da frente fluvial quanto da frente e, por último, a zona estuarina costeira, onde a salinidade da região é muito próxima ou igual a salinidade do oceano.

3.2. CIRCULAÇÃO HIDRODINÂMICA

A movimentação das massas de água nas baías e estuários são ocasionadas pelas variações no nível do mar, pelo aporte fluvial, pelo vento e pela influência da circulação da plataforma continental (Figura 1).

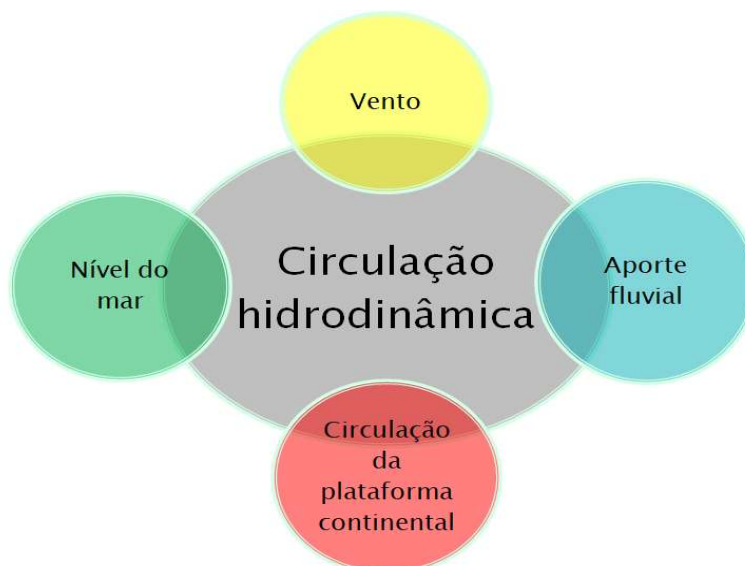


FIGURA 1 - Variáveis importantes na Circulação Hidrodinâmica de um corpo d'água.

A oscilação da maré astronômica, que está associada à variação do nível do mar, gera gradientes de superfície livre, ocorrendo normalmente em um intervalo de horas, sendo o principal responsável para a variação do nível do mar. O vento, em uma escala de tempo menor, também gera variações na superfície da água, criando um cenário dinâmico, facilitando os mecanismos de troca de massa de água entre oceano e baía, e dependendo da sua direção e velocidade, pode interferir na circulação da baía.

Outro importante forçante para a dinâmica de uma baía é o aporte fluvial, pois este tem a capacidade de “diluir” a água do mar, gerando assim diferença na densidade das águas de forma longitudinal e vertical, dependendo

da capacidade de influência da descarga fluvial e da variação da maré (MIRANDA et al., 2012).

Um dos principais forçantes da circulação hidrodinâmica em baías e estuários é a maré. Entende-se por maré uma oscilação vertical que ocorre na superfície marítima, sendo a Lua a principal responsável pela sua ocorrência, pois durante suas fases cheia e nova, conhecidas como maré de sizígia, apresentam marés com as maiores oscilações entre as marés altas (preamar) e marés baixas (baixa-mar). Já durante os quartos crescentes e minguantes, denominadas de marés de quadratura, as marés apresentam oscilações menores.

A baía de Guaratuba, assim como as outras regiões costeiras brasileiras, possui uma maré semidiurna e apresenta oscilações da maré de sizígia de 1,5 m e da maré de quadratura de 0,65 m. O prisma de maré médio durante a maré de sizígia é de $75 \times 10^6 \text{ m}^3$ e durante a maré de quadratura é de $32,6 \times 10^6 \text{ m}^3$ (MARONE et al., 2006).

Outro importante forçante para a circulação hidrodinâmica de uma baía, o vento pode agir diretamente sobre a superfície livre do sistema, responsável pela geração das ondas de gravidade (LOPES, 2010). Miranda *et al.* (2012) descrevem o vento como responsável pela mistura das massas de água e pela aeração das regiões estuarinas e costeiras, podendo gerar erosão dos gradientes de salinidade e aumentar a mistura vertical em estuários de grande área superficial.

O vento possui uma importância muito grande, gerando correntes induzidas em lagunas costeiras que possuem pequenas variações de maré, grandes extensões de água, baixa influência da vazão fluvial e pequenas profundidades (LACTEC, 2012).

A descarga fluvial, em estuários e baías, é muito importante para a definição da circulação hidrodinâmica e, quando somado a outros forçantes, como a influência das marés e dos ventos, é capaz de gerar estratificação na coluna d'água. A diferença da densidade entre a água marinha e a água dos rios pode gerar gradientes de pressão no sentido continente-mar, que variam sazonalmente devido aos ciclos de chuva, que influenciam a vazão dos rios. Essa mudança de densidade também pode gerar mudanças em escalas de tempo de horas, quando interagem com as marés.

Para a definição da circulação hidrodinâmica em baías, os modelos computacionais são amplamente utilizados, pois permitem simular a circulação em corpos d'água que costumam ser complexos, pois seus forçantes variam ao longo do tempo, e possuem diferentes efeitos em regiões diferentes na baía, como, por exemplo, a maré, o vento e o aporte fluvial.

O modelo de circulação hidrodinâmica é a base para uma posterior aplicação dos modelos de transporte de sedimentos, ou de plumas de contaminantes, pois são os forçantes influentes na circulação da baía que regem o transporte substâncias.

3.3. CARACTERÍSTICAS DOS EFLUENTES DOMÉSTICOS

Os efluentes de esgoto doméstico tratados nas estações de tratamento de esgoto (ETEs) devem ser dispostos no ambiente, podendo ser aplicado no solo ou, como é amplamente realizado, lançado em corpos d'água. Porém, essa disposição deve seguir uma as legislações ambientais, que visam encontrar a melhor solução para o efluente a ser lançado, desde o lugar de descarga até o nível de tratamento necessário para que a disposição do efluente gere um impacto ambiental aceitável (OLIVEIRA, 2006).

No Brasil, a principal legislação federal vigente para o lançamento de efluentes é a resolução CONAMA N°430 de 2011 que alterou a resolução CONAMA N° 357 de 2005. No entanto, cada órgão ambiental estadual tem autonomia para manter ou restringir ainda mais os padrões estabelecidos pela resolução CONAMA. As resoluções têm como objetivo classificar 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. Estes padrões são estabelecidos para manter a qualidade do corpo receptor e assim assegurar que as condições do corpo d'água sejam mantidas. Outro fator importante para essa manutenção da qualidade do corpo receptor são os limites máximos estabelecidos para o lançamento de efluentes no corpo d'água receptor (OLIVEIRA, 2006).

Para um melhor tratamento é importante conhecer as características do efluente bruto a ser tratado, para obter-se uma melhor eficiência. Segundo Von Sperling (2014) as características físico-químicas típicas dos esgotos sanitários de origem doméstica, que são normalmente utilizadas em estudos e projetos, estão apresentadas na Tabela 1.

As características biológicas que normalmente estão presentes nos esgotos domésticos, em termos de organismos patogênicos e indicadores, são mostradas na Tabela 2. Porém esses valores devem ser vistos como uma média de uma comunidade, pois em uma comunidade podem existir tanto indivíduos que não estão excretando organismos patogênicos, quanto, indivíduos infectados por organismos patogênicos.

TABELA 1 – CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO ESGOTO SANITÁRIO.

Parâmetro	Unidade	Concentração
Sólidos totais	mg/L	700 – 1350
Sólidos em suspensão	mg/L	200 – 450
Sólidos dissolvidos	mg/L	500 – 900
Sólidos sedimentáveis	mL/L	10 – 20
DBO ₅	mg/L	250 – 400
Matéria Orgânica	DQO	450 – 800
	DBO _{última}	350 – 600
Nitrogênio Total	mgN/L	35 – 60
Nitrogênio Orgânico	mgN/L	15 – 25
Amônia	mgNH ₃ ⁻ -N/L	20 – 35
Nitrito	mgNO ₂ ⁻ -N/L	≈ 0
Nitrato	mgNO ₃ ⁻ -N/L	0 – 1
Fósforo	mgP/L	4 – 15
Fósforo Orgânico	mgP/L	1 – 6
Fósforo Inorgânico	mgP/L	3 – 9
Ph	-	6,7 - 8,0
Metais Pesados	mg/L	Traços

Fonte: VON SPERLING (2014).

TABELA 2 - MICROORGANISMOS E PARASITAS PRESENTES NO ESGOTO DOMÉSTICO BRUTO.

Tipo	Organismo	Contribuição per capita (org/hab.dia)	Concentração (org/100 ml)
Bactérias	Coliformes Totais	$10^6 - 10^{10}$	$10^6 - 10^{10}$
	Coliformes Termotolerantes	$10^9 - 10^{13}$	$10^6 - 10^9$
	<i>E. coli</i>	$10^9 - 10^{12}$	$10^6 - 10^9$
	<i>Clostridium perfringens</i>	$10^9 - 10^{12}$	$10^3 - 10^5$
	Enterococos	$10^6 - 10^8$	$10^4 - 10^5$
	Enterococos fecais	$10^7 - 10^8$	$10^4 - 10^7$
	<i>Salmonella</i>	$10^5 - 10^7$	$10^2 - 10^4$
Protozoários	<i>Cryptosporidium parvum</i> (oocitos)	$10^5 - 10^7$	$10^1 - 10^3$
	<i>Entamoeba histolytica</i> (cistos)	$10^4 - 10^6$	$10^1 - 10^5$
	<i>Giardia lamblia</i> (cistos)	$10^4 - 10^8$	$10^1 - 10^4$
Helmintos	Helmintos (ovos)	$10^4 - 10^7$	$10^0 - 10^3$
	<i>Ascaris lumbricóides</i>	$10^1 - 10^6$	$10^2 - 10^3$
Vírus	Vírus entéricos	$10^5 - 10^7$	$10^2 - 10^4$
	Colifagos	$10^6 - 10^7$	$10^3 - 10^4$

Fonte: VON SPERLING (2014).

3.4. INDICADORES DE BALNEABILIDADE

Bactérias indicadoras de contaminação fecal são amplamente utilizadas para a avaliação dos padrões de balneabilidade, devido às altas concentrações destes microorganismos em águas residuais. Uma combinação de fatores, tais como: advecção, dispersão, diluição inicial e decaimento, são responsáveis pela redução da concentração inicial dessas bactérias.

A relação entre o aumento da concentração de coliformes termotolerantes e a ocorrência de patogênicos nas águas costeiras vem sendo bastante estudada. Menon (1985) realizou um estudo em águas estuarinas, que recebia efluentes domésticos e de indústrias de alimento, e mostrou que para concentrações de coliformes termotolerantes superiores a 2000 NMP/100 ml a presença de *Salmonella spp* era constante, já para concentrações inferiores a 200 NMP/100 ml a presença de *Salmonella spp* era ocasional. Sendo assim, foi possível concluir que para altas concentrações de coliformes termotolerantes, a *Salmonella spp* estará presente, mas a ausência de

coliformes termotolerantes não necessariamente indica ausência de *Salmonella spp* ou de outros agentes patogênicos.

Os coliformes termotolerantes estão presentes nas fezes humanas e nas fezes de animais de sangue quente, e ainda podem ocorrer em solos, plantas e outras áreas ambientais que não tenham sofrido uma contaminação de origem fecal. Pertencente ao grupo coliforme (coliformes totais), um subgrupo de bactérias, podem-se incluir dentro deste subgrupo alguns gêneros como: *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter* e *Klebsiella*, e estes três últimos, não possuem obrigatoriamente uma origem fecal (VON SPERLIN, 2014).

A distinção entre coliformes termotolerantes e coliformes totais é feita em laboratório, por meio de ensaios através da variação de temperatura, pois os coliformes termotolerantes permanecem vivos em culturas a 44 °C, enquanto os coliformes totais possuem crescimento máximo a 35 °C.

Os gêneros *Klebsiella* e *Enterobacter*, apesar de agrupadas no subgrupo dos coliformes termotolerantes, têm sido isolados em ambientes aquáticos que não sofreram poluição por matéria fecal. Então, de acordo com esses resultados, o uso da *Escherichia coli* (*E.coli*), que possui comprovadamente origem fecal, como indicador de contaminação em corpos d'água, vem sendo amplamente utilizada. A *Escherichia coli* é uma bactéria da família *Enterobacteriaceae*, responsável pela produção de indol, um composto orgânico, presente nas fezes humanas, que gera um odor fecal intenso, formado a partir do aminoácido triptofano. Pertence ao grupo dos coliformes termotolerantes, é a única que vive exclusivamente no intestino humano e dos animais de sangue quente, onde se encontra em grandes concentrações (CONAMA Nº 375, 2005). Está presente naturalmente na flora intestinal, e assim é sempre encontrado nas fezes, sem causar sintomas ao hospedeiro, tanto é que é o coliforme termotolerante predominante comparada aos outros coliformes termotolerantes, estando presente nas fezes humanas em 96,8% (VON SPERLING, 2014). A *Escherichia coli* vem sendo amplamente utilizada nos principais estudos relacionados à balneabilidade, e com os dados coletados em campo, pode-se estimar o risco de contração de doenças em função da concentração de *E.coli* presente nos corpos hídricos.

3.5. TEMPO DE DECAIMENTO

A utilização de modelos para a determinação do decaimento bacteriano de indicadores de contaminação fecal é muito importante para a obtenção dos níveis de concentração dos microorganismos presentes nos ambientes marinhos (FEITOSA, 2007). A taxa de decaimento quase sempre utilizada nos modelos numéricos é representada pelo parâmetro T90, que é o tempo necessário para que 90% da população inicial de bactérias sejam reduzidos (ROSMAN, 2017).

Muitos fatores podem influenciar no decaimento bacteriano, os principais deles podem ser classificados em três categorias: físicos, físico-químicos, bioquímico-biológicos. Porém, considerando todos estes fatores, os principais modelos, citados por Feitosa, 2007 são: MANCINI (1978), CHAMBERLIN & MITCHELL (1978) ŠOLIĆ & KRSTULOVIC (1992), CANTERAS et al. (1995). Estes modelos utilizam para o decaimento bacteriano as variações de radiação solar, temperatura e salinidade (FEITOSA, 2007), assim como o SisBaHiA®, como observa-se na Figura 2.

A radiação solar é o parâmetro mais importante para a obtenção da taxa de decaimento bacteriano, e apresenta fortes relações entre sua incidência e a mortalidade dos coliformes. A radiação solar é importante nos primeiros 30 metros de profundidade, sendo esta profundidade variável, pois depende da turbidez da água e do comprimento de onda da radiação solar incidente. Após esse limite de profundidade, o efeito da radiação solar na taxa de decaimento bacteriano se torna praticamente nulo (ROSMAN, 2017). Tanto coliformes termotolerantes quanto estreptococos fecais, na ausência de radiação solar, podem sobreviver dias em águas marinhas.

As mudanças de temperatura afetam os microorganismos em algumas de suas atividades, como: sua composição química, ou a velocidade de crescimento, a atividade enzimática ou ainda suas exigências nutricionais. As variações de temperatura influenciam diretamente a taxa de decaimento de bactérias do grupo coliforme, ou seja, quanto maior a temperatura, maior a taxa de decaimento. A maior influência das variações de temperatura no decaimento bacteriano dá-se principalmente na ausência de radiação solar, já que em regiões superficiais e com alto índice de radiação solar, o efeito da temperatura

acaba sendo pouco relevante comparado ao efeito da radiação (FEITOSA, 2007).

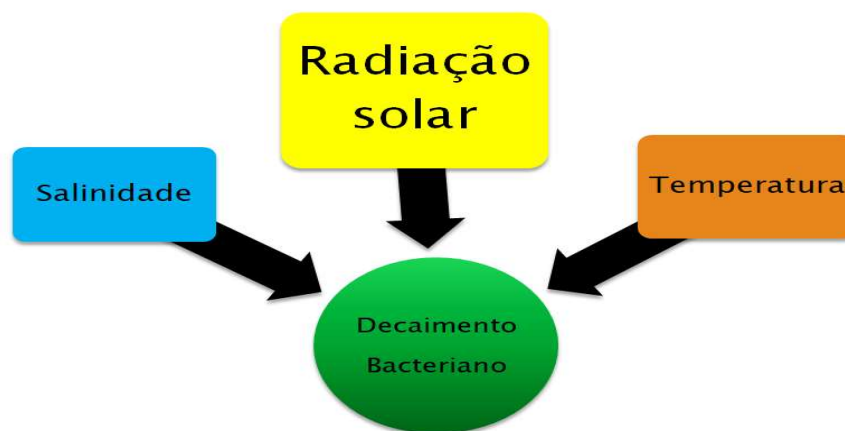


FIGURA 2 - Variáveis utilizadas nos principais modelos de decaimento bacteriano.

Quando em contato com águas marinhas, as bactérias, sofrem um choque osmótico repentino, e essa variação na concentração de sais influencia a sobrevivência destes microorganismos em ambientes de água salgada, alterando principalmente a velocidade de crescimento, a fisiologia e a reprodução dos microorganismos.

O aumento da salinidade provoca um aumento na taxa de decaimento bacteriano, como por exemplo, as espécies *S. typhimurium* e *E.coli*, que na ausência de radiação solar, apresentam um decaimento mais rápido quando são passados de um ambiente pouco salino para um altamente salino (ROSMAN, 2017)

4. ÁREA DE ESTUDO

A baía de Guaratuba localiza-se na costa litorânea do Estado do Paraná, tendo como limites, a oeste, a Serra do Mar, e a leste, o oceano Atlântico, sendo a segunda maior baía do estado do Paraná, com 48,72km² de área. Se encontra entre os paralelos 25° 47' 40" e 25° 54' 52" de latitude Sul e 48° 30' 48" e 48° 44' 27" de longitude Oeste (ZEM, 2005).

Praticamente toda a bacia de contribuição e a baía de Guaratuba estão inclusas na Área de Proteção Ambiental (APA) de Guaratuba, criada em 1992, pelo Decreto Estadual 1234, sendo única exceção uma parte da área urbanizada do município de Guaratuba, como mostra a Figura 3. A APA de Guaratuba abrange inclusive as regiões onde existe a prática da ostreicultura (criação de ostras) prática que teve início nos anos 90 e vem crescendo na região (MAFRA, 2007).

Além disso, a APA de Guaratuba também inclui duas unidades de conservação, o Parque Estadual Boguaçu e uma boa parte do Parque Nacional de Saint-Hilaire Lange, no município de Matinhos.



FIGURA 3 - Mapa da APA de Guaratuba.
Fonte: Plano Diretor de Guaratuba (2015).

Com orientação leste-oeste, a baía de Guaratuba pode ser considerada corpo de água raso, com 16 km de comprimento, 3 km de largura (ÂNGULO, 1992). Comunica-se com o oceano Atlântico por uma pequena abertura de aproximadamente 500 m, limitada, ao norte pela Serra da Prata e ao sul pelo Morro de Guaratuba, como mostra a Figura 4 (ZEM, PATCHINEELAM, MARONE, 2005).

As duas principais cidades na baía de Guaratuba são Guaratuba e Matinhos. Segundo estimativa do IBGE a população da cidade de Guaratuba, em 2017, é de 35.986 habitantes, e a da cidade de Matinhos é de 33.450 habitantes (IBGE, 2017).

Durante o verão, essa população aumenta quase 20 vezes, devido ao atrativo turístico de suas praias, chegando a aproximadamente 700 mil pessoas em Guaratuba e 500 mil em Matinhos, considerando as praias de Matinhos e Caiobá; esse levantamento foi feito pelos empresários da Assindilitoral (Associação de Hotéis, Pousadas, Restaurantes, Bares, Casas Noturnas e Similares do Litoral Paranaense).

Esse aumento populacional traz um benefício econômico importante para a região, porém também gera uma série de problemas, e entre eles estão um grande aumento na produção de resíduos sólidos e da carga de efluentes domésticos, sendo o segundo objeto deste estudo.



FIGURA 4 - Localização da Baía de Guaratuba.
Fonte: CASTILHO (2012)

As vazões de todas as bacias hidrográficas que chegam à baía de Guaratuba, juntamente com a maré e o vento, são responsáveis pela circulação hidrodinâmica que gera o campo de velocidades, sendo estes componentes responsáveis pelo transporte e distribuição de sedimentos e/ou contaminantes presentes na baía.

Zem (2005) estudou a dinâmica sedimentar da baía de Guaratuba, definindo a distribuição de sedimentos com dados coletados em 2003, comparando com os dados dos anos de 1988/1989, apresentados por BARBOSA (1991), apesar de utilizar diferentes pontos de coleta de sedimentos, e verificou que houve uma mudança na distribuição do diâmetro médio dos sedimentos na baía. Uma comparação entre os dois levantamentos pode ser observada na Figura 6.

Marone *et al.* (2006) estudaram a circulação hidrodinâmica da baía de Guaratuba, e concluíram que o principal forçante na baía de Guaratuba é a maré, seguido pela descarga fluvial. Também mediram a curva de maré da baía de Guaratuba, para um período de 100 dias, como mostra a Figura 7.

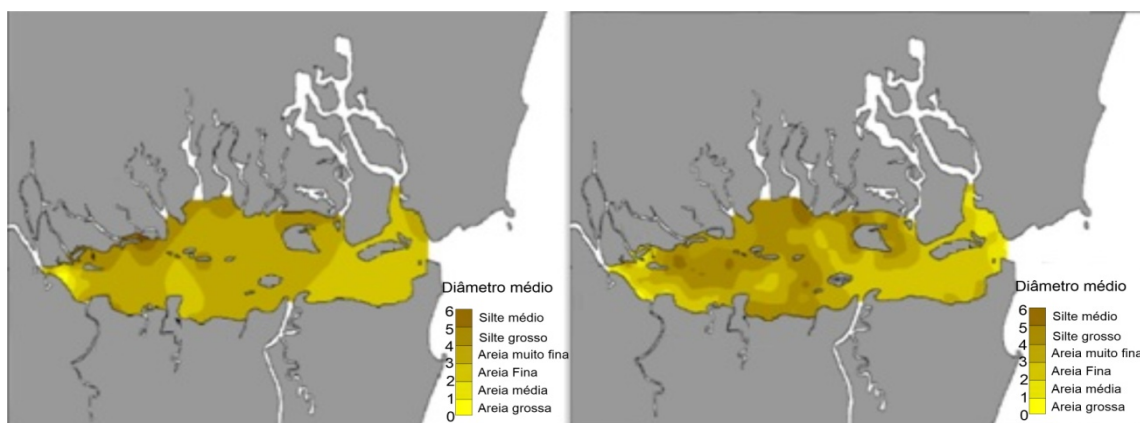


FIGURA 6 - Sedimentos no fundo da Baía de Guaratuba, em 1989 (à esquerda) e 2003 (à direita).

Fonte: ZEM (2005)

Já Brandini *et al.* (2008) investigaram a origem, o metabolismo, o balanço de massa e o destino da matéria orgânica biogênica, em relação as forçantes hidrodinâmicas e meteorológicas nos estuários na Baía de Guaratuba observaram que na distribuição espacial dos nutrientes os rios são as principais fontes de nitrato, seguido pelos manguezais, que também influenciam as variações de pH, CO₂, N:P, entre outros. As altas concentrações de CO₂ e os níveis de oxigênio dissolvido indicam a predominância de heterotrofia em

relação à autotrofia, principalmente nos setores central e montante da baía de Guaratuba, durante o período de chuvas. Também concluíram que o tempo de residência médio anual, em alguns locais da baía, chega a 9 dias. E que durante o inverno, a estação mais seca, a baía exporta água para o oceano a uma taxa de $5,34.10^6 \text{ m}^3/\text{d}$; e durante o verão (estação chuvosa) exporta água a uma taxa de $8,03.10^6 \text{ m}^3/\text{d}$.

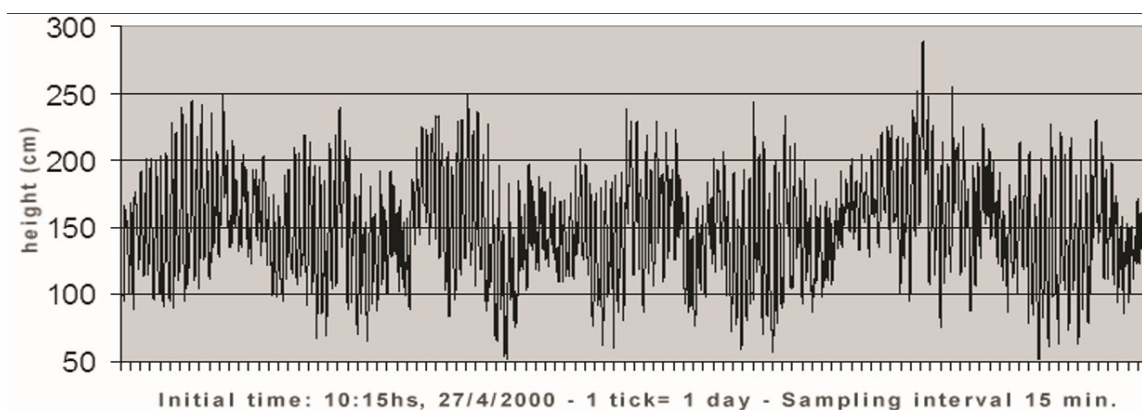


FIGURA 7 - Maré na baía de Guaratuba medida a cada 15 minutos, durante 100 dias.

Fonte: MARONE (2006)

4.1. CULTIVO DE OSTRAS

Na região da baía de Guaratuba, uma das principais fontes de renda é o cultivo de ostras, que acontece tanto nos bancos naturais de ostras quanto nas fazendas de cultivo de ostras, nos últimos anos, as fazendas de cultivo têm sido mais utilizadas, considerando que as ostras dos bancos naturais existentes estão cada vez mais escassas (CASTILHO, 2012). A Figura 8 mostra a região na baía de Guaratuba onde ocorre o cultivo de ostras.

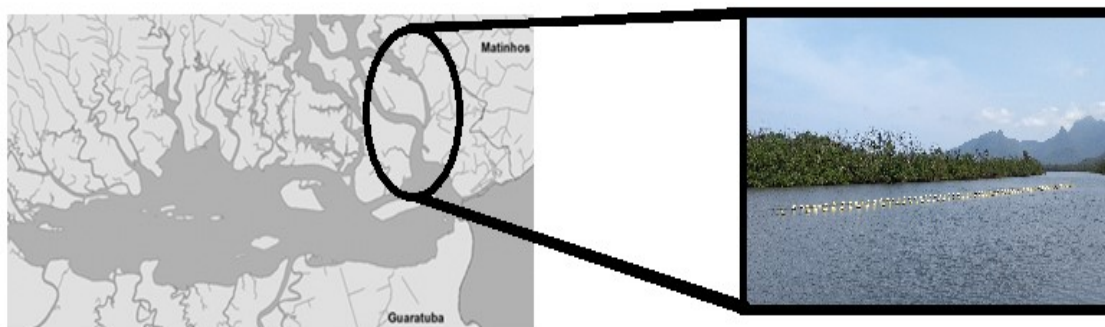


FIGURA 8 - Área de cultivo de ostras na baía de Guaratuba

As duas espécies mais encontradas na Baía de Guaratuba são a *Crassostrea rhizophorae* e a *Crassostrea brasiliana* (Figura 9). A *Crassostrea brasiliana* é a maior das duas e também é a que melhor se adapta ao cultivo, pois possui uma alta taxa de crescimento, enquanto a *Crassostrea rhizophorae* é a mais encontrada nos bancos naturais de ostras na baía.

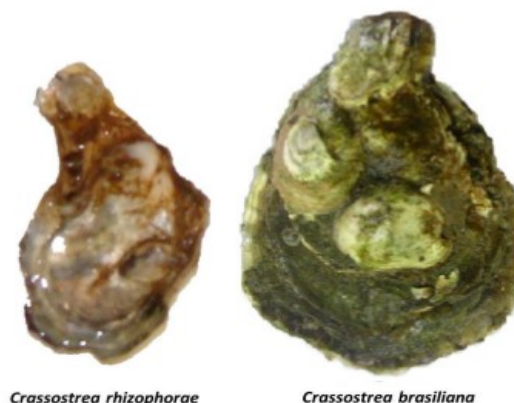


FIGURA 9 - *Crassostrea rhizophorae* e *Crassostrea brasiliana*.
Fonte: CASTILHO (2012)

As ostras extraídas possuem algumas destinações (Figura 10), sendo a principal delas a venda para intermediários, que em seguida vendem para os consumidores finais.

A produção e a extração de ostras aumentam durante os meses de dezembro e janeiro. Também ocorrendo nos feriados nacionais, devido ao atrativo turístico da região (CASTILHO, 2012).



FIGURA 10 - Destinação das ostras produzidas na Baía de Guaratuba.
Fonte: CASTILHO (2012)

As ostras são moluscos bivalves, ou seja, são animais filtradores, pois se alimentam de partículas em suspensão na água. Sua alimentação ocorre através de suas duas valvas que permanecem ligeiramente abertas, o fluxo de água passa por essa pequena abertura, e chega até as brânquias, que funcionam com filtros, e concentram as partículas orgânicas, algas microscópicas e organismos plantônicos que são alimentos para as ostras. Uma ostra pode filtrar até 10 L de água por hora, e aproximadamente 200 L por dia. Devido a essa característica filtradora as ostras acabam se tornando reservatórios de vários patógenos humanos, pois podem bioacumular bactérias, como a *Salmonella* e a *Shigella*, ou vírus entéricos e protozoários, em razão de uma contaminação fecal nos locais de cultivo (CORRÊA, 2006).

Quando as ostras filtram águas contaminadas com patógenos humanos, elas não apresentam nenhum sinal de contaminação em seu sabor, odor, ou mudam de cor. Mas se forem ingeridos crus ou mal cozidos, podem provocar sintomas ou graves doenças aos humanos.

Por isso, para o cultivo de moluscos bivalves destinados à alimentação humana, algumas análises devem ser feitas, conforme descrito na resolução CONAMA 357 de 2005. Sendo necessário um mapeamento das áreas e uma avaliação microbiológica e físico-química da água. Também deve ser feita uma média geométrica da densidade de coliformes termotolerantes na água de cultivo, de um mínimo de 15 amostras coletadas no mesmo local, que não deve ultrapassar 43 indivíduos por 100 ml, e o percentil 90% não deve exceder 88 coliformes termotolerantes por 100 ml. Esse monitoramento deve ser anual, com um mínimo de cinco amostras. A *E. coli* também pode ser utilizada como parâmetro em substituição aos coliformes termotolerantes. E a partir de 1995, segundo o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis (IBAMA), esse monitoramento é de responsabilidade dos próprios maricultores (CORRÊA, 2006).

Porém, apenas um monitoramento das águas de cultivo não é suficiente para esclarecer se a carne dos moluscos bivalves está livre de patógenos. Por exemplo, na Europa, foi criada em 1991, a Diretriz Europeia 91/492/EEC, que estabelece as normas sanitárias para a produção e comercialização dos moluscos bivalves no mercado comum europeu. As áreas

de cultivo são classificadas de acordo com a qualidade microbiológica da carne dos moluscos produzidos. As classes podem ser observadas na Tabela 3.

TABELA 3 – CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS DE CULTIVO DE MOLUSCOS BIVALVES, SEGUNDO A DIRETRIZ EUROPEIA 91/492/EEC

Classe	Concentração CT (NMP/100g)	Concentração <i>E.coli</i> (NMP/100g)	Destino Final
A	[CT] > 300	[<i>E.coli</i>] > 230	Alimentação humana
B	[CT] > 6.000	[<i>E.coli</i>] > 4.600	Levadas para áreas de Classe A
C	6.000 < [CT] > 60.000	----	Tratamento e purificação por no mínimo 2 meses

Fonte: CORRÊA (2006)

Segundo Mafra (2007), a ostreicultura na baía de Guaratuba, teve início na década de 1990, e é realizada em diferentes escalas, ou seja, tanto por empresários que resolveram investir no cultivo de ostras, quanto por pescadores que viram nas ostras uma forma de complementar a renda familiar. Mafra (2007) entrevistou os produtores de ostras, e verificou que a produção de ostras na baía chega a 60 mil dúzias por ano e que a maior parte dos produtores utiliza a ostreicultura como atividade secundária para compor a renda, pois a venda de ostras ainda é muito restrita e pontual durante as épocas de maior movimento no litoral. Como efeito de comparação o município o estado de Santa Catarina, produziu cerca de 1,6 milhões de dúzias de ostras durante o ano de 2002, considerando que esta é uma cultura vem crescendo nos últimos anos, este valor deve ser ainda maior nos dias atuais (DEMARCHI, 2003).

Segundo Christo *et al.* (2008), as espécies nativas de ostras da Baía de Guaratuba (*Crassostrea brasiliiana* e *Crassostrea rhizophorae*) possuem uma grande capacidade de filtração, e assim podem se tornar agentes patogênicos ao homem, quando mantidas em ambientes poluídos. E devido ao crescimento

das fazendas de cultivo de ostras, Christo *et al.* (2008) estudaram a contaminação por coliformes totais e *E.coli*, das águas em duas áreas de cultivos. A análise foi realizada através da Técnica do Substrato Cromogênico Definido. Os resultados demonstraram altos valores de coliformes nos dois pontos e *E.coli* em um dos pontos, sendo proposta a necessidade de depuração das ostras para o consumo *in natura* e de um monitoramento constante nas áreas de cultivo de moluscos.

Castilho (2012) analisou a importância da criação do Projeto Cultimar, desenvolvido, em 2006, pelo Grupo Integrado de Aquicultura e Estudos Ambientais (GIA) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), pois antes deste projeto a ostreicultura na baía de Guaratuba e no Complexo Estuarino de Paranaguá sofria com a falta de tecnologia, conhecimento técnico e incentivo à atividade, tornando a maricultura apenas uma atividade complementar à renda familiar. O Projeto Cultimar durante os seus seis anos de duração realizou várias ações técnicas, capacitações e pesquisas com as ostras nativas, acompanhando as ostras cultivadas na região da baía, através de análises microbiológicas periódicas, mostrando aos produtores de ostras a importância de manter um monitoramento da qualidade da água em torno do local de cultivo (CULTIMAR, 2013)

Este estudo também buscou novos conhecimentos sobre a espécie de ostra, *Crassostrea* *brasiliensis*. Essa espécie é reconhecida pelos produtores como a mais adequada para os cultivos feitos em sistemas fixos flutuantes e também é largamente extraída do ambiente para comercialização ou como semente para o abastecimento dos cultivos. Por fim, este projeto buscou informação para ampliar a ostreicultura paranaense, com o aumento da eficiência produtiva e com a redução dos impactos ambientais gerados por essa atividade.

Neto *et al.* (2012) avaliaram a produção de ostras da espécie *Crassostrea*, na baía de Guaratuba, e observaram que esta atividade ainda é uma mistura entre maricultura e extrativismo. Para um melhor desenvolvimento dessa produção foram analisadas algumas variáveis genéticas, reprodutivas e zootécnicas. Foram feitas seis avaliações entre setembro de 2009 e fevereiro de 2011, onde foi avaliada a qualidade da água, as larvas de ostras no plâncton, a captura de cuspe de ostras, a identificação molecular do cuspe e

larvas coletadas. Os resultados mostram que a temperatura, a concentração de Oxigênio Dissolvido e a transparência da água são os fatores que mais influenciaram o ciclo reprodutivo e o crescimento das ostras.

Franceschi et al. (2009) analisaram a contaminação por coliformes totais, coliformes termotolerantes, *Salmonella* sp. e *Staphylococcus* coagulase positiva, na carne de ostras da espécie (*Crassostrea Rhizophorae*) coletadas em 4 pontos da baía de Guaratuba que possuíam bancos naturais de ostras. Constataram que a contaminação por coliformes totais e termotolerantes nas ostras teve relação direta com o aumento da população durante o verão, sendo o ponto de maior contaminação a Marina do Sol, próximo a área urbana de Guaratuba, porém, notou-se que houve uma redução considerável dos níveis de coliformes nas ostras, após o retorno dos turistas para seus locais de origem.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. SisBaHiA[®]

Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental, SisBaHiA[®], é um sistema formado por um conjunto de modelos computacionais, capaz de determinar a circulação hidrodinâmica e o transporte de substâncias em corpos d'água rasos.

O SisBaHiA[®] está em constante aprimoramento através de teses de mestrado e doutorado, e de trabalhos nacionais e internacionais. Contempla os seguintes modelos: Modelo de Circulação Hidrodinâmica Tridimensional e Modelo de Circulação Hidrodinâmica Bidimensional, Modelos de Transporte Euleriano, Modelo de Transporte Lagrangeano–Determinístico, Modelo de Transporte Lagrangeano–Probabilístico, Modelo de Campo Próximo para Emissários e Fontes Pontuais, Modelos de Transporte de Sedimentos Coesivos e Não Coesivos e Evolução Morfológica do Fundo, Modelo de Qualidade da Água e Eutrofização, Modelo de Geração de Ondas, Modelo de Propagação de Ondas, Módulo de Análise & Previsão de Marés (ROSMAN, 2015).

5.2. MODELO HIDRODINÂMICO¹

O modelo de Circulação Hidrodinâmica Bidimensional do SisBaHiA[®] tem a capacidade de calcular a elevação da superfície livre e as componentes das velocidades nas direções longitudinais e transversais. Este modelo é formado pelas Equações da Continuidade, da Conservação da Quantidade de Movimento e pelas condições de contorno; a discretização espacial é feita usando o método dos elementos finitos e na discretização temporal é usado o método das diferenças finitas.

Os forçantes e as condições de contorno devem passar por uma verificação abrangente, pois os modelos de circulação hidrodinâmica são muito sensíveis a mudanças nas condições de contorno. E também deve-se garantir que os forçantes dos escoamentos (curvas de maré, ventos e vazões fluviais) estejam implementados corretamente no sistema de modelos.

¹ Adaptado de ROSMAN, 2017

Cada cenário de interesse possui seus forçantes e condições de contorno, gerando um modelo hidrodinâmico próprio para cada cenário

5.3. MODELO DE TRANSPORTE LAGRANGEANO²

O modelo de Transporte Lagrangeano advectivo-difusivo do SisBaHiA[®], 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 fontes de pequena escala e que apresentam fortes gradientes de concentração.

Neste modelo, um determinado número de partículas é lançado na região de interesse em intervalos de tempos regulares. E essas partículas são lançadas aleatoriamente, são advectadas pelas correntes e difundidas. A posição da partícula no instante seguinte, P^{n+1} , é determinada pela expansão em série de Taylor, a partir da posição anterior já conhecida, P^n , descrita por (1)

$$P^{n+1} = P^n + \Delta t \frac{dP^n}{dt} + \frac{\Delta t^2}{2!} \frac{d^2P^n}{dt^2} + \text{T.A.D} \quad (1)$$

onde T.A.D são os termos de alta ordem, que são desprezadas. As derivadas temporais da posição (P^n) são obtidas através do campo de velocidades hidrodinâmico, conforme (2) e (3):

$$\frac{dP}{dt} = \vec{V}(u, v, w) \quad (2)$$

$$\frac{d^2P^n}{dt^2} = \frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + u \frac{\partial \vec{V}}{\partial x} + v \frac{\partial \vec{V}}{\partial y} + w \frac{\partial \vec{V}}{\partial z} \quad (3)$$

Onde u , v e w são as componentes da velocidade nas direções x , y e z , respectivamente. Esse tipo de modelo utiliza o campo de velocidades obtido no modelo de circulação hidrodinâmica.

² Adaptado de ROSMAN, 2017

Cada partícula representa o centróide de uma mancha individual, assim, o volume de integração dessa mancha individual deve ser igual a massa da partícula. A forma da mancha individual depende da função de distribuição de massa adotada. As manchas individuais são normalmente muito pequenas comparadas ao domínio de interesse, podendo ser consideradas localmente homogêneas, mas não obrigatoriamente isotrópicas. Para as condições de homogeneidade local, funções Gaussianas de distribuição de massa em torno do centróide de uma dada mancha individual é uma boa aproximação. Com uma função de distribuição, e um determinado valor detectável de concentração, é possível calcular o tamanho da mancha individual e compará-la ao tamanho da célula da grade de distribuição.

Para efluentes lançados de uma fonte, a quantidade de massa (M_a) de uma espécie presente em todas as partículas no domínio do modelo é dada por (4):

$$M_a = \frac{QC_a \cdot \Delta\tau}{N_p} \quad (4)$$

onde Q é a descarga da fonte, C_a é a concentração da substância na descarga da fonte, e N_p é o número de partículas que entra no domínio, por passo no tempo $\Delta\tau$. Cada partícula, na sua posição inicial, é atribuída aleatoriamente dentro da região fonte. A região fonte é definida de forma que a concentração na fonte é igual a que se observa ao final do processo inicial de diluição, dentro do campo próximo de mistura da pluma do poluente.

Pode-se determinar o campo de concentração de várias formas diferente, uma vez que a mancha de partículas, nuvem ou pluma é definida. Um ponto importante é determinação da malha em que a massa de cada partícula será distribuída em cada célula. O tamanho da malha, que vai definir o tamanho de cada célula, deve ser pequeno em relação à escala espacial da pluma. A quantidade de massa de uma dada partícula pode ser determinada em uma célula, i , da malha de concentração, e possui como centro a posição $(x, y, z)_i$, é determinada por (5):

$$m_{ai}(x, y, z) = \frac{M_a R(t_v) f}{\sum_{n=1}^{N_p} f_n} \quad (5)$$

sendo f uma função de distribuição espacial, $R(t_v)$ é uma função de reação cinética, t_v é o tempo de vida da partícula e N_p é o número de partículas que contribui para a quantidade de massa em uma determinada célula da malha de concentrações. Sendo assim, as partículas terão as massas de cada espécie distribuídas pelas células de malha e, por fim, a concentração de cada substância, em uma dada célula, acaba se tornando a quantidade de massa daquela substância presente na célula, dividida pelo volume dessa célula.

A quantidade total de massa (QT) liberada por uma fonte que possui uma carga QQ/s, em que S é o fator de diluição inicial, em um determinado intervalo de tempo ($\Delta\tau$), está descrita na equação (6):

$$QT = \frac{QQ}{s} \cdot \Delta\tau \quad (6)$$

Se em cada $\Delta\tau$, um número de partículas (N_p) é lançada, a quantidade inicial de cada partícula (m_0) será, segundo a equação (7):

$$m_0 = \frac{QT}{N_p} = \frac{\frac{QQ}{s} \cdot \Delta\tau}{N_p} \quad (7)$$

A quantidade que fica em cada partícula ($m(t_v)$), é função do seu tempo de meia vida (t_v). Podendo especificar reações cinéticas $R(t_v)$ que mudam a quantidade inicial da cada partícula, como na equação (8):

$$m(t_v) = m_0 R(t_v) \quad (8)$$

No SisBaHiA[®], as reações cinéticas são de primeira ordem e podem ser escritas pelo parâmetro T90, ou seja, o tempo de vida para o decaimento de 90% do valor inicial ou redução de uma ordem de grandeza. A reação cinética pode ser escrita como na equação (9):

$$R(t_v) = \exp(-K_D t_v) \quad (9)$$

5.4. MODELO DE DECAIMENTO BACTERIANO³

O modelo de decaimento bacteriano adotado pelo SisBaHiA[®] é o modelo proposto por Mancini (1978), que utiliza os efeitos da radiação solar, da salinidade e da temperatura para calcular o decaimento das bactérias do grupo coliforme tanto para águas doces, quanto para águas salgadas.

Este modelo é baseado em valores obtidos na literatura, em experimentos em laboratórios e com dados em campos. Assim, a taxa de decaimento bacteriano é função da radiação solar, da temperatura e da salinidade, descrita na equação (10):

$$K_D = \left(0,8 + 0,6 \frac{S}{35}\right) 1,07^{(T-20)} + \bar{I} \quad (10)$$

Onde K_D é a taxa de decaimento (/dia), S é a salinidade (ups), T é temperatura (°C), $\bar{I}$ é a radiação solar média na espessura da pluma em langleys/hora, (langleys = 1cal/cm²).

O parâmetro mais influente na determinação do T90 é a radiação solar; assim é necessária sua quantificação em função da profundidade em que a pluma de contaminante se encontra. A diminuição da intensidade da radiação solar acontece de forma exponencial em relação à profundidade, calculado no SisBaHiA[®] como função de K_D , descrita na equação (11):

$$K_D = \frac{2,30}{T_{90}} \quad (11)$$

As Figuras 11 e 12 mostram diferentes curvas de decaimento de coliformes termotolerantes ou E.coli para diferentes horários de lançamentos, para a baía de Guaratuba, durante o verão e o inverno, respectivamente, considerando as variações de temperatura, salinidade e valores de radiação solar. É possível observar uma importante variação nos valores de T90, de acordo com a variação da radiação solar. Para a construção das curvas, a temperatura da água foi de 27⁰C, durante o verão, e 20°C durante o inverno a

³ Adaptado de ROSMAN, 2017

salinidade de 28 psu, para os dois cenários e a radiação solar foi calculada considerando diferentes coberturas de nuvens, neste trabalho' foi utilizada a condição de céu aberto, tanto para o verão quanto para o inverno.

Nota-se que os menores valores de T90 são por volta das 12h; durante a noite, os valores de T90 aumentam muito, comprovando assim o forte efeito da radiação solar sobre o tempo de decaimento dos coliformes termotolerantes ou *E.coli*.

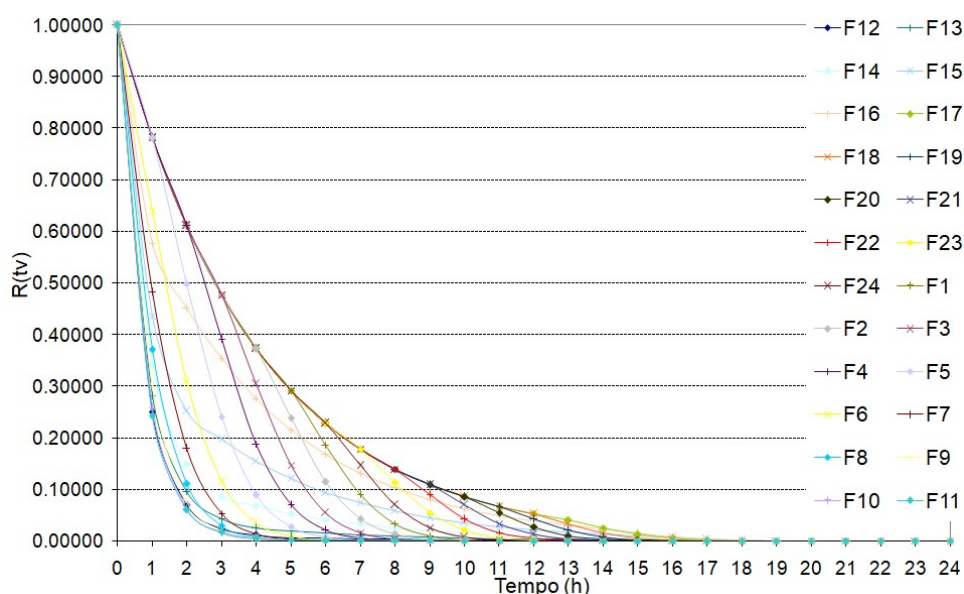


FIGURA 11 - Curvas de decaimento de coliformes termotolerantes ou *E.coli*, para um dia de verão com céu aberto, a partir da hora em que foi lançado. Fonte: FEITOSA (2007).

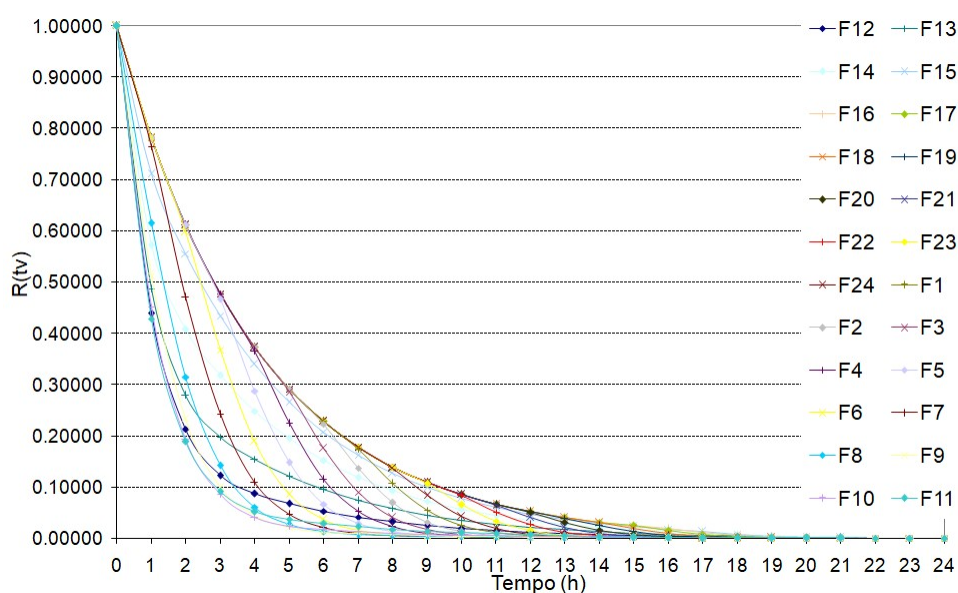


FIGURA 12 - Curvas de decaimento de coliformes termotolerantes ou *E.coli*, para um dia de inverno com céu aberto, a partir da hora em que foi lançado. Fonte: FEITOSA (2007).

5.5. APLICAÇÃO DOS MODELOS À BAÍA DE GUARATUBA

Para a aplicação dos modelos de circulação hidrodinâmica e do transporte Lagrangeano na baía de Guaratuba foi necessário definir o domínio de modelagem e os principais forçantes: a maré, a vazão fluvial e o vento e assim, fornecer ao sistema os dados correspondentes. E ainda, os pontos de lançamento dos efluentes de esgoto também devem ser definidos dentro do domínio.

A Figura 13 mostra a malha de elementos finitos quadráticos usada na discretização do domínio, a partir de elementos quadrangulares sub-paramétricos Lagrangeanos, que foi usada como base para a simulação dos padrões de circulação e para o modelo de transporte Lagrangeano.

O *Google Earth* foi utilizado para obtenção de detalhes sobre os contornos da baía, definido também a partir dos dados disponíveis na Carta Náutica nº1803 da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). Com o contorno definido, a malha foi construída usando o programa *Argus ONE*. A malha estabelecida possui 4275 nós e 936 elementos, e uma área de 49,26km².

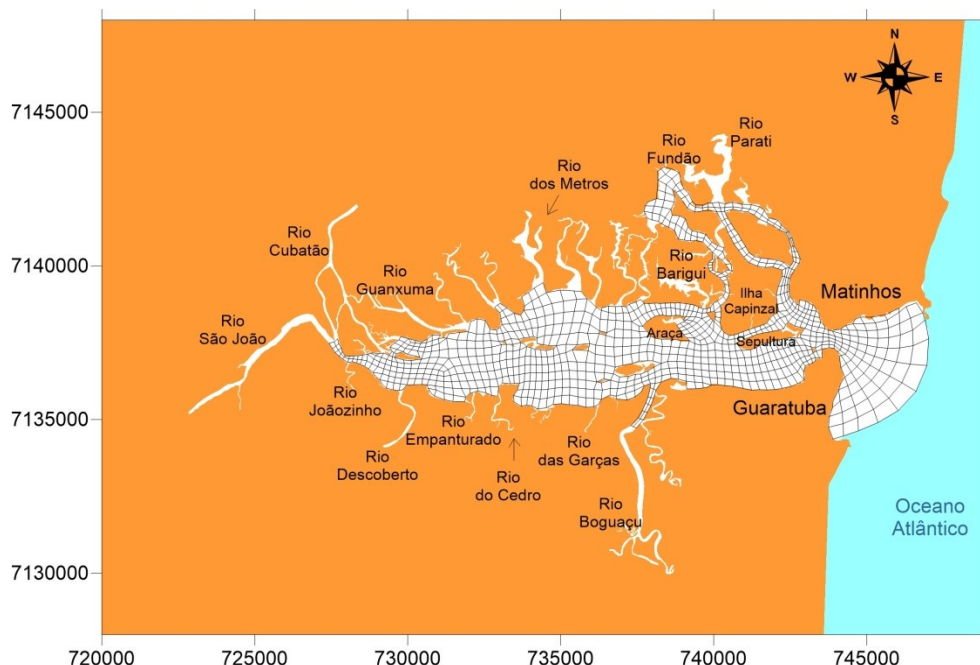


FIGURA 13 – Domínio de modelagem para o sistema da Baía de Guaratuba com a malha de elementos finitos.

A batimetria foi obtida a partir da Carta Náutica (nº1803), da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) e dos dados disponíveis em Zem (2005). A Figura 14 mostra a batimetria obtida para a baía de Guaratuba.

A baía apresenta uma profundidade média de 3,5m, com a maioria das regiões com profundidades inferiores a 2,5m, a entrada da baía apresenta profundidades superiores a 20m, com a formação de um canal de navegação na margem do município de Guaratuba. Já na região de interesse onde acontece o cultivo de ostras, próximo a Ilha Capinzal, nota-se regiões bem rasas, com profundidades menores que 2,5m, sendo que as profundidades nesta região foram interpoladas, pois não existiam informações na Carta Náutica (nº1803) e nos dados de Zem (2005).

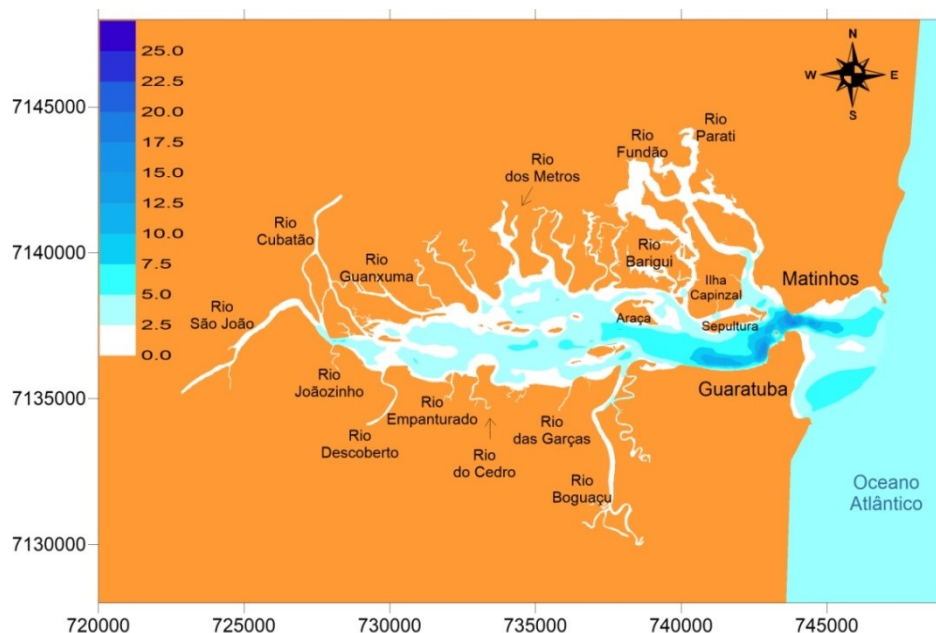


FIGURA 14 – Batimetria (m) do fundo do domínio de modelagem.

O coeficiente de atrito do fundo pode ser calculado via coeficiente de Chèzy. Este coeficiente depende da amplitude da rugosidade (ϵ) equivalente de fundo, definida a partir da composição e da distribuição de sedimentos no fundo. Segundo Zem (2005), na porção leste predomina areia fina ($\epsilon = 0,015\text{m}$) e média ($\epsilon = 0,030\text{m}$), caracterizada por uma alta dinâmica das marés. Na região próxima à ilha de Araçá há predominância de areia muito fina ($\epsilon = 0,01\text{m}$); na parte oeste predominam os sedimentos siltsos ($\epsilon = 0,001\text{m}$). A

Figura 15 mostra a distribuição espacial da amplitude da rugosidade do fundo, que caracteriza o tipo de sedimento presente na baía de Guaratuba.

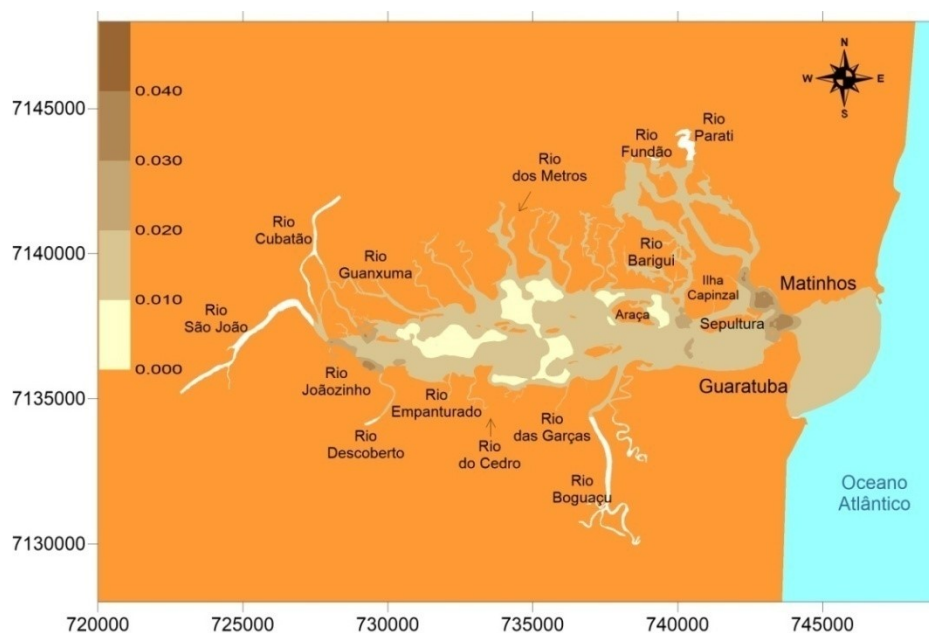


FIGURA 15 – Amplitude da rugosidade do fundo, em metros, no domínio de modelagem.

5.6. VAZÃO FLUVIAL

O aporte fluvial na baía de Guaratuba é reduzido, sendo o rio Cubatão o principal afluente. As vazões mensais do rio Cubatão foram obtidas no portal *Hidroweb*, que apresenta valores entre os anos de 1992 e 1997. Neste trabalho foram calculadas médias mensais considerando o período de 1992 e 1997, para os meses de dezembro, janeiro, fevereiro, junho, julho e agosto. Posteriormente, os valores mensais de vazão foram interpolados, para obtenção de dados diários de vazão. A Figura 16 mostra as vazões diárias obtidas para o rio Cubatão no período de verão, de 01 de janeiro a 28 de fevereiro e para o período de inverno, de 01 de julho a 29 de agosto.

Os demais rios afluentes da Baía de Guaratuba não possuem valores de vazões medidos. Assim, as vazões dos demais rios afluentes foram calculadas a partir das vazões específicas, retiradas dos mapas de vazões mínimas específicas ($L\ s^{-1}\ km^{-2}$) para pequenas bacias hidrográficas do estado do Paraná, disponíveis no *site* do Instituto das Águas do Paraná (PROJETO HG-52, 1985). As áreas de drenagem foram determinadas, de forma

aproximada, utilizando a ferramenta computacional, QGIS. Inicialmente foram calculadas as vazões dos rios da bacia da baía de Guaratuba durante o inverno, usando as vazões mínimas específicas, com um valor constante de $7 \text{ L s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ para todas as bacias contribuintes da baía.

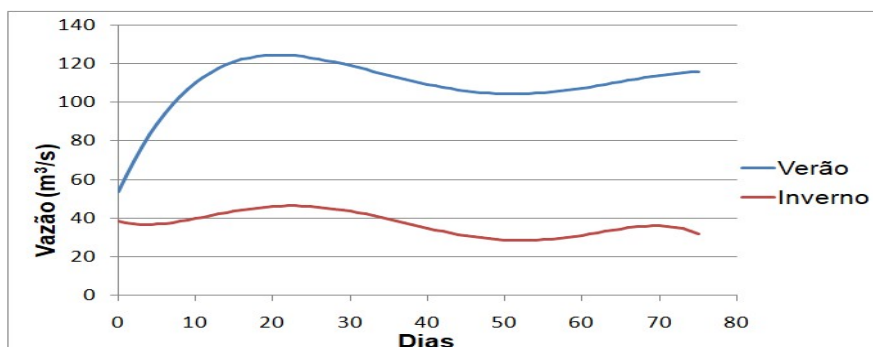


FIGURA 16 - Vazões diárias do Rio Cubatão, para o período de verão e inverno.

Mantovanelli (1999) definiu, para a bacia contribuinte da baía de Paranaguá, que as vazões dos rios variam em média 3,6 vezes entre o verão e o inverno, sendo o verão a estação mais chuvosa. Considerando que o regime de chuvas na bacia contribuinte da baía de Guaratuba é muito próximo ao da baía de Paranaguá, devido à proximidade entre as duas baías, as vazões dos rios no período de verão seguiram esta proporção em relação às vazões de inverno. A Tabela 4 mostra a área de drenagem, em km^2 , e os valores de vazão calculados para os meses de verão e inverno, em $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, dos rios contribuintes a baía de Guaratuba, que foram considerados nas simulações dos padrões de circulação hidrodinâmico da baía.

TABELA 4 – VAZÕES PARA VERÃO E INVERNO DOS PRINCIPAIS RIOS DA BAÍA DE GUARATUBA. A LOCALIZAÇÃO DOS RIOS ESTÁ INDICADA NA FIGURA 10.

RIOS	São João	Boguaçu	Descoberto	Parati	Barigui	Dos Metros
ÁREA (km^2)	400	51,17	32,30	15,26	14,71	6,00
$Q_{\text{VERÃO}}$ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	10,1	1,30	0,83	0,4	0,37	0,15
Q_{INVERNO} ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	2,8	0,36	0,23	0,11	0,10	0,04

5.7. VAZÃO DOS EFLUENTES DE ESGOTO DOMÉSTICO

Para o cálculo da vazão diária do esgoto doméstico dos municípios de Guaratuba e Matinhos, durante os meses de janeiro e junho, foram utilizados os dados da NBR 7229 - Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos, que estima a produção de esgoto diária por pessoa, em litros por dia (Tabela 5).

TABELA 5 - CONTRIBUIÇÃO DE ESGOTO DIÁRIO POR TIPO DE PRÉDIO E OCUPANTE.

Prédio	Unidade	Contribuição de esgoto
1. Ocupantes Permanentes		
- Residência		
Padrão alto	Pessoa	160 L/dia
Padrão médio	Pessoa	130 L/dia
Padrão baixo	Pessoa	100 L/dia
-Hotel (exceto lavanderia e cozinha)	Pessoa	100 L/dia
-Alojamento provisório	Pessoa	80 L/dia
2. Ocupantes temporários		
- Fábricas em geral	Pessoa	70 L/dia
- Escritório	Pessoa	50 L/dia
- Edifícios públicos ou comerciais	Pessoa	50 L/dia
- Escolas (externatos) e locais de longa permanência	Pessoa	50 L/dia
- Bares	Pessoa	6 L/dia
- Restaurantes e similares	Refeição	25 L/dia
- Cinema, teatros e locais de curta permanência	Lugar	2 L/dia
- Sanitários públicos	bacia sanitária	480 L/dia

Fonte: NBR 7229 (1993)

Foram estimadas as populações, para os municípios de Matinhos e Guaratuba, durante os meses de janeiro e julho, segundo os dados do IBGE e do Assindilitoral. A partir da população estimada, as vazões diárias (Q), em m³/dia, foram calculadas, admitindo que todas as moradias dos municípios de Matinhos e Guaratuba possuam um padrão médio (Tabela 6).

TABELA 6 - DADOS DA POPULAÇÃO E DA PRODUÇÃO DIÁRIA DE ESGOTO NOS MESES DE JANEIRO E JUNHO, PARA AS CIDADES DE GUARATUBA E MATINHOS.

Cidades	População (verão) (habitantes)	Vazão diária de esgoto (verão) (m ³ /dia)	População (inverno) (habitantes)	Vazão diária de esgoto (inverno) (m ³ /dia)
Guaratuba	700.000	91.000	35.986	4.678,18
Matinhos	500.000	65.000	33.450	4.348,5
TOTAL	1.200.000	156.000	69.436	9.026,68

O município de Guaratuba possui uma estação de tratamento de esgoto (ETE Esperança), que lança seu efluente em um pequeno rio, localizado ao lado da ETE, como mostrado na Figura 17; e por sua vez este rio lança suas águas no rio Boguaçu. A ETE Esperança possui apenas tratamento secundário; possivelmente não sendo eficiente na diminuição das concentrações de coliformes termotolerantes do efluente. Este trabalho considera que todo o esgoto das duas cidades é lançado em dois pontos (Rio Boguaçu – Guaratuba e Rio Prainha 1 – Matinhos). Certamente esta configuração representa a pior situação possível. Possivelmente o lançamento de esgoto do município de Matinhos é realizado em múltiplos pontos.



FIGURA 17 - Rio que recebe o esgoto tratado da estação de tratamento de esgoto.

Segundo Von Sperling (2014), o esgoto doméstico bruto apresenta concentrações de coliformes termotolerantes e *E.coli* entre 10^6 e 10^9 NMP/100 ml de esgoto. Considerando que as estações de tratamento de esgoto de Matinhos e Guaratuba não possuem tratamentos terciários, as concentrações

de coliformes termotolerantes e *E.coli* não devem reduzir, mesmo após o tratamento. Logo, para os cálculos da concentração de coliformes que chega nos pontos de lançamento de esgoto na baía de Guaratuba, foi utilizada a concentração de 10^7 NMP/100 ml.

5.8. VENTO

Devido à falta de dados sobre o vento atuante na baía de Guaratuba, foram usados os dados disponíveis para a baía de Paranaguá, pela proximidade. Dalazen (2017) utilizou o modelo atmosférico *Weather Research and Forecasting* (WRF) e obteve valores horários para o vento na altura de 10m, em 150 pontos espaçados de 5 em 5km na baía de Paranaguá, durante os meses de verão e inverno. Destes 150 pontos foram selecionados dois para a aplicação no modelo hidrodinâmico; as duas estações escolhidas estão marcadas na Figura 18.

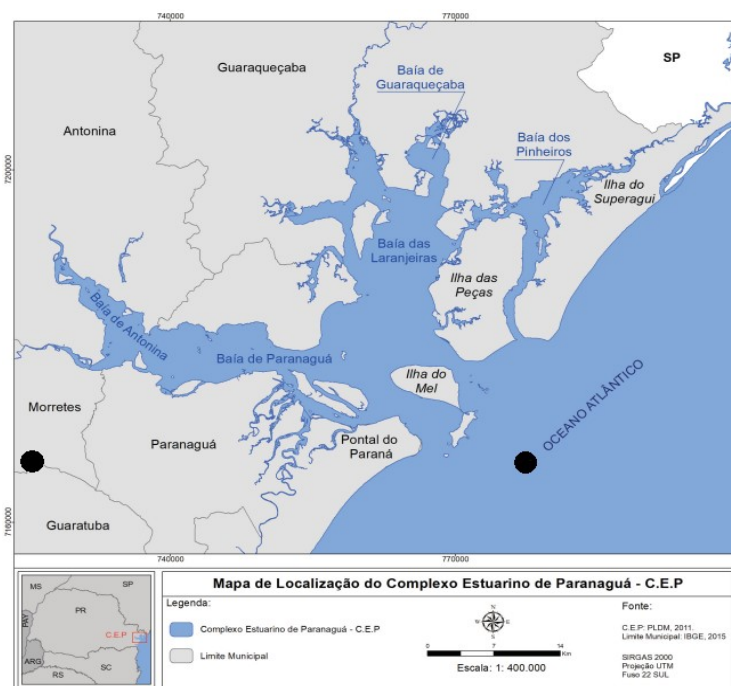


FIGURA 18 - Localização das estações de vento selecionadas no Complexo Estuarino de Paranaguá (círculos pretos).

A Figura 19 mostra a rosa de distribuição dos ventos horários durante 75 dias, entre 15/12/2008 e 28/02/2009; é possível observar ventos

predominantemente na direção sudoeste. Já no inverno, também com 75 dias de dados de vento simulados de hora em hora (coletados de 15/06/2009 a 30/08/2009), as estações possuem ventos bem distribuídos entre as direções nordeste, leste, sudeste e sul, com velocidades menores comparadas ao verão, conforme ilustra a Figura 20.

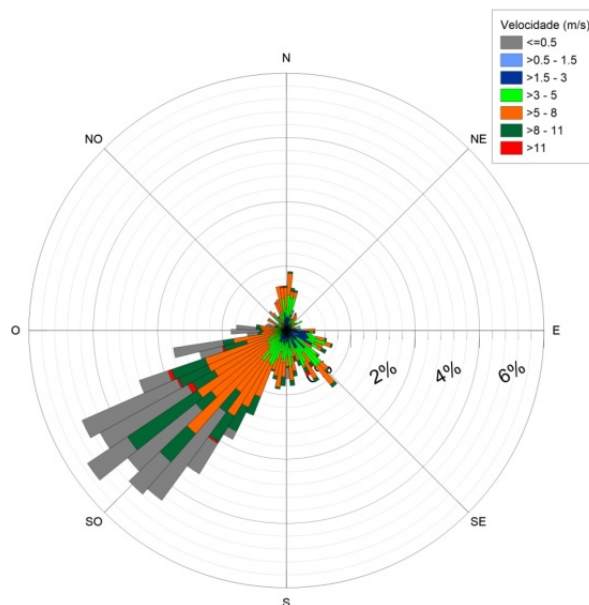


FIGURA 19 - Rosa da distribuição dos ventos gerados com o WRF para os meses de verão. Fonte: DALAZEN (2017)

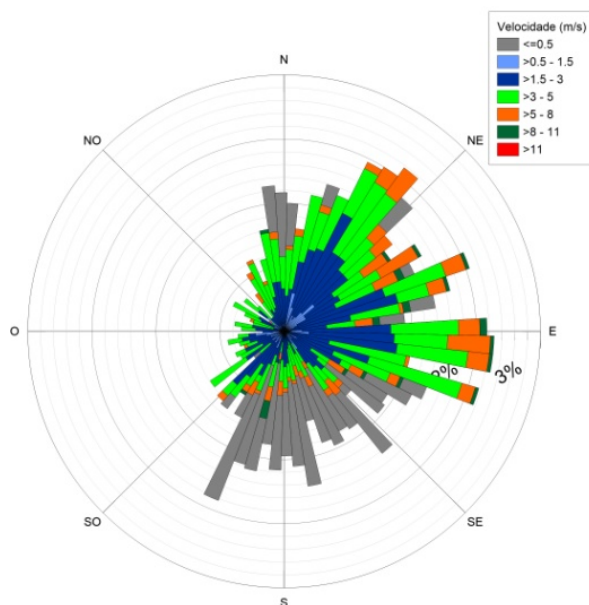


FIGURA 20 - Rosa de distribuição dos ventos gerados com o WRF para os meses de inverno. Fonte: DALAZEN (2017)

5.9. MARÉ

Na simulação do padrão de circulação hidrodinâmica foi considerada a maré astronômica definida a partir das constantes harmônicas obtidas no catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras, da Fundação de Estudos do Mar, para o iate clube de Guaratuba (25°52,4' S e 48°34,9 W) (FEMAR, 2017); a Tabela 7 mostra as constantes harmônicas consideradas. É possível observar as constantes harmônicas com as maiores semi-amplitudes: M_2 , S_2 e M_4 .

Utilizando as constantes harmônicas, é possível gerar a curva de maré astronômica para os períodos considerados da modelagem. A curva de maré apresenta valores de preamar de até 0,9 m, em períodos de sizígia e 0,5 m, em períodos de quadratura (Figuras 21 e 22).

TABELA 7 – AMPLITUDE E FASE DAS CONSTANTES HARMÔNICAS PARA O IATE CLUBE DE GUARATUBA.

Componentes	Amplitude (m)	Fase (rad)	Componentes	Amplitude (m)	Fase (rad)
M_2	0,367	1,606	MS_4	0,048	5,,131
S_2	0,209	1,606	Q_1	0,045	1,169
M_4	0,112	3,438	MK_3	0,040	2,391
O_1	0,110	1,438	OO_1	0,030	2,967
M_3	0,094	3,840	SN_4	0,021	2,478
MO_3	0,079	0,487	L_2	0,018	2,059
MN_4	0,057	2,600	P_1	0,017	2,600
K_2	0,057	1,623	T_2	0,012	1,606
MU_2	0,056	1,955	NU_2	0,010	2,374
N_2	0,053	2,513	$2N_2$	0,007	3,49
K_1	0,051	2,690			

Fonte: FEMAR (2017)

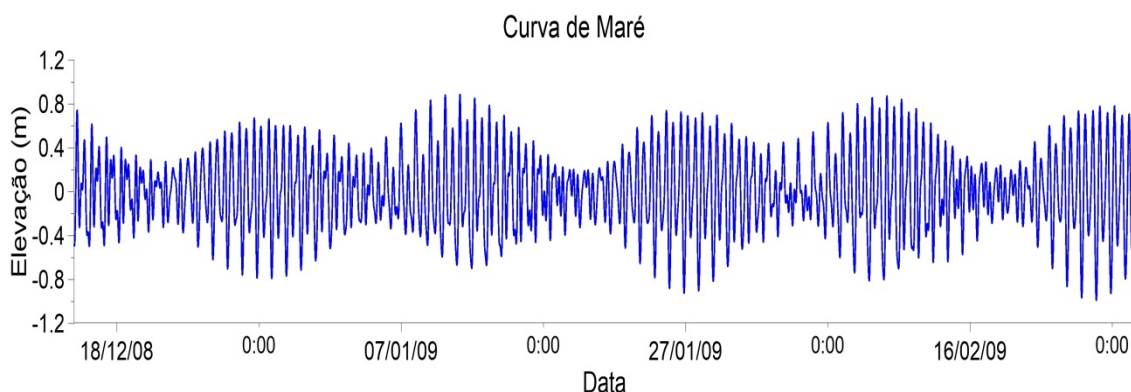


FIGURA 21 - Maré astronômica na baía de Guaratuba para o verão de 2009.

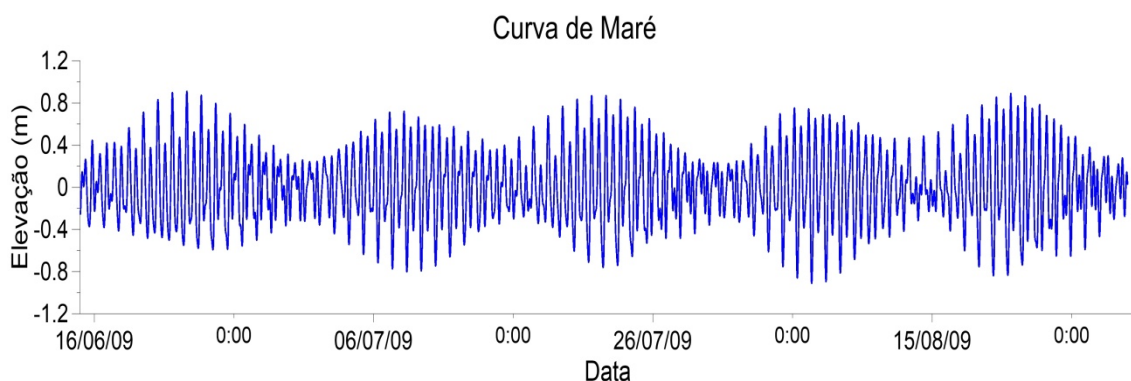


FIGURA 22 - Maré astronômica na baía de Guaratuba para o inverno de 2009.

5.10. DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS

Com o objetivo de identificar a influência do aumento da população, que no inverno é de aproximadamente 70 mil habitantes e no verão aumenta para 1,2 milhão, foram definidos dois cenários para a definição dos padrões de circulação hidrodinâmica: o primeiro considera os meses de verão (de 15 de dezembro a 28 de fevereiro), quando as vazões fluviais e de esgoto são maiores e, um segundo, considerando os meses de inverno (de 15 de junho a 31 de agosto), quando as vazões fluviais e de esgoto são menores. Os dois cenários são simulados para o ano de 2009, devido à disponibilidade de dados, e também foi utilizado apenas um ponto de lançamento para a cidade de Guaratuba e outro para a cidade de Matinhos, sendo este um cenário bastante conservador, já que devem existir outros pontos de lançamentos de esgoto nessas cidades.

Para identificar as variações do tempo de decaimento para os indicadores biológicos, foram avaliados três cenários para o modelo de

transporte Lagrangeano, para cada um dos padrões de circulação hidrodinâmicos, totalizando, assim, seis cenários (Tabela 8).

TABELA 8 – CARACTERÍSTICAS DOS CENÁRIOS USADOS PARA DEFINIR O PADRÃO HIDRODINÂMICO E O TRANSPORTE DE POLUENTES NA BAÍA DE GUARATUBA

Cenário	Padrão de Circulação	Tempo de decaimento	Período de simulação
1	Inverno	6 horas	01/07/2009 – 29/08/2009
2	Inverno	12 horas	01/07/2009 – 29/08/2009
3	Inverno	Variável	01/07/2009 – 29/08/2009
4	Verão	6 horas	01/01/2009 – 28/02/2009
5	Verão	12 horas	01/01/2009 – 28/02/2009
6	Verão	Variável	01/01/2009 – 28/02/2009

Um indicador biológico que pode ser utilizado é o coliforme termotolerante. As emissões de coliformes termotolerantes aconteceram durante 60 dias de verão e durante 60 dias de inverno, para verificar as influências do aumento populacional na região, durante janeiro e fevereiro, e também do tempo de decaimento, que varia muito com as estações do ano, pois é fortemente influenciado pela radiação solar.

Os locais onde foram feitas as emissões pontuais são mostrados na Figura 23. O primeiro corresponde à foz do rio Boguaçu, em Guaratuba (Figura 24) e o segundo local, a foz do Rio Prainha 1, que deságua no trapiche da Praia Mansa de Caiobá, no município de Matinhos (Figura 25).



FIGURA 23 - Localização das fontes de lançamento do esgoto sanitário (círculos vermelhos).



FIGURA 24 - Foz do rio Boguaçu, onde deságua o efluente tratado da ETE, local da Fonte 1.



FIGURA 25 - Rio Prainha 1 desaguando no trapiche da Praia Mansa, em Caiobá, Local da Fonte 2.

6. RESULTADOS

Os resultados dos modelos para a baía de Guaratuba devem ser considerados qualitativamente, pois não foi possível realizar a calibração e validação dos modelos dentro do intervalo de tempo da simulação, pela falta de dados disponíveis. Os resultados obtidos neste trabalho não representam as condições reais da baía de Guaratuba. Vale ressaltar que a modelagem matemática não é uma ciência exata, e sim uma ferramenta de apoio que pode ser utilizada para a gestão de recursos hídricos.

Para a visualização dos resultados, considerando a variação temporal, foram escolhidas três estações dentro do domínio, que caracterizam os diferentes compartimentos da baía: uma estação na entrada da baía (ponto A), uma no meio (ponto B) e uma próxima aos rios São João e Cubatão (ponto C) (Figura 26). Os resultados mostram a evolução temporal da posição da superfície livre e das componentes Norte-Sul e Leste-Oeste das velocidades. Já para as estações D e E, localizadas próximas as fontes de emissões de efluentes, no rio Boguaçu e Prainha 1, respectivamente, e a estação F, localizada próxima a região de cultivo de ostras, foi definido um raio de 50 metros em relação as coordenadas centrais, onde as concentrações de coliformes termotolerantes foram calculadas.

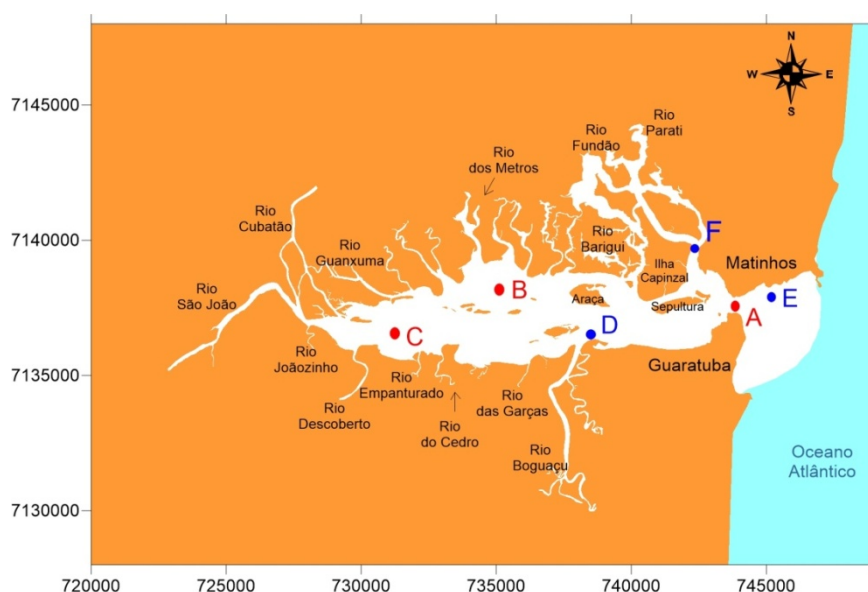


FIGURA 26 - Localização das estações onde os valores da superfície livre, das componentes Norte-Sul e Leste-Oeste das velocidades e das concentrações de coliformes termotolerantes e E.coli foram observados, para diferentes cenários.

6.1. CIRCULAÇÃO HIDRODINÂMICA

Rosman (1998) mostrou que as componentes harmônicas da maré sofrem uma importante amplificação à medida que a onda se propaga para o interior da baía (empinamento de onda). Isto pode ser observado nos resultados, mostrados nas Figuras 27 e 28; a estação C, localizada na região mais interna da baía, apresenta elevações maiores quando comparadas com as calculadas na estação A. Também é possível verificar a evolução temporal da posição da superfície livre para cada estação, no período de inverno e verão, respectivamente. Observa-se que a estação C apresenta as maiores elevações, tanto no verão quanto no inverno, com uma defasagem entre as estações.

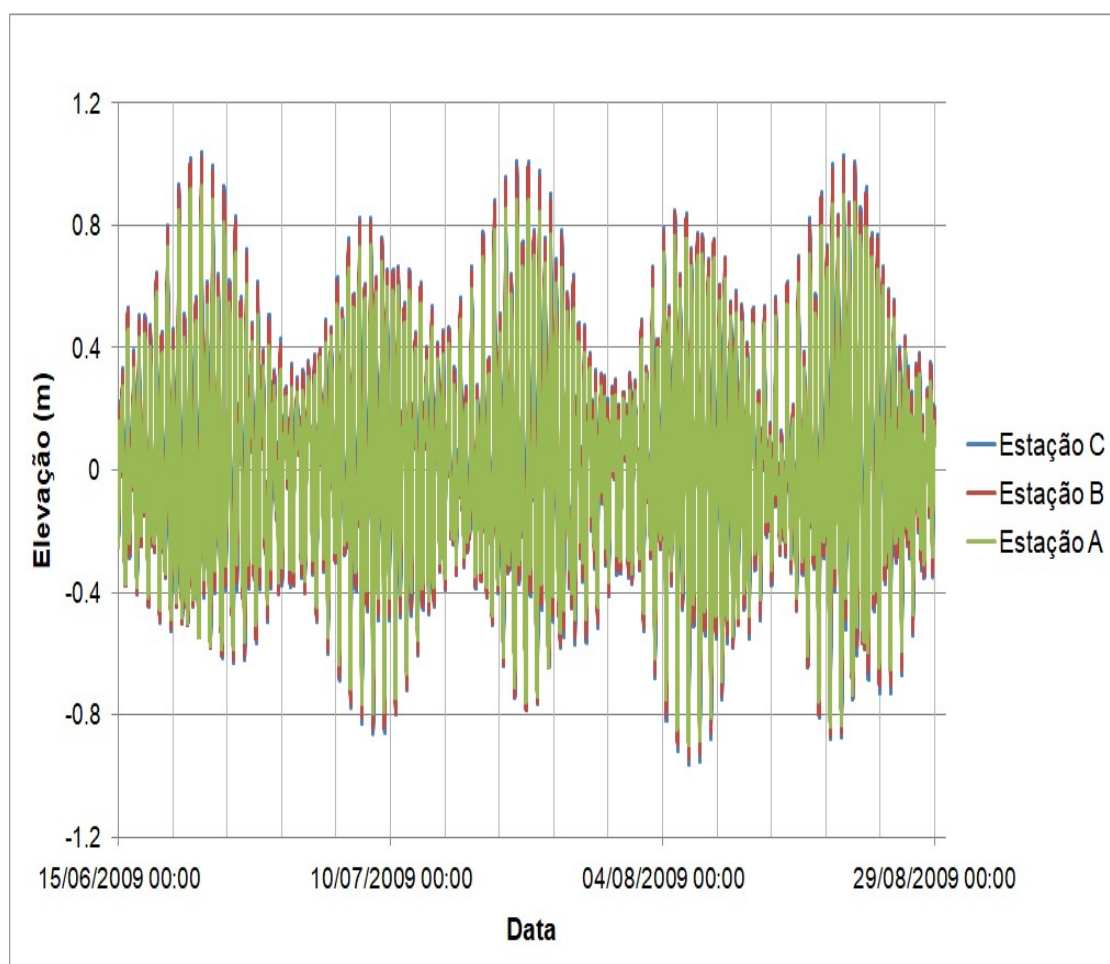


FIGURA 27 – Posição da superfície livre, entre 15/06/2009 e 29/08/2009, nas estações A, B e C.

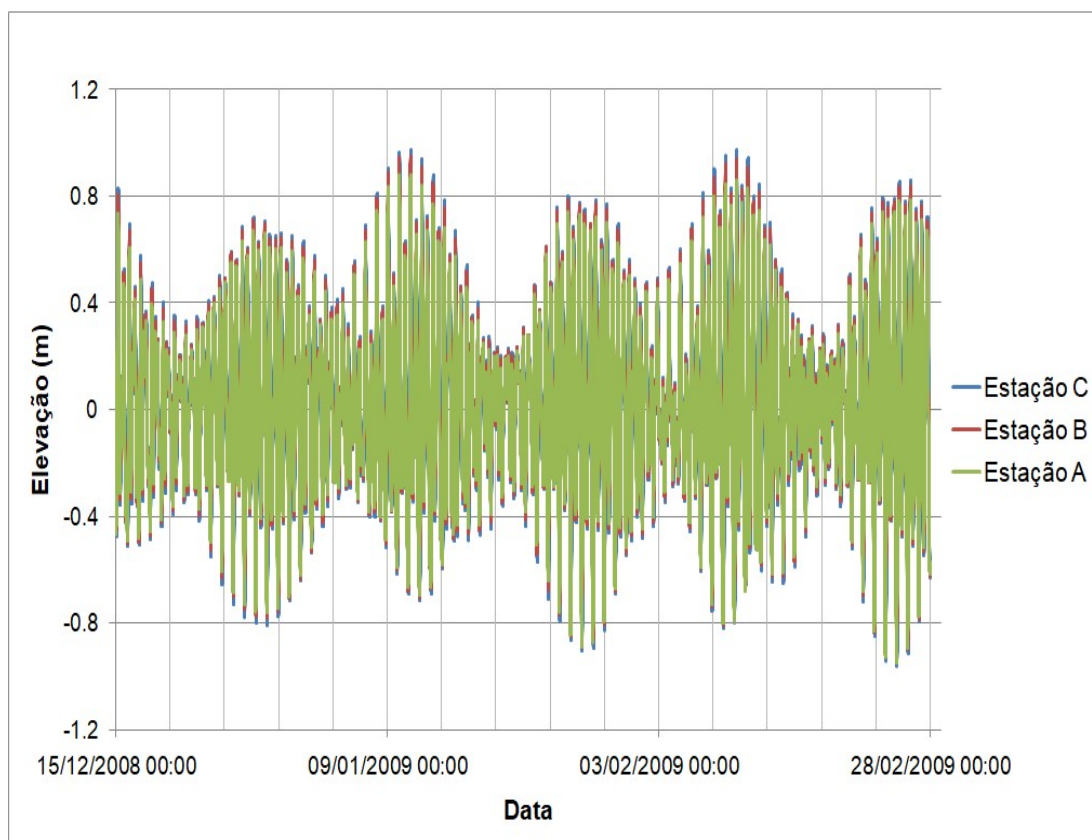


FIGURA 28 - Posição da superfície livre, entre 15/12/2008 e 28/02/2009, nas estações A, B e C.

Nas Figuras 29 e 30 são mostrados, em detalhe, a evolução temporal da posição da superfície livre para cada estação durante dois ciclos de maré de sizígia e quadratura, para o inverno e verão, respectivamente. É possível observar melhor a amplificação e defasagem da onda de maré; a defasagem entre as estações A e C é de aproximadamente de 30 minutos, para os períodos de sizígia e quadratura.

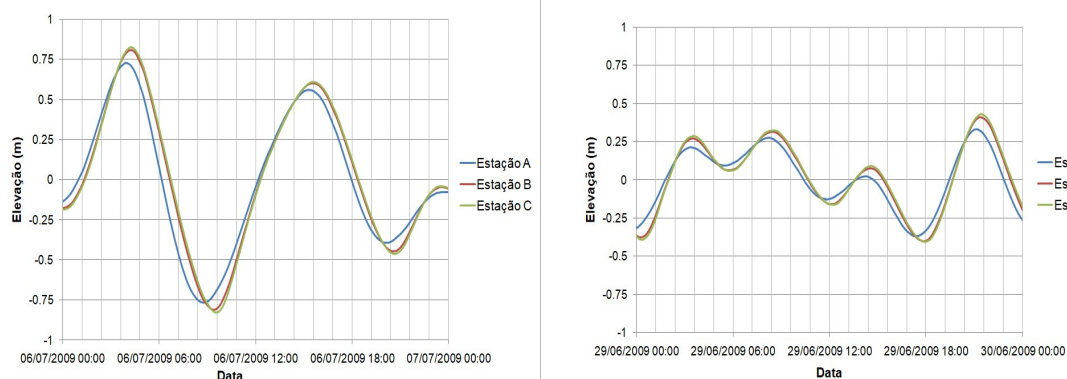


FIGURA 29 - Elevação da superfície livre durante um dia de inverno, para os períodos de sizígia (esquerda) e quadratura (direita), nas estações A, B e C.

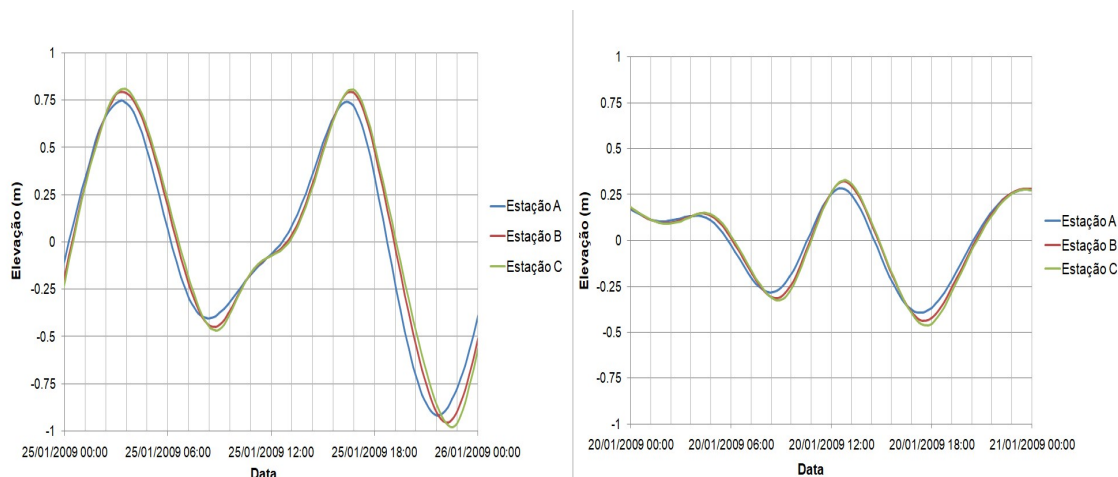


FIGURA 30 - Elevação da superfície livre durante um dia de verão, para os períodos de sizígia (esquerda) e quadratura (direita), nas estações A, B e C.

A componente Leste-Oeste da velocidade é a componente mais importante na baía de Guaratuba, considerando que baía possui orientação Leste-Oeste; a componente Norte-Sul da velocidade é consideravelmente menor. A Figura 31 apresenta, para as três estações, durante o inverno de 2009, a evolução temporal da componente Leste-Oeste das velocidades. As estações B e C possuem comportamentos semelhantes, com valores bem menores que na estação A. Na estação A, a componente Leste-Oeste da velocidade não ultrapassa 1,2m/s, em períodos de sizígia e 0,5m/s, em períodos quadratura. Nas estações B e C, estes valores são de no máximo 0,25m/s e 0,15m/s para períodos de sizígia e quadratura, respectivamente.

Durante o verão, os resultados mostram que as componentes Leste-Oeste das velocidades possuem comportamento semelhante às velocidades durante o inverno; porém, a estação C, no verão, possui velocidades superiores às da estação B, ao contrário do que acontece no inverno (Figura 32). Este comportamento reflete a influência do aporte fluvial, que é maior durante o verão, favorecendo ao aumento das velocidades nas regiões próximas aos rios. Assim, a componente Leste-Oeste da velocidade na estação C chega a 0,5m/s em períodos de sizígia e a 0,3m/s em períodos de quadratura, dobrando seus valores em relação ao inverno.

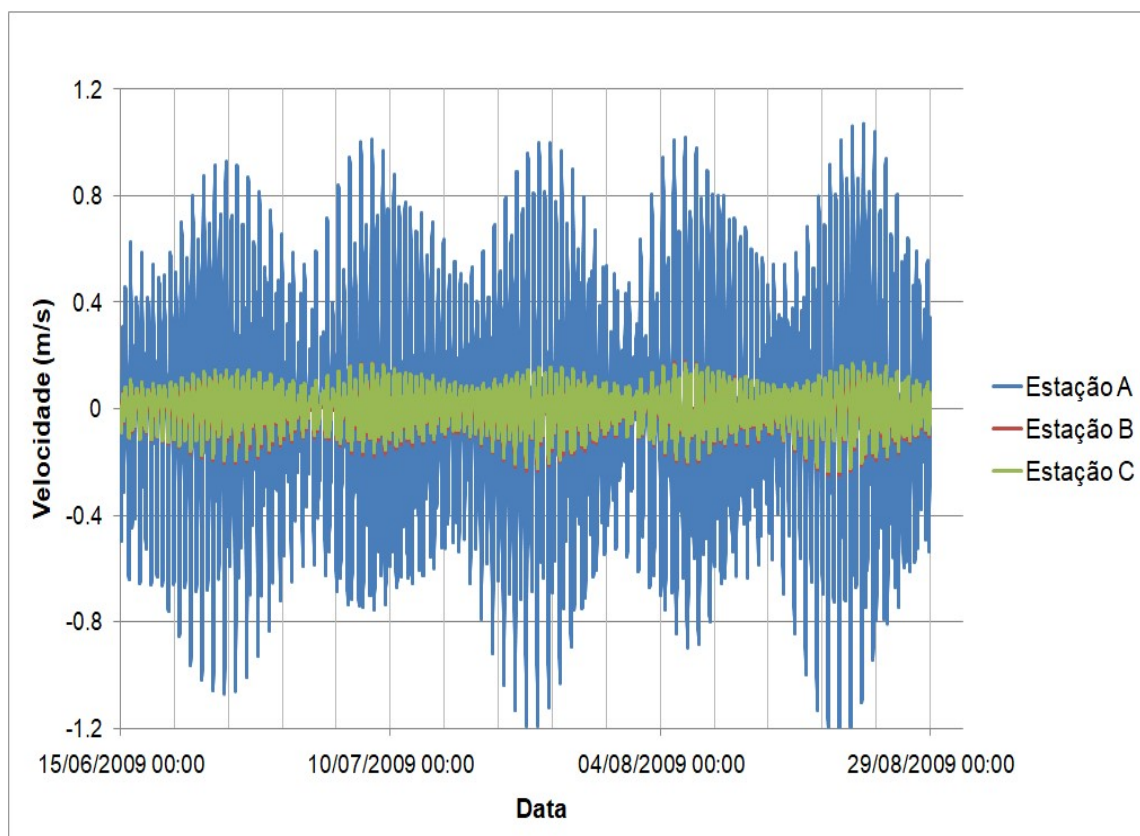


FIGURA 31 – Componente Leste-Oeste da velocidade na baía de Guaratuba, entre 15/06/2009 e 29/08/2009, nas estações A, B e C.

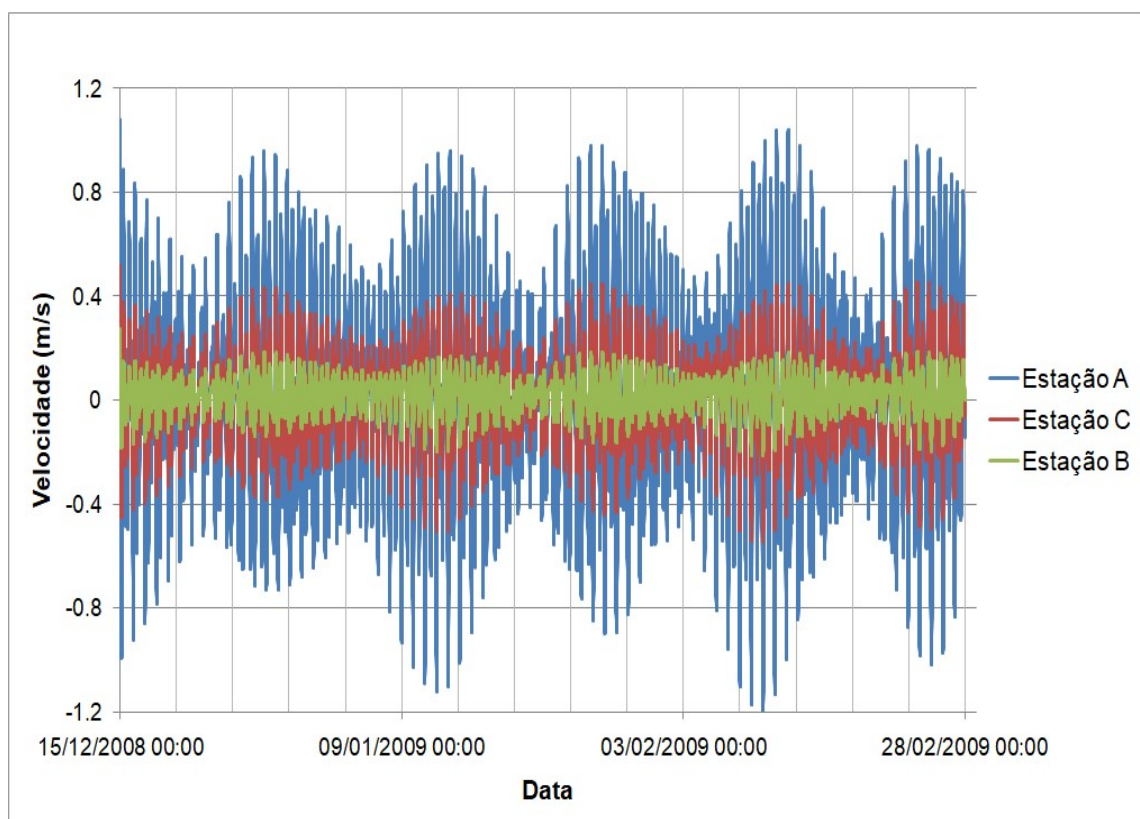


FIGURA 32 - Componente Leste-Oeste da velocidade na baía de Guaratuba, entre 15/12/2008 e 28/02/2009, nas estações A, B e C.

As Figuras 33 e 34 mostram em detalhes o comportamento da componente Leste-Oeste da velocidade para cada estação durante dois ciclos de maré de sizígia e quadratura, para o inverno e verão, respectivamente.

Considerando que o módulo positivo da compoenete Leste-Oeste da velocidade descreve o período de vazante e que o módulo negativo, o período de enchente, é possível observar que o intervalo de vazante é menor. No entanto, os valores são maiores, indicando que baía de Guaratuba deve possuir uma tendência de vazante, com uma assimetria entre os períodos de vazante e enchente.

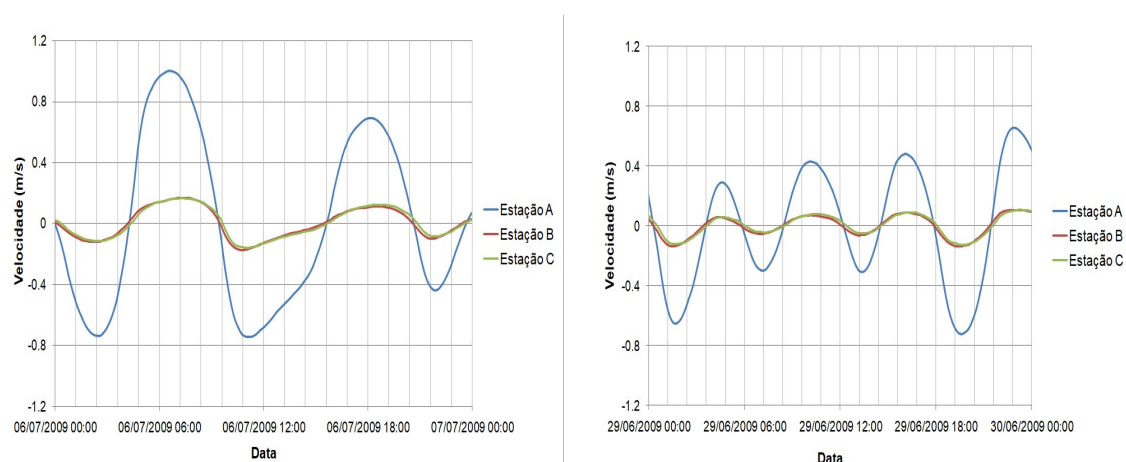


FIGURA 33 - Componente Leste-Oeste da velocidade durante um dia de inverno, para os períodos de sizígia (esquerda) e quadratura (direita), nas estações A, B e C.

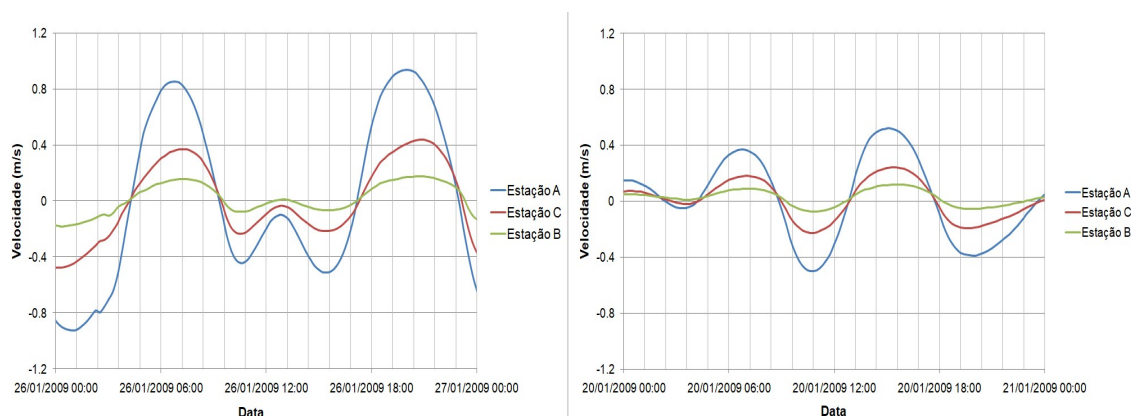


FIGURA 34 - Componente Leste-Oeste da velocidade durante um dia de verão, para os períodos de sizígia (esquerda) e quadratura (direita), nas estações A, B e C.

A Figura 35 mostra, para as três estações, durante o inverno de 2009, a série temporal da componente Norte-Sul das velocidades, apresentando valores praticamente nulos para as estações B e C; a estação A apresenta

valores de até 0,35m/s, em períodos de sizígia, e 0,15m/s, em períodos de quadratura.

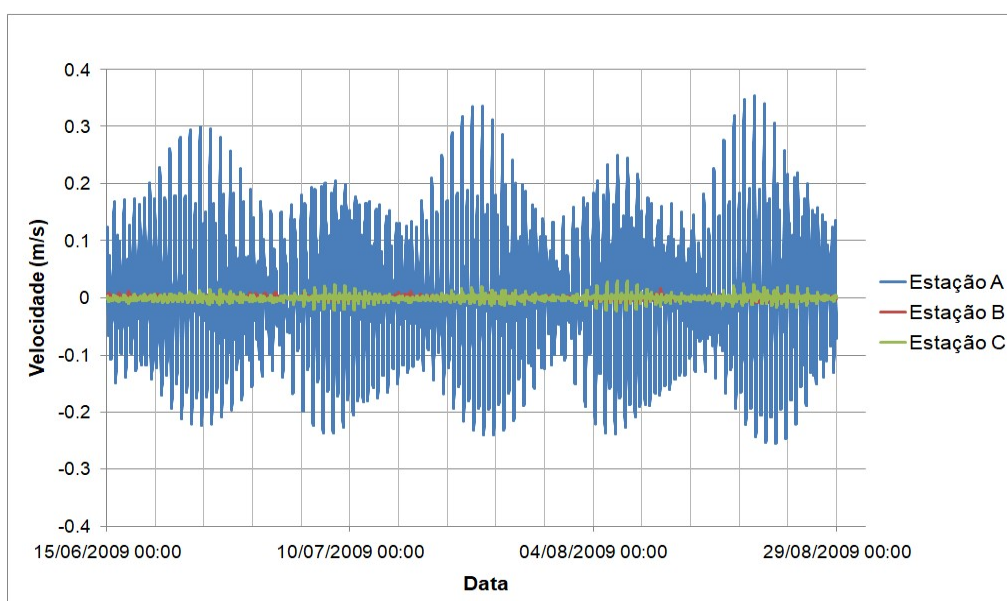


FIGURA 35 - Componente Norte-Sul da velocidade na baía de Guaratuba, durante 15/06/2009 00h00 a 29/08/2009 00h00.

Durante o verão (Figura 36), o comportamento da componente Norte-Sul da velocidade é semelhante ao da componente Leste-Oeste, porém com velocidades menores; na estação A o módulo da velocidade é menor que 0,3m/s.

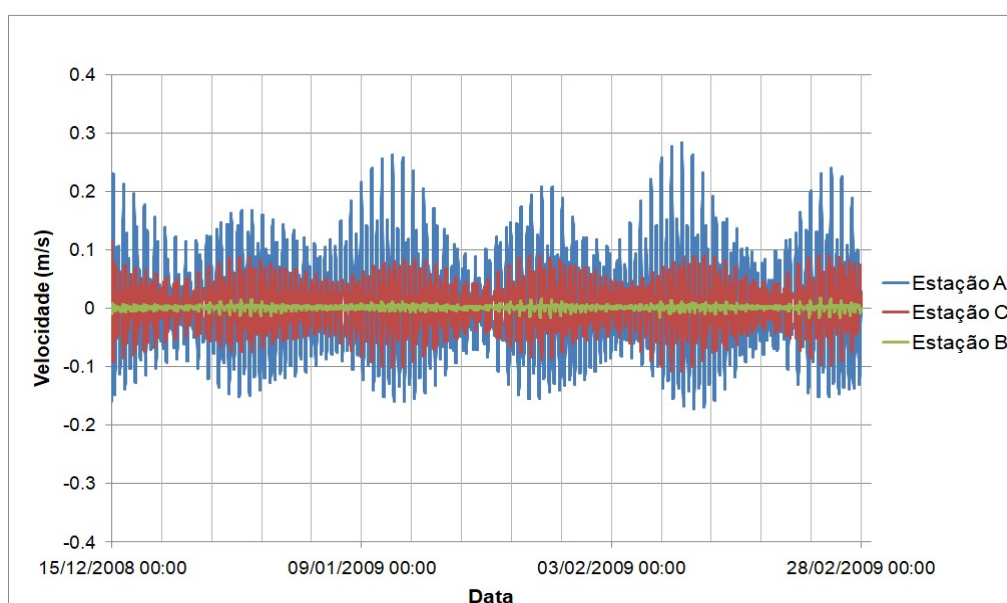


FIGURA 36 - Componente Norte-Sul da velocidade na baía de Guaratuba, durante 15/12/2008 00h00 a 28/02/2009 00h00.

Nas Figuras 37 e 38 podemos observar melhor as variações da componente Norte-Sul da velocidade das correntes para cada estação durante dois ciclos de maré: um de sizígia e outro de quadratura, respectivamente. Tanto para o verão quanto para o inverno, a Estação B apresenta componente Norte-Sul das velocidades praticamente nulas; na Estação C ocorre um pequeno aumento no verão, com valores próximos a 0,05m/s.

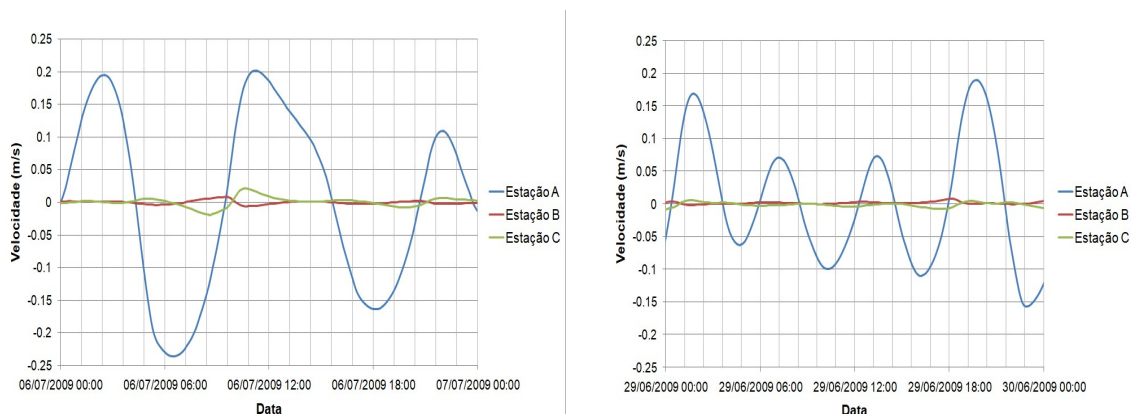


FIGURA 37 - Componente Norte-Sul da velocidade durante um dia de inverno, para os períodos de sizígia (esquerda) e quadratura (direita) nas estações A, B e C.

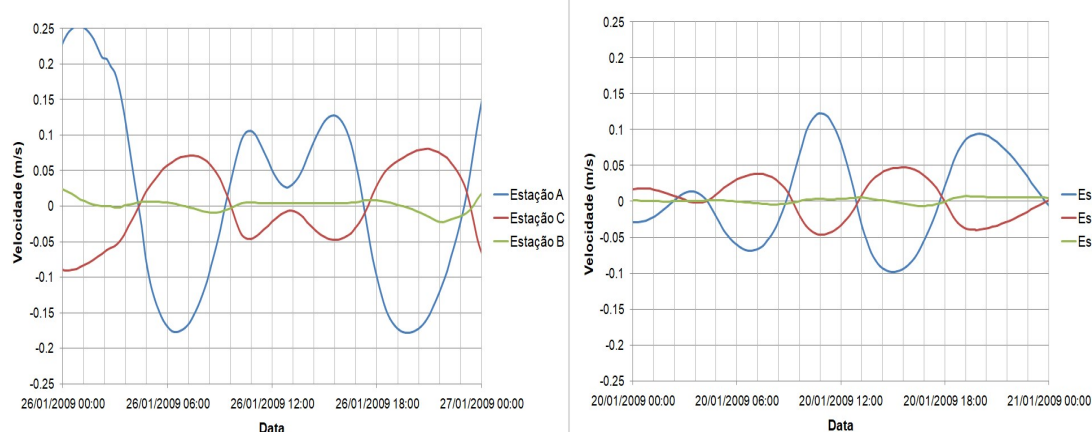


FIGURA 38 - Componente Norte-Sul da velocidade durante um dia de verão, para os períodos de sizígia (esquerda) e quadratura (direita) nas estações A, B e C.

É possível a visualização dos resultados obtidos pelo modelo de circulação hidrodinâmico em todo o domínio. Neste sentido, foram escolhidos quarto instantes: preamar (Figura 39), meia maré vazante (Figura 40), baixamar (Figura 41) e meia maré enchente (FIGURA 42) durante o verão. Os resultados mostram que as maiores velocidades ocorrem durante a meia maré vazante.

No instante de preamar, as maiores velocidades ocorrem próximas a Ilha Capinzal, com velocidades chegando a 0,40m/s. No instante de meia maré vazante, a baía apresenta as maiores velocidades, que chegam a quase 0,9m/s, na entrada da baía, e a 0,5m/s, próximo as Ilhas Capinzal e Araça e nas proximidades dos rios São João e Cubatão. No instante de baixamar, as maiores velocidade são nas proximidades dos rios São João e Cubatão, com velocidades próximas a 0,5m/s; as menores velocidades ocorrem no instante de meia maré de enchente. Em todos os instantes, pode-se observar que os canais formados pelas ilhas tendem a guiar o campo de correntes na direção paralela aos contornos, intensificando seus valores. Na vazante, as correntes são mais fortes que na enchente, principalmente nas regiões estranguladas. Na porção oeste da baía as correntes são fracas, apresentando um comportamento bastante semelhante tanto na enchente quanto na vazante. Pode-se ainda observar que os campos de velocidade mostram uma forte relação com a batimetria local.

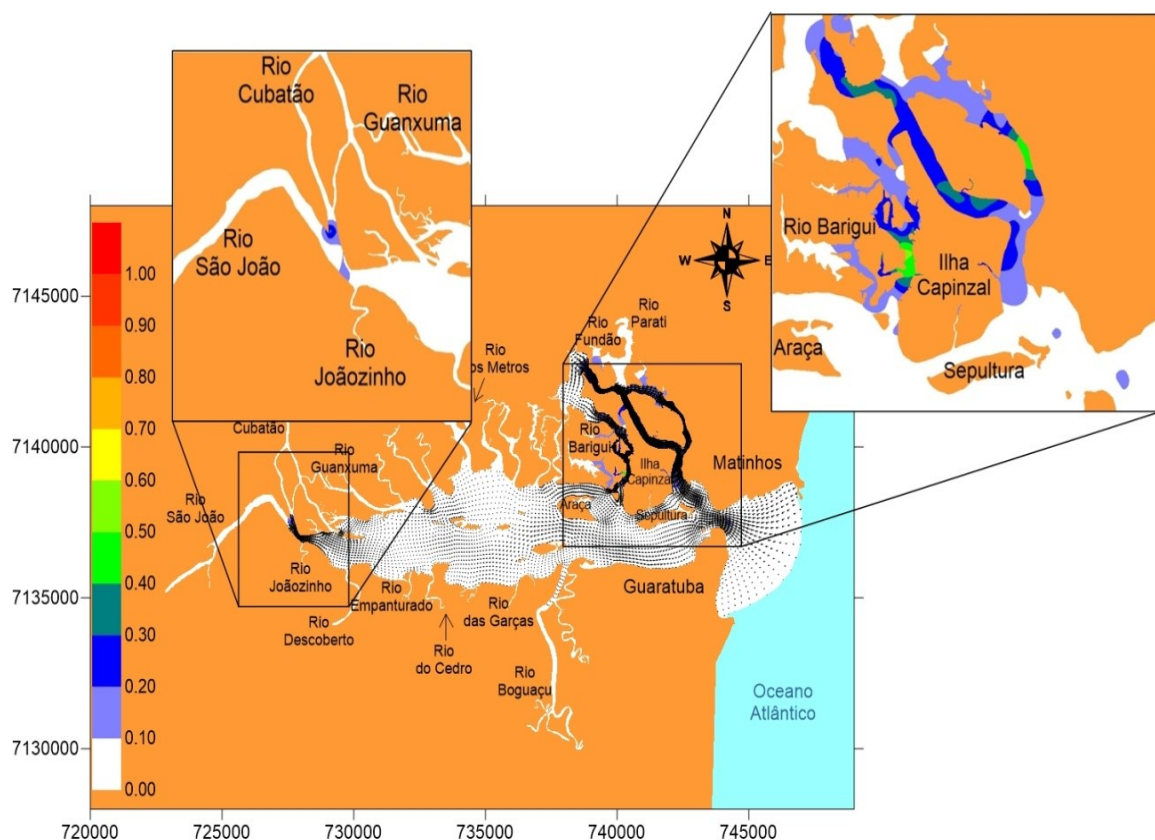


FIGURA 39 – Campo de correntes no domínio do modelo em situação de preamar de sizígia no instante 04:00 no dia 26/01/2009.

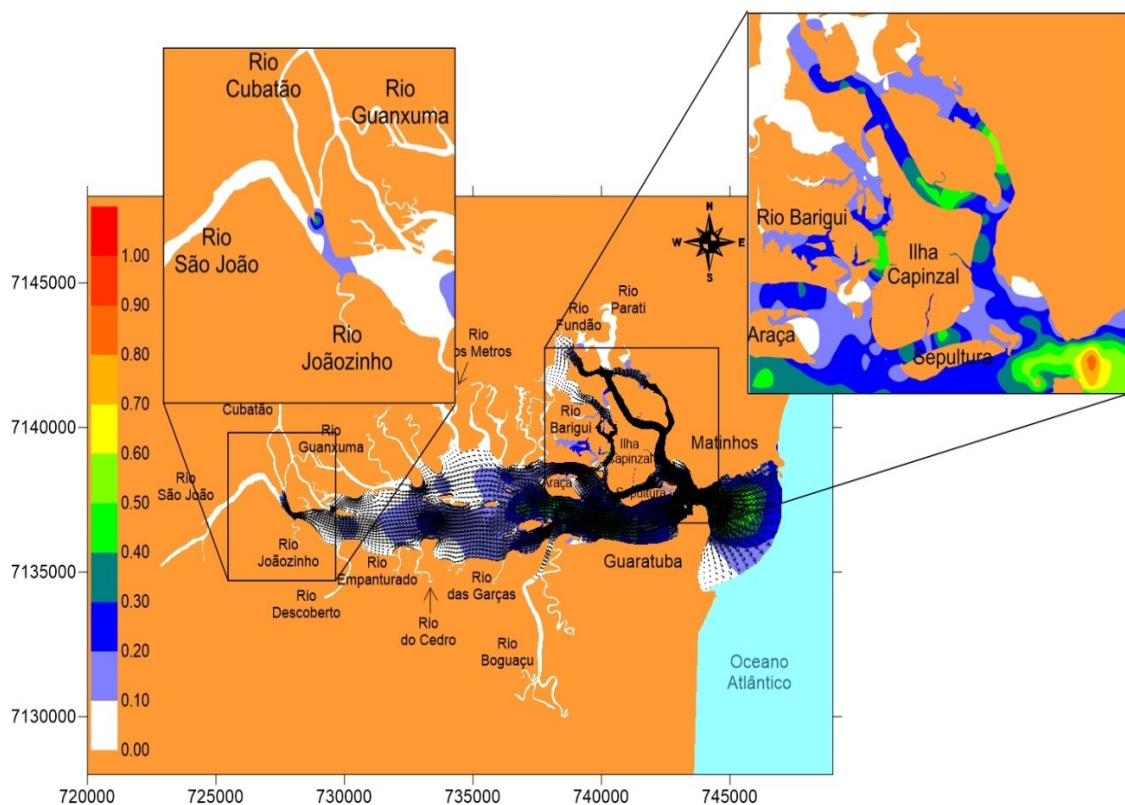


FIGURA 40 - Campo de correntes no domínio do modelo em situação de meia maré vazante de sizígia no instante 6:30 no dia 26/01/2009.

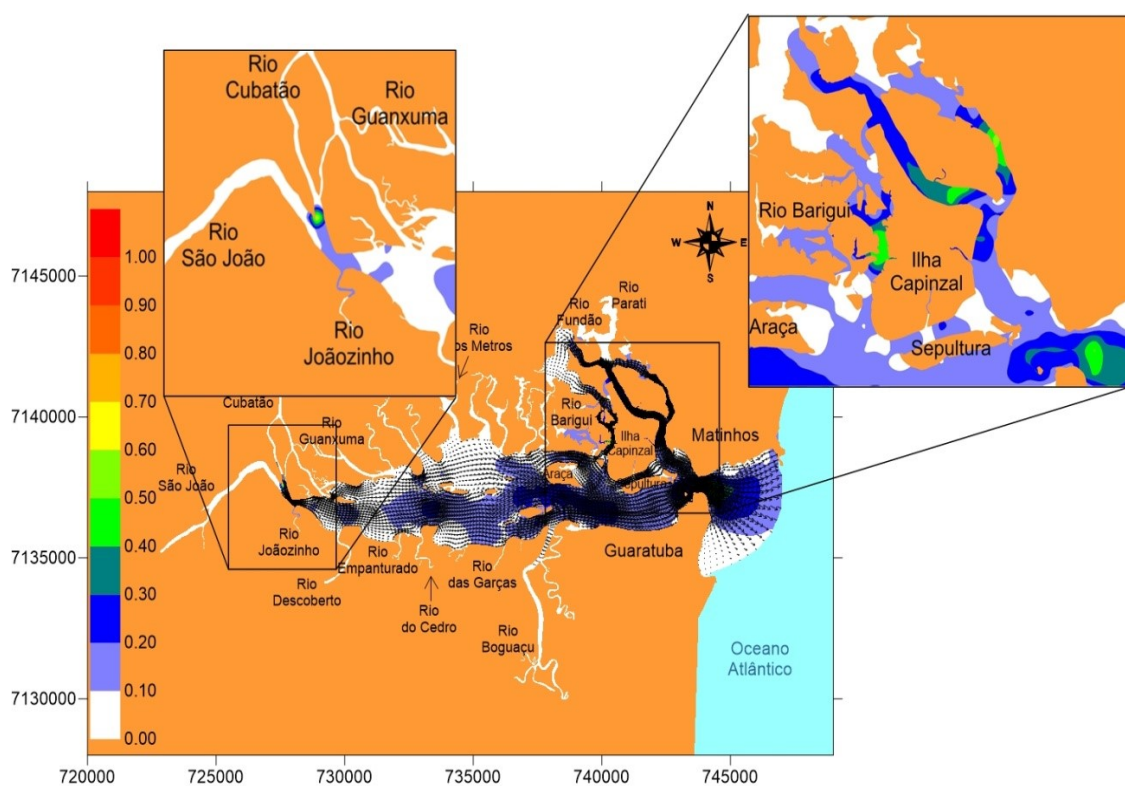


FIGURA 41 – Campo de correntes no domínio do modelo em situação de baixamar de sizígia no instante 8:30 no dia 26/01/2009.

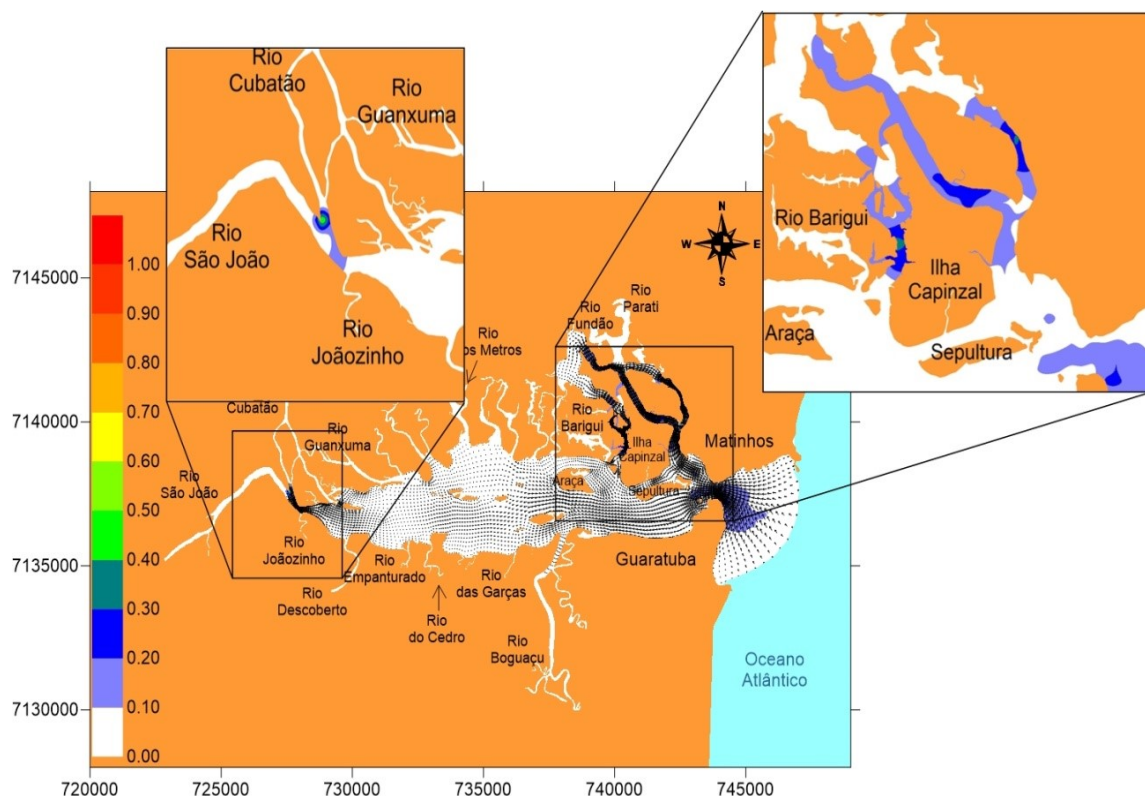


FIGURA 42 – Campo de correntes no domínio do modelo em situação de meia maré enchente de sizígia no instante 13:00 no dia 26/01/2009.

Os campos de velocidades residuais foram definidos segundo a equação (12):

$$U_R = \frac{\int_{t_0}^{t_0+T} (HU) dt}{\int_{t_0}^{t_0+T} H dt}, V_R = \frac{\int_{t_0}^{t_0+T} (HV) dt}{\int_{t_0}^{t_0+T} H dt} \quad (12)$$

Sendo U_R e V_R as componentes da velocidade residuais nas direções x e y , U e V as componentes da velocidade média na direção vertical nas direções x e y , respectivamente, H é a altura da coluna d'água, t_0 o instante inicial e T o período. Na Baía de Guaratuba o período foi de 24 horas.

O escoamento residual foi calculado para um período de sizígia e um período de quadratura, tanto para o verão quanto para o inverno, partindo de instante de preamar, considerando um período de 24 horas, sendo possível incluir dois ciclos de maré completos na definição do escoamento residual. De modo geral, verifica-se que as velocidades de residuais são extremamente baixas em todo o domínio da baía e não ultrapassam 0,05m/s, exceto nas regiões próximas aos estuários dos rios Cubatão e São João. Os resultados podem ser observados entre as Figuras 43 e 46, e mostram, como esperado,

que as maiores velocidades ocorrem nas proximidades dos rios Cubatão e São João; durante o verão acontece o aumento da vazão dos rios, gerando velocidades residuais na ordem de 0,5m/s.

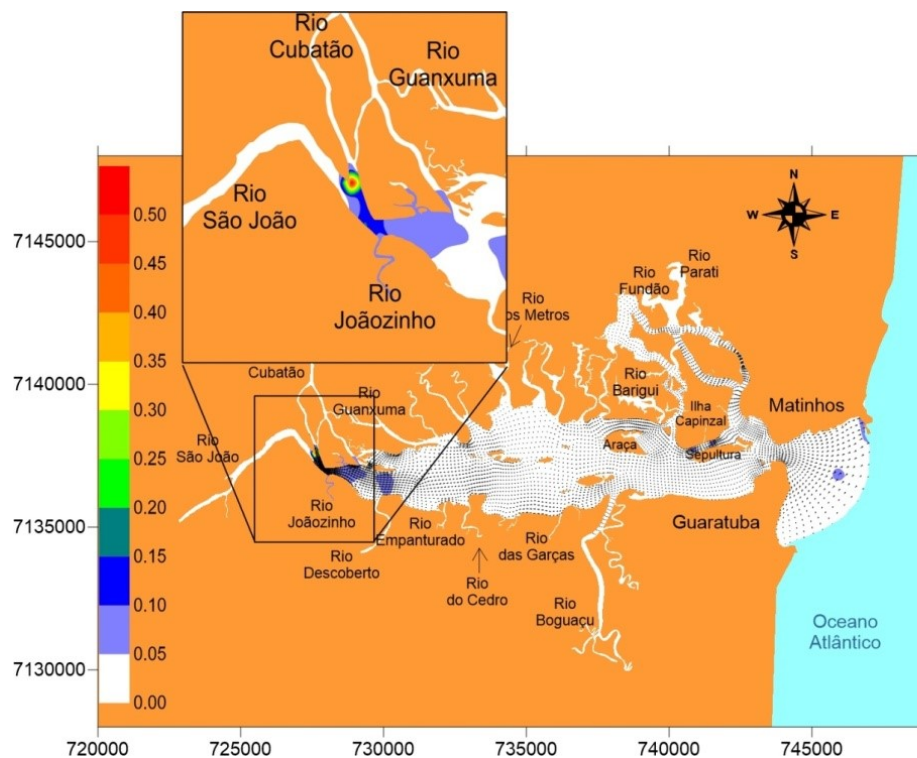


FIGURA 43 - Campo de correntes residual no domínio do modelo, considerando 24 horas, em 20/01/2009.

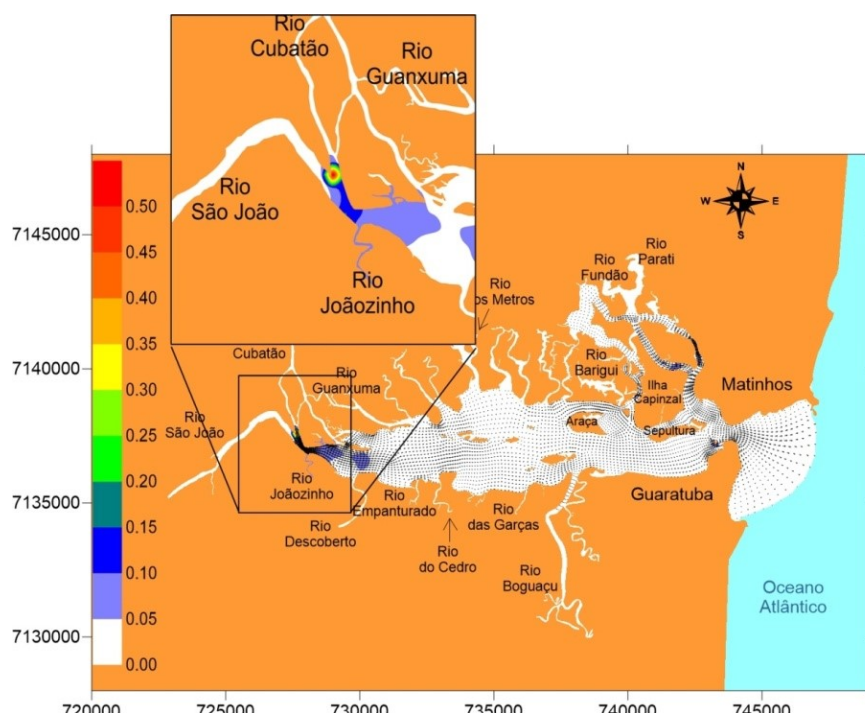


FIGURA 44 - Campo de correntes residual no domínio do modelo, considerando 24 horas, em 26/01/2009.

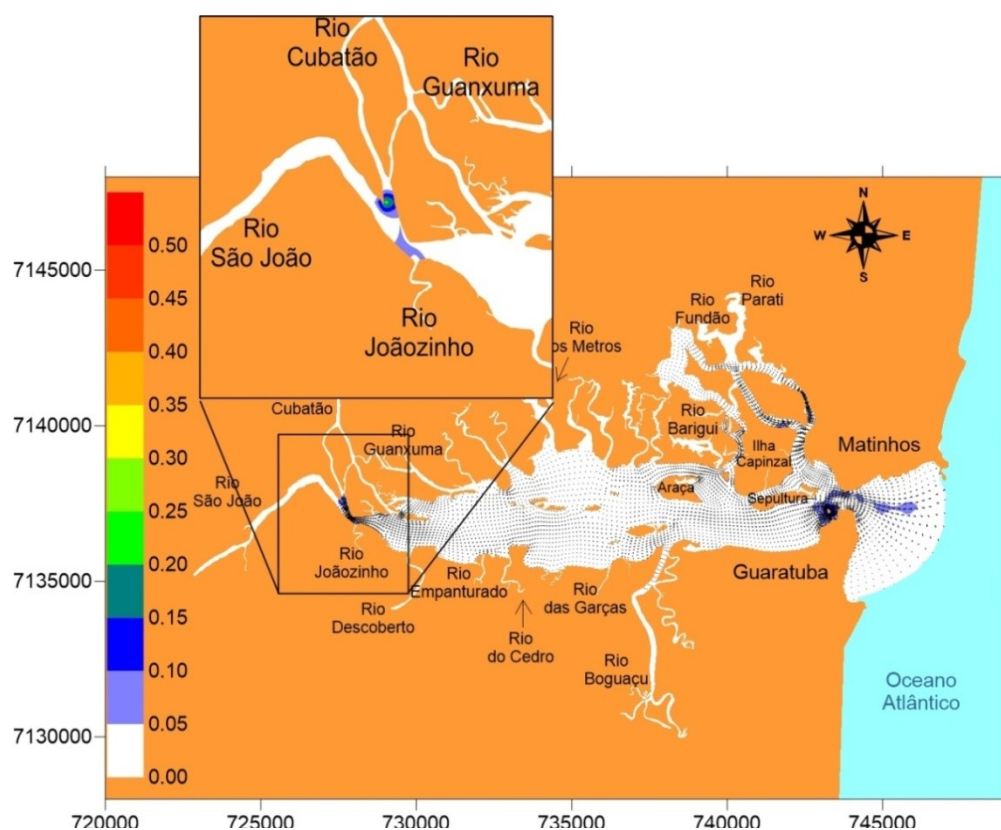


FIGURA 45 - Campo de correntes residual no domínio do modelo, considerando 24 horas, em 29/06/2009.

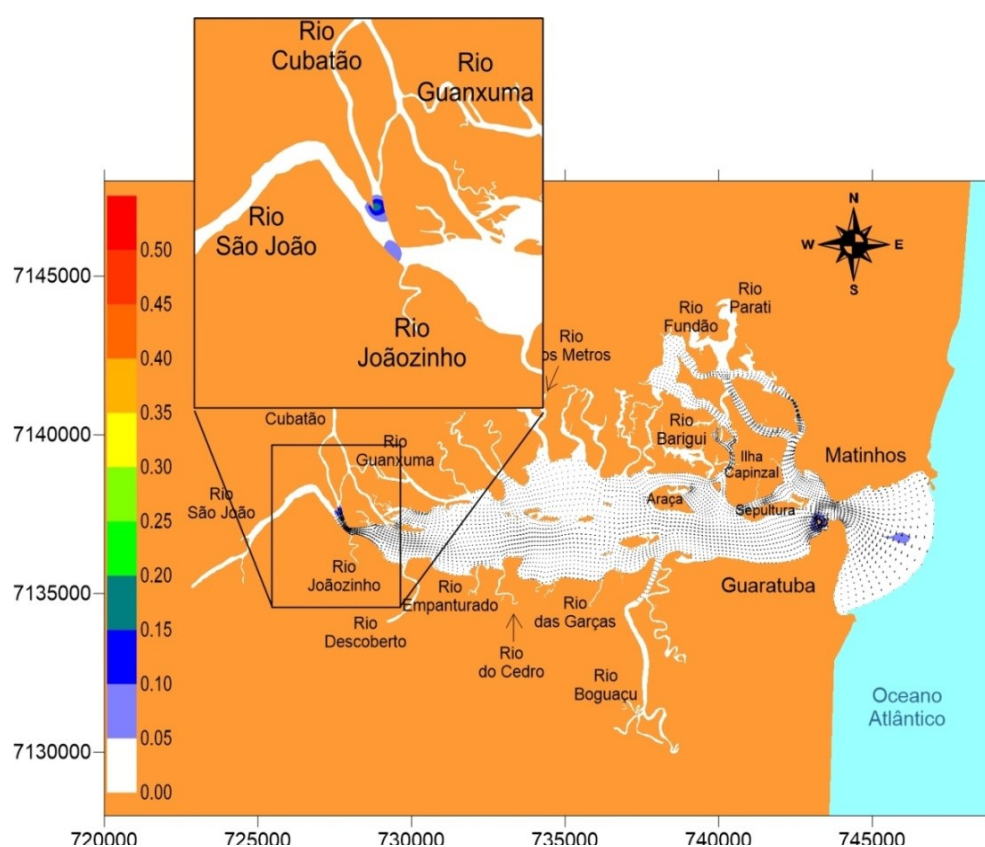


FIGURA 46 - Campo de correntes residual no domínio do modelo, considerando 24 horas, em 06/07/2009.

Observando os campos de velocidades residuais no verão, para o período de sizígia, nota-se a presença de dois vórtices próximos à ilha de Sepultura (Figura 47); os mesmos vórtices não podem ser observados no período de quadratura. No inverno, na porção central da baía pode-se observar que o escoamento residual modelado é complexo, formando pequenos vórtices nas regiões próximas as Ilhas, tanto em situações de maré de sizígia quanto de quadratura (Figura 48). O modelo também mostra que na porção leste da Baía existe uma corrente residual que segue a batimetria formada pelo canal principal. Em geral, o campo de velocidades residuais segue as formas da batimetria do domínio.

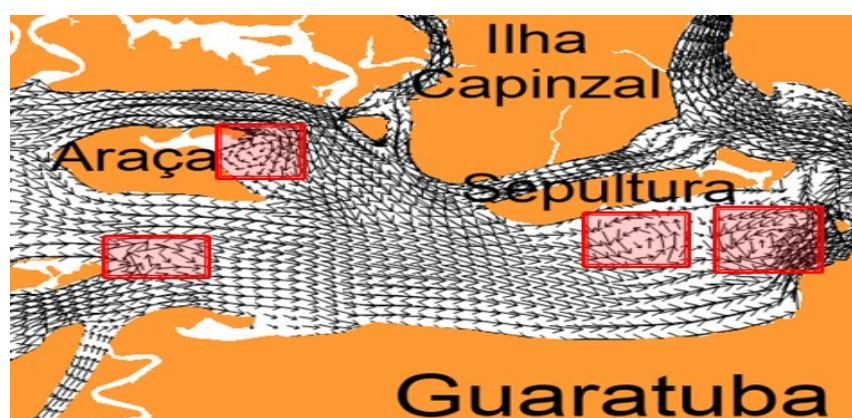


FIGURA 47 - Vórtices formados na baía durante o período de sizígia no verão.

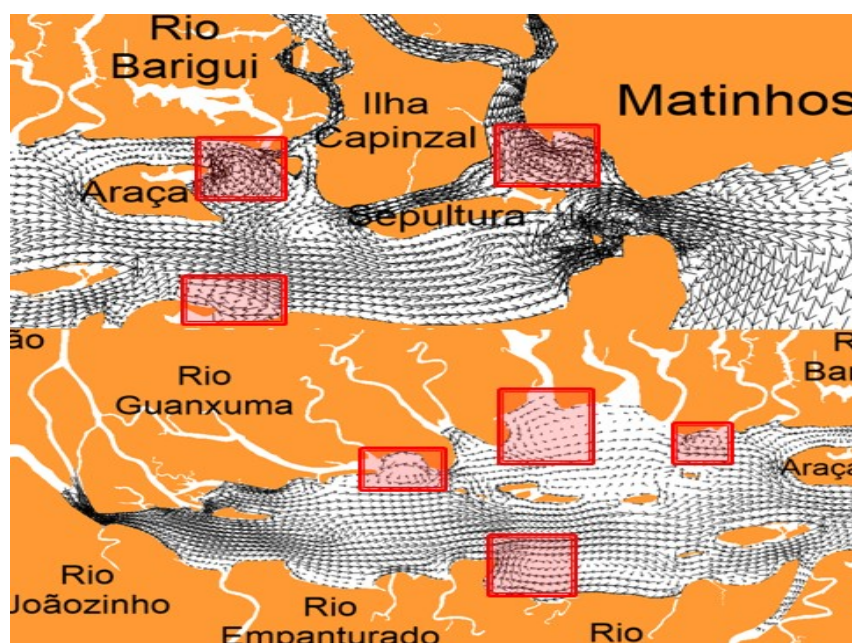


FIGURA 48 - Vórtices formados na baía durante os períodos de sizígia e quadratura no inverno.

6.2. PLUMAS DE CONTAMINANTES

Nos locais definidos para o lançamento de efluentes, foram posicionadas fontes pontuais retangulares, com 100 metros de comprimentos por 10 metros de largura, lançando quatro partículas de coliformes termotolerantes, a cada passo no tempo, com uma concentração de 10^7 NMP/100 ml; o lançamento ocorreu no dia 01 de janeiro, para os cenários 1, 2 e 3 (verão), e 01 de julho, para os cenários 4, 5 e 6 (inverno). Assim, durante os 60 dias de lançamento, foram lançadas um total de 138248 partículas, para todos os cenários.

Comparando os resultados, os cenários que consideram o tempo de decaimento constante de 12 horas, apresentam as maiores plumas de coliformes termotolerantes em relação às plumas formadas quando o tempo de decaimento é constante e igual às 6h ou variável, tanto no verão, quanto no inverno, como era esperado. É possível comprovar este comportamento observando a evolução temporal das concentrações de coliformes termotolerantes próximas às duas fontes (Estações D e E) para o verão (Figuras 49 e 51) e o inverno (Figuras 53 e 55). Na Figura 50 podemos observar, em detalhe, as variações da concentração na estação D, próxima a fonte de lançamento de efluente, no rio Boguaçu, para alguns dias de verão. É possível observar que a variação temporal das concentrações segue dois padrões: *i*) para T90 constante (6 ou 12h), as maiores concentrações não guardam relação com a hora do dia, mas com os períodos de vazante e enchente; *ii*) para T90 variável, as maiores concentrações acontecem durante a noite e, durante o dia, as concentrações são muito pequenas, mostrando claramente a influência da radiação solar no processo de decaimento. Na estação E (Figura 52), próxima a fonte do rio Prainha 1, é possível observar o mesmo comportamento descrito para a estação D.

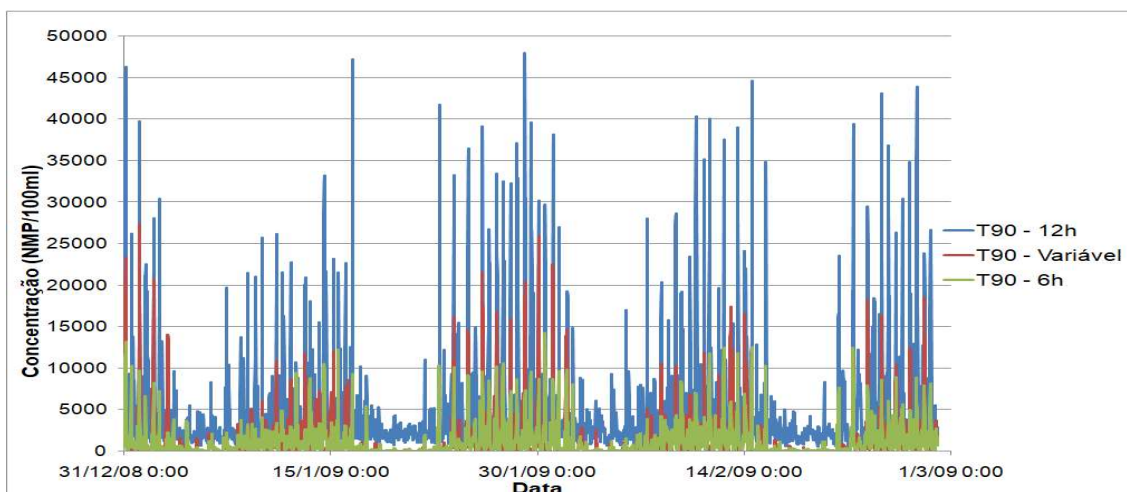


FIGURA 49 - Concentração de coliformes termotolerantes para diferentes T90, no verão, na estação D.

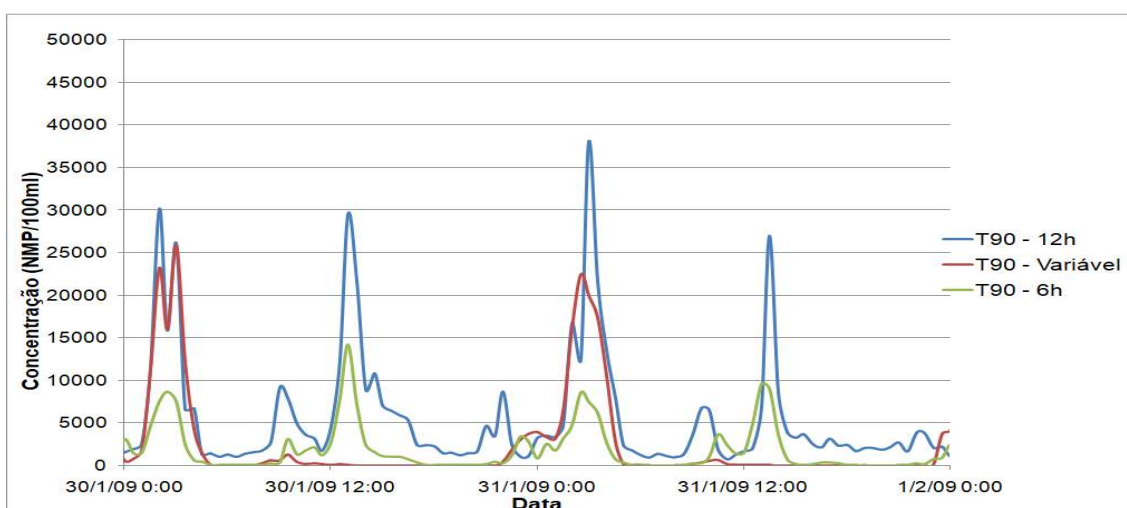


FIGURA 50 - Concentração de coliformes termotolerantes para diferentes T90, durante 2 dias de verão, na estação D.

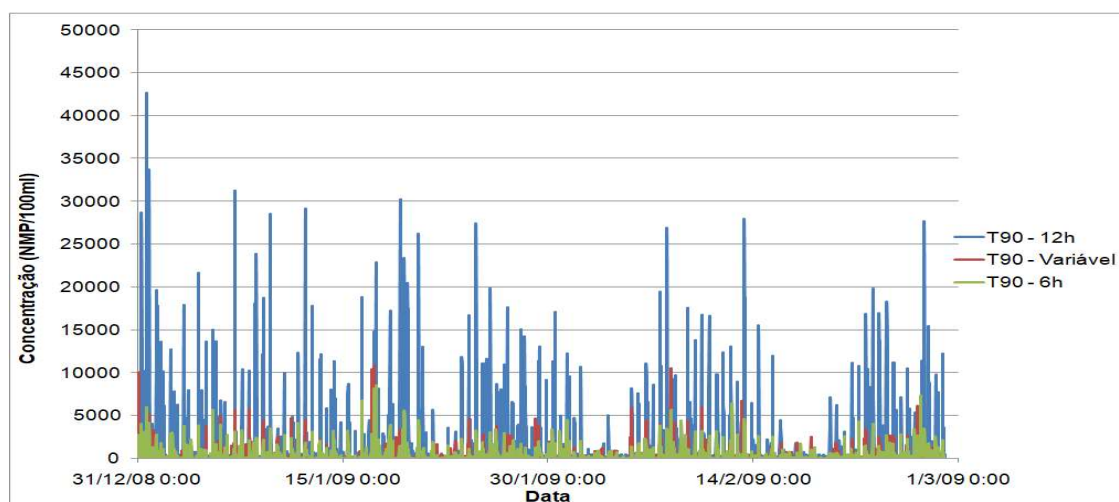


FIGURA 51- Concentração de coliformes termotolerantes para diferentes T90, no verão, na estação E.

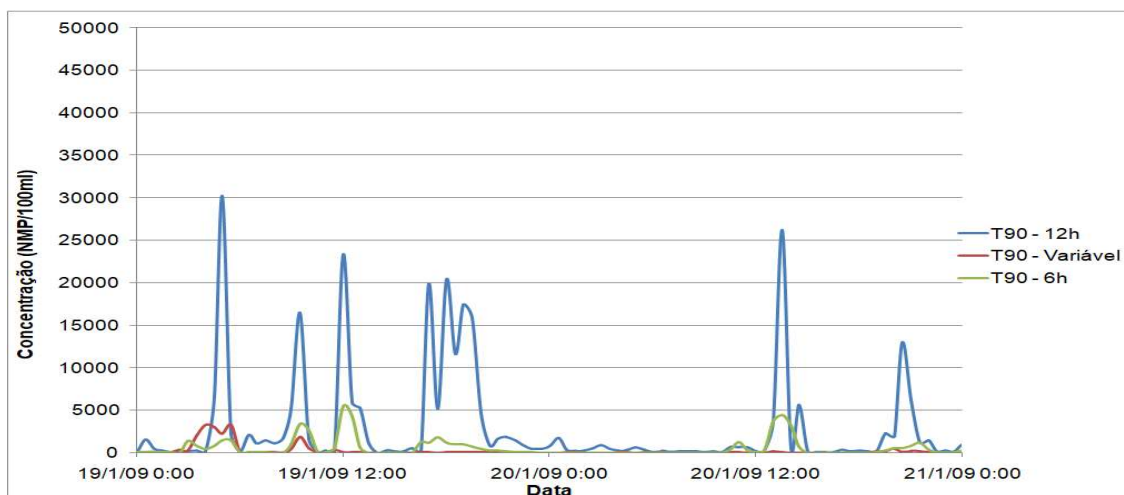


FIGURA 52 - Concentração de coliformes termotolerantes para diferentes T90, durante dois dias de verão, na estação E.

No inverno, as concentrações de coliformes termotolerantes ou E.coli são menores do que no verão (quase 10 vezes menores), pois as vazões dos efluentes são menores, devido à diminuição da população nas cidades de Matinhos e Guaratuba (Figura 53 e 55). O comportamento é semelhante ao descrito no verão. As Figuras 54 e 56 mostram um detalhe da variação temporal da concentração de coliformes termotolerantes e, assim, como nos cenários anteriores, é possível notar que as concentrações variam ao longo do dia (T90 variável), devido à ação da circulação hidrodinâmica da baía (T90 constante).

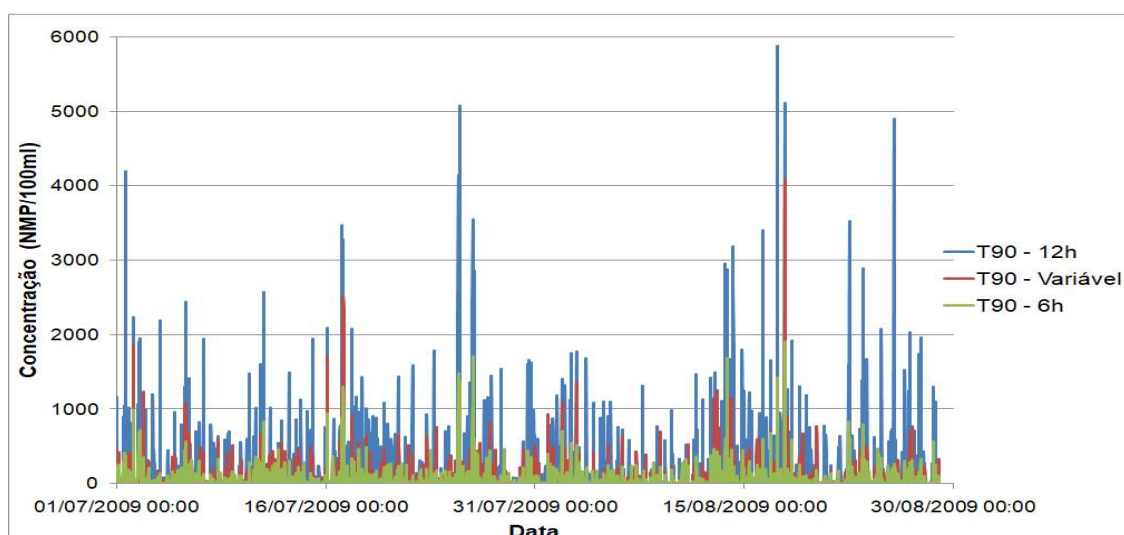


FIGURA 53 - Concentração de coliformes termotolerantes para diferentes T90, no inverno, na estação D.

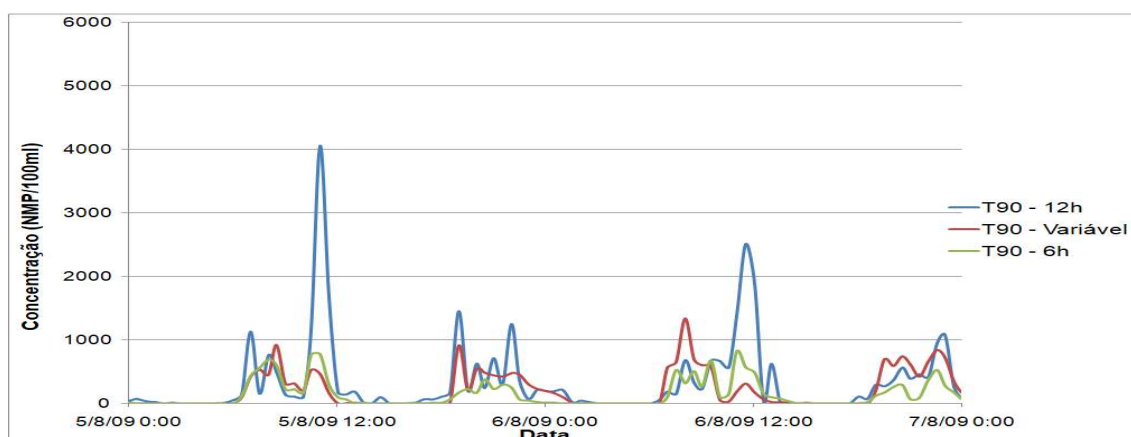


FIGURA 54 - Concentração de *E.coli* para diferentes T90, para dois dias de inverno, na estação D.

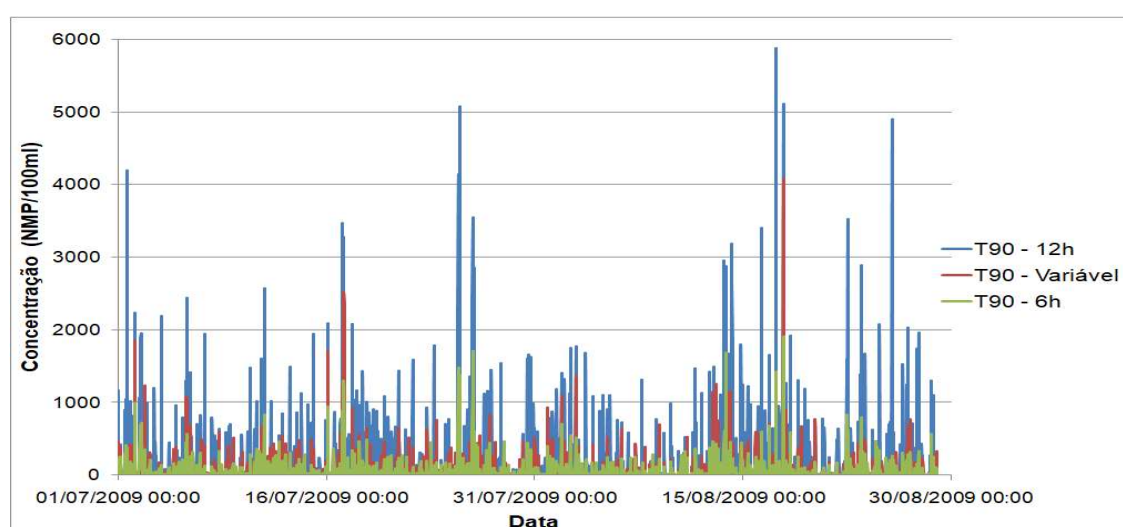


FIGURA 55 – Concentração de coliformes termotolerantes para diferentes T90, no inverno, na estação E.

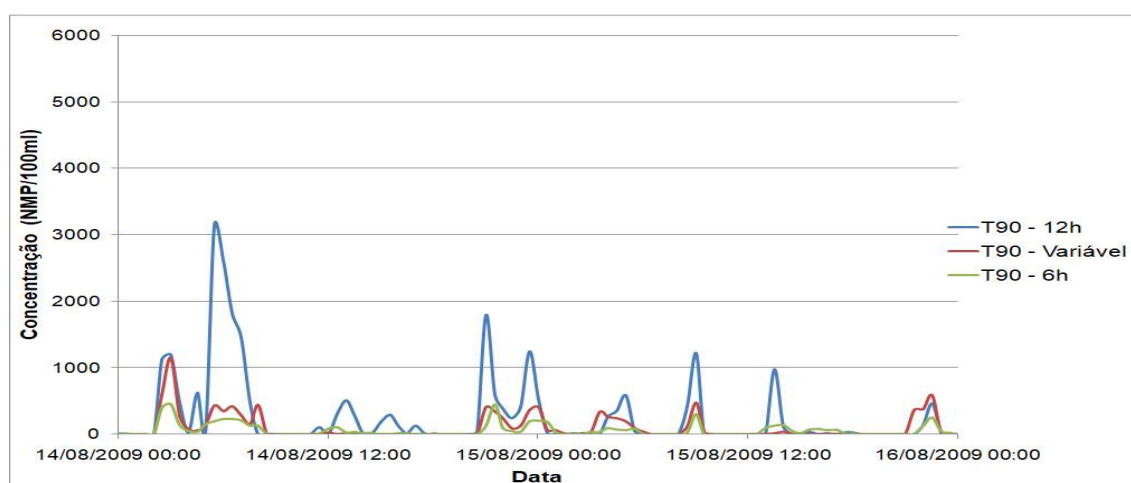


FIGURA 56 - Concentração de coliformes termotolerantes para diferentes T90, durante 2 dias de inverno, na estação E.

Já na Figura 57 observa-se que as concentrações de coliformes termotolerantes, na estação F, são menores, em relação às concentrações nas estações D e E, isso ocorre, pois a estação F está longe das fontes de lançamento de esgoto doméstico, assim apenas em marés de sizígia as plumas de contaminantes conseguem atingi-la. Para uma melhor visualização foi traçada uma linha continua (linha roxa) para a concentração de 88NMP/100ml, que representa o percentil 90% definido na Resolução CONAMA 357/2005. Nota-se, que na maior parte da simulação, essas concentrações maiores que o limite legislado, ocorrem durante a cenário com tempo de decaimento constante de 12 horas, ou seja, o pior cenário.

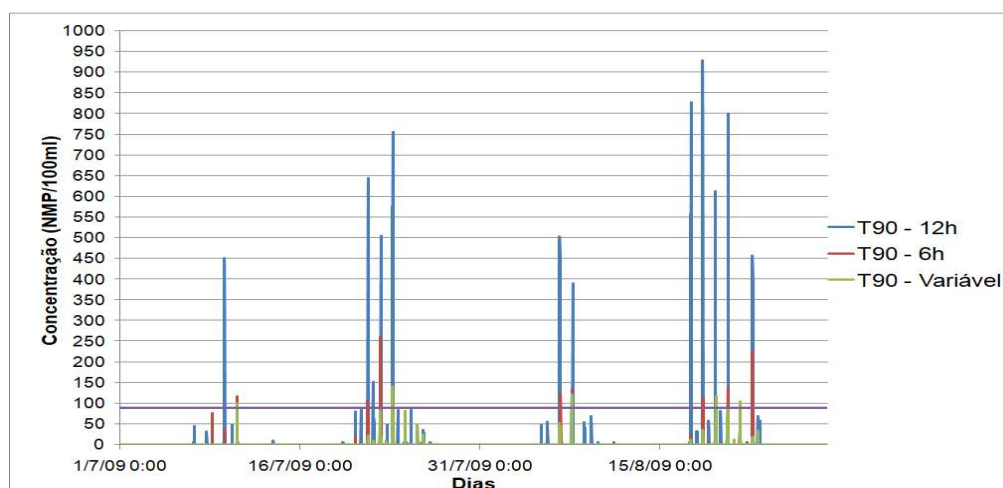


FIGURA 57 - Concentração de coliformes termotolerantes para diferentes T90, no inverno, na estação F.

Para os cenários de verão as plumas que atingem a estação F, apresentam picos com concentrações próximas a 40.000 NMP/100ml, no cenário com tempo de decaimento constante de 12 horas, por isso, não é possível visualizar em um gráfico a quantidade de vezes que as concentrações de coliformes termotolerantes são superiores ao limite legislado, devido a grande variação de concentração. Por isso na Tabela 9 é possível visualizar a porcentagem de tempo, e aproximadamente, o número de dias, em que as concentrações são superiores a 88NMP/100ml nos 60 dias de lançamento de efluentes, para os diferentes cenários simulados.

O único cenário que possui concentrações de coliformes termotolerantes superiores a 88NMP/100ml, em mais de 10% do tempo é o

cenário 5, que apresenta o cenário mais pessimista, com características hidrodinâmicas de verão e tempo de decaimento constante de 12 horas.

TABELA 9 – QUANTIDADE DE TEMPO EM QUE A CONCENTRAÇÃO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES ESTA ACIMA DO LIMITE LEGISLADO.

Cenário	Porcentagem (%)	Dias
1	1,62	1
2	6,93	4,16
3	1,99	1,20
4	6,15	3,70
5	11,38	6,83
6	3,24	1,94

As Figuras 58, 59, 60, 61, 62 e 63 apresentam a porcentagem de tempo em que as concentrações de coliformes termotolerantes foram superior a 88 NMP/100 ml, durante os 60 dias em que foram lançados os efluentes na baía de Guaratuba, essa é a concentração máxima exigida em 90% das amostras coletadas de água, em regiões de cultivo de moluscos bivalves, conforme a Resolução CONAMA nº357 de 2005.

Analisando os resultados obtidos, podemos observar que, para a maioria dos cenários, na região de cultivo de ostras (mostrado em detalhe nas figuras), as concentrações de coliformes termotolerantes são inferiores aos valores legislados. Observa-se também que a pluma lançada pela fonte 1 fica mais restrita, enquanto a pluma formada a partir da fonte 2 se espalha, principalmente nos cenários 4, 5 e 6.

Outro importante detalhe a ser observado é que para os tempos de decaimento variável e contante de 6 horas, as plumas possuem formas semelhantes, tanto para o verão quanto para o inverno.

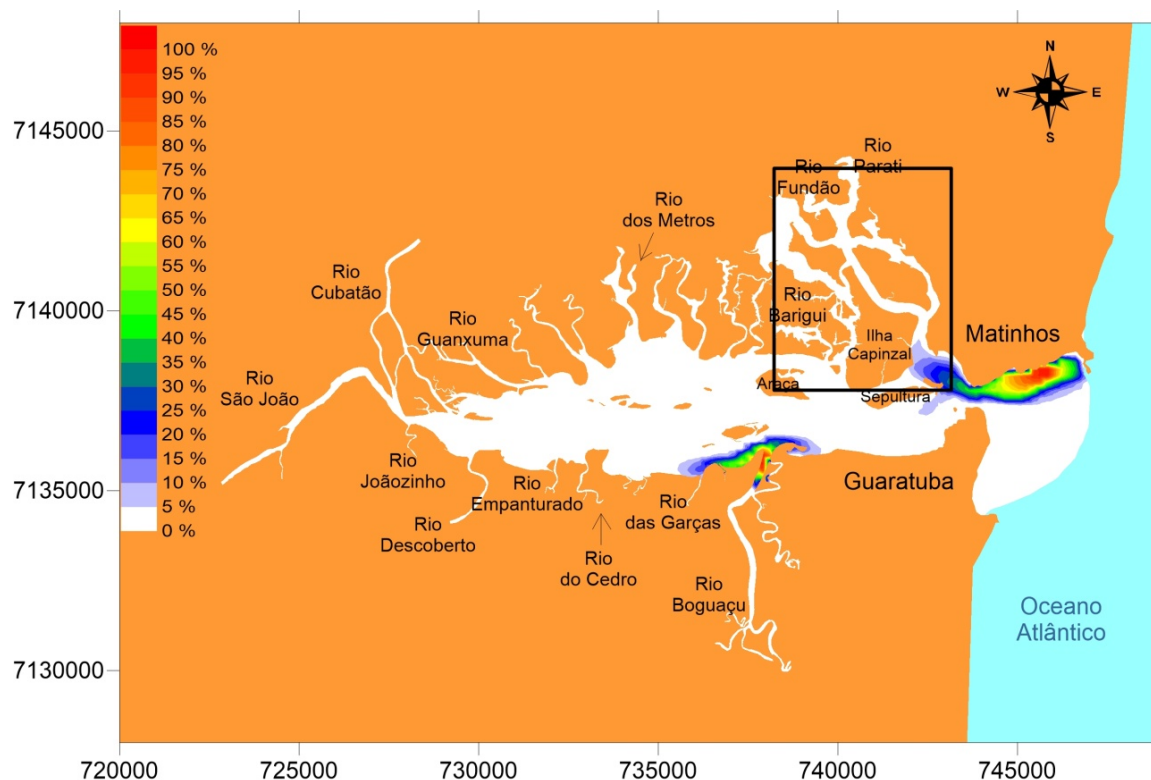


FIGURA 58 - Porcentagem de tempo em que a concentração de coliformes termotolerantes está acima de 88 NMP/100 ml, para o cenário 1. Em detalhe, a região de cultivo de ostra.

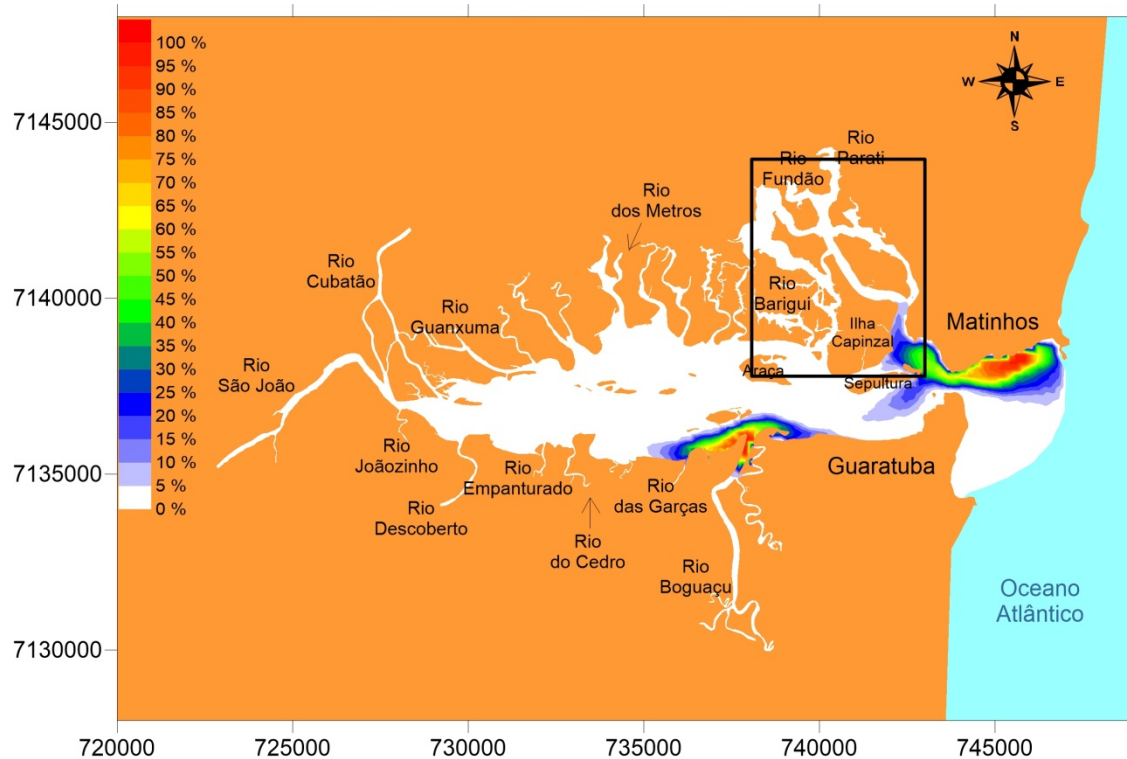


FIGURA 59 - Porcentagem de tempo em que a concentração de coliformes termotolerantes está acima de 88 NMP/100 ml, para o cenário 2. Em detalhe, a região de cultivo de ostra.

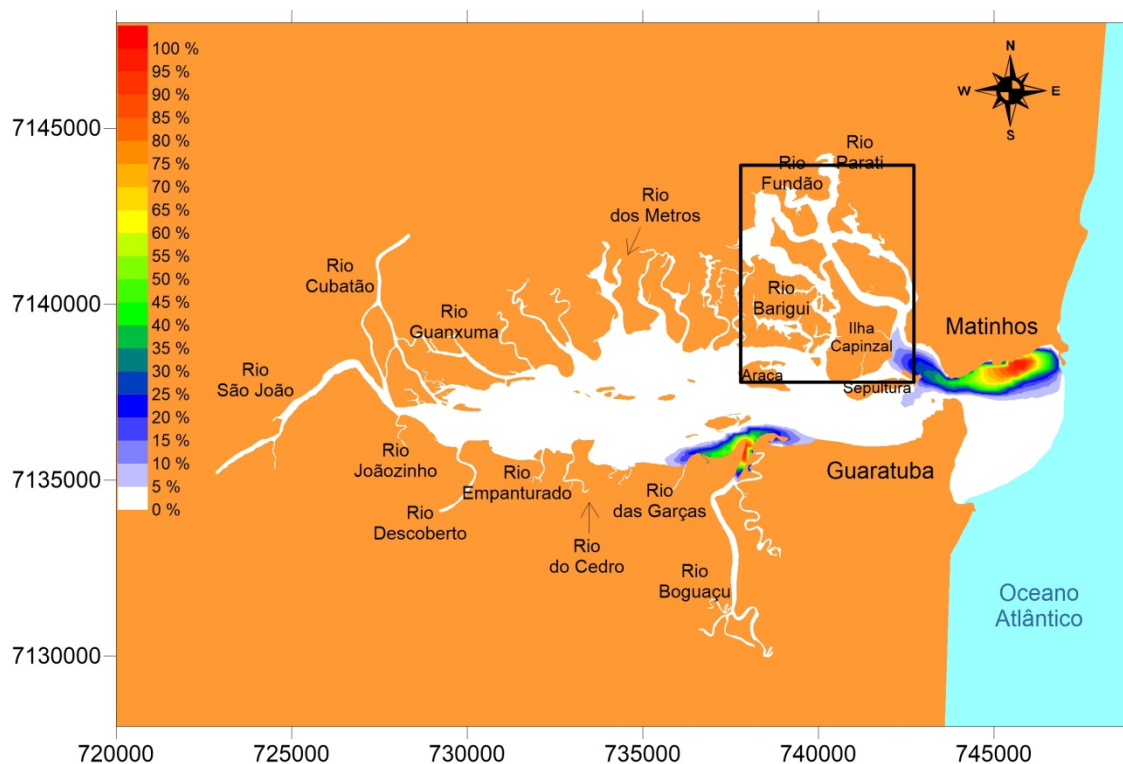


FIGURA 60 - Porcentagem de tempo em que a concentração de coliformes termotolerantes está acima de 88 NMP/100ml, para o cenário 3. Em detalhe, a região de cultivo de ostra.

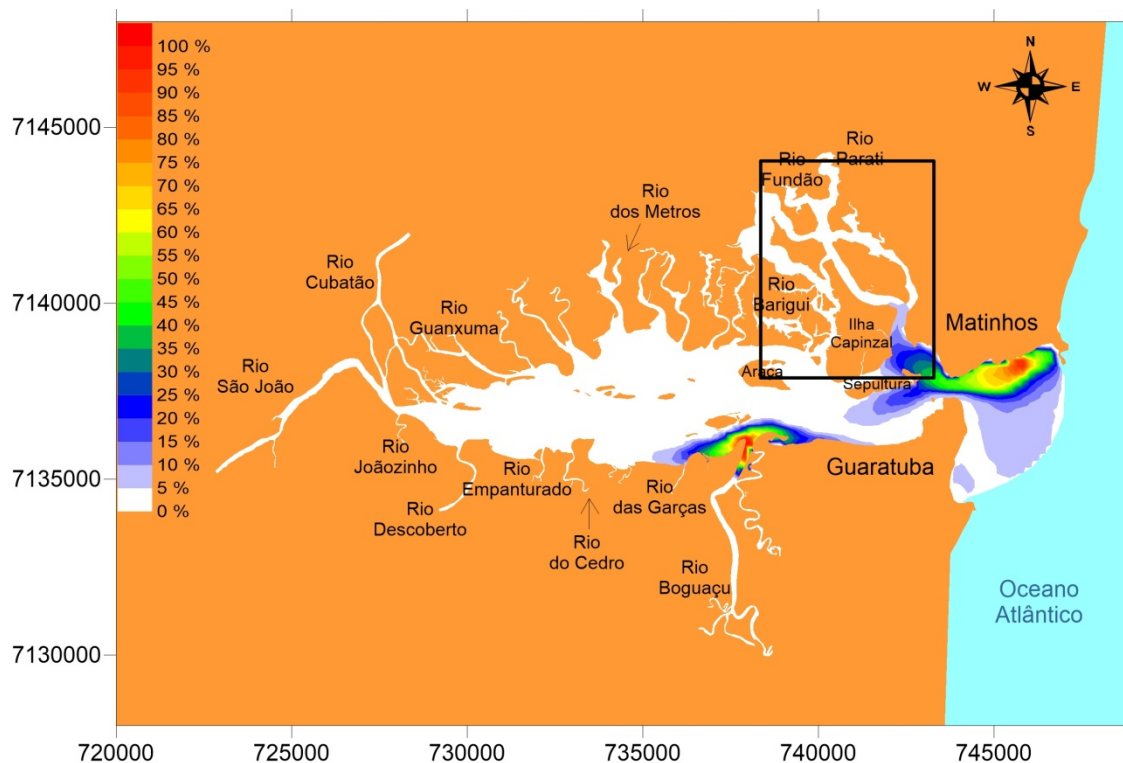


FIGURA 61 - Porcentagem de tempo em que a concentração de coliformes termotolerantes está acima de 88 NMP/100 ml, para o cenário 4. Em detalhe, a região de cultivo de ostra.

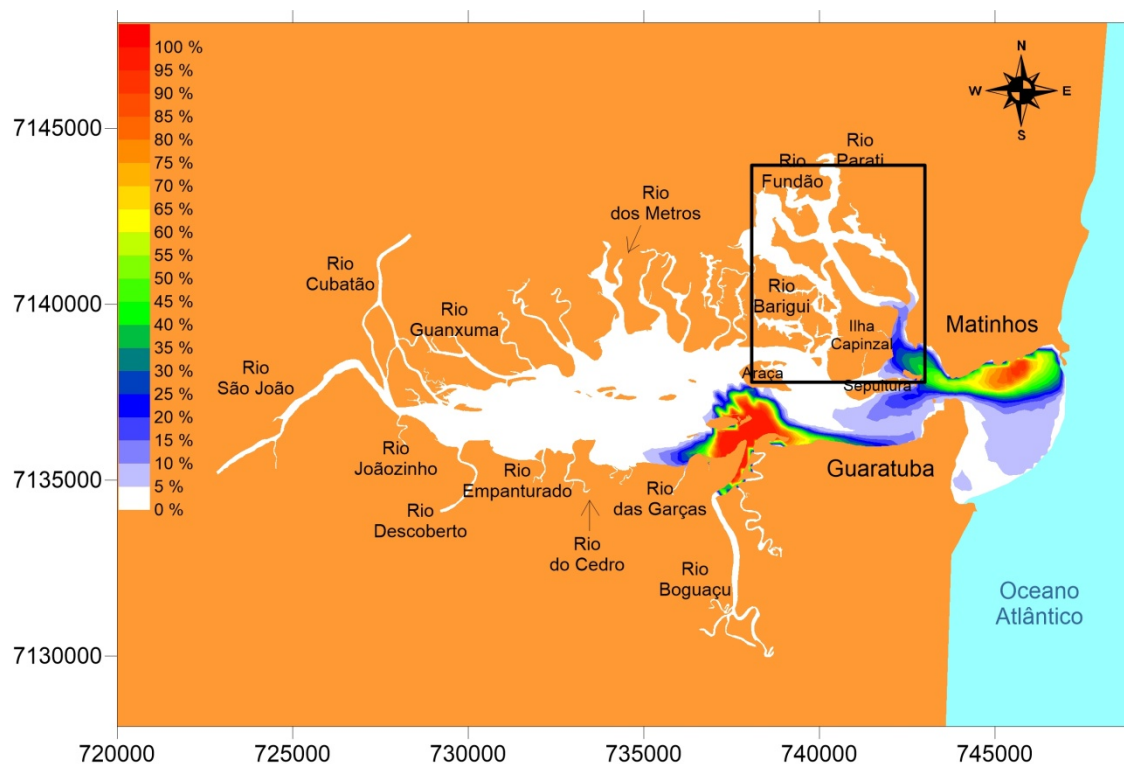


FIGURA 62 - Porcentagem de tempo em que a concentração de coliformes termotolerantes está acima de 88 NMP/100 ml, para o cenário 5. Em detalhe, a região de cultivo de ostra.

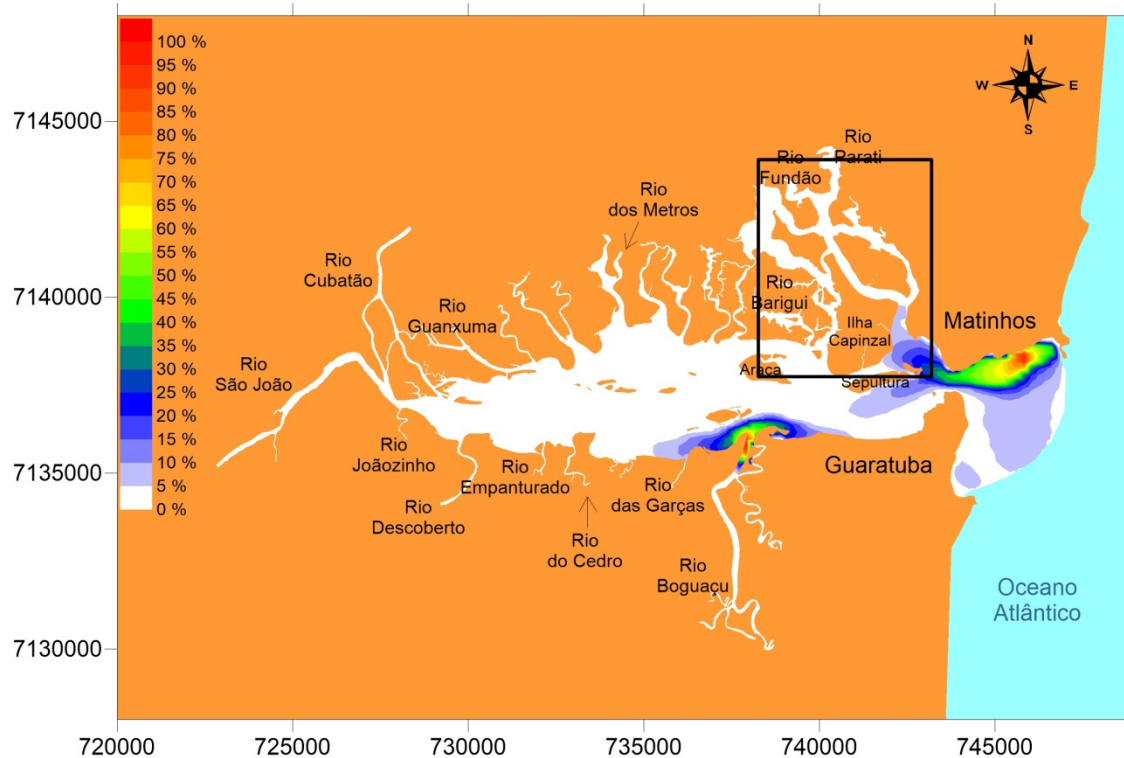


FIGURA 63 - Porcentagem de tempo em que a concentração de coliformes termotolerantes está acima de 88 NMP/100 ml, para o cenário 6. Em detalhe, a região de cultivo de ostra.

7. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Considerando a falta dados disponíveis, a exclusão de tratamento do esgoto doméstico que é lançado na baía de Guaratuba e a consideração que todas as residências são de padrão médio, os resultados deste trabalho devem ser observados qualitativamente. No entanto, podem ser usados para comparar os impactos que o aumento da população do entorno da baía de Guaratuba provoca na baía, em períodos de verão e inverno.

Os resultados mostram que a baía de Guaratuba tem uma tendência de vazante. Mostra ainda que o aumento da população durante o verão interfere na qualidade da água na porção mais a leste da baía. Mesmo com a grande quantidade de esgoto lançada na baía de Guaratuba durante o verão, a região de cultivos de ostras é pouco afetada, devido às grandes distâncias das fontes em relação às regiões de cultivo. Porém, é necessário que os cuidados com a qualidade da água sejam mantidos, para se atender a legislação, e assim garantir uma carne de ostra de qualidade aos seus consumidores. Possivelmente devem existir outras fontes de esgoto que chegam a baía, que não foram consideradas neste estudo e, que certamente alterariam os resultados obtidos.

Também foi possível identificar a semelhança entre as plumas de contaminantes que possuíam tempos de decaimento constante de 6 horas e variável, sendo o último, tratado como o cenário mais realista, pois é o único que leva em consideração o efeito da radiação solar. E assim os piores cenários, com tempo de decaimento de 12 horas, que apresentam as maiores plumas de contaminantes, dificilmente representam o que acontece no mundo real.

É possível concluir ainda, que a região norte da baía de Guaratuba é a região menos afetada pelas plumas de poluentes, devido à inexistência de centros urbanos no entorno da baía. Portanto, essa seria uma região propícia a receber novas fazendas de cultivo de ostras (Figura 64).

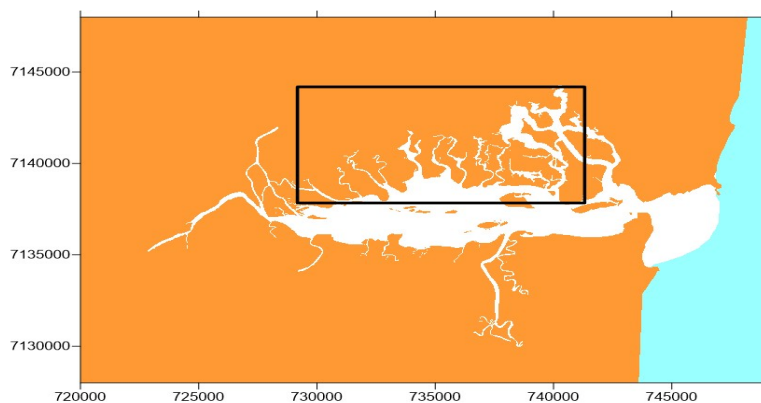


FIGURA 64 - Possíveis regiões para novos cultivos de ostras na baía de Guaratuba

Recomendam-se para trabalho futuros, os seguintes temas:

- Variar as vazões de esgoto durante o dia e a noite, pois possivelmente a vazão de efluentes durante o dia é maior do que a noite;
- Considerar outras fontes de esgoto doméstico;
- Validar e calibrar os modelos;
- Realizar estudos sobre a temperatura e a salinidade da água na baía de Guaratuba na região de cultivo de ostra.

8. BIBLIOGRAFIA

ÂNGULO, R. J. **Geologia da planície costeira do Estado do Paraná**. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229**. Rio de Janeiro, 1993.

BARBOSA, C. F. **Caracterização Biossedimentológica Quantitativa do Sistema Estuário-Manguezal da Baía de Guaratuba, PR**. Tese (Mestrado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1991.

BRANDINI, N. **BIOGEOQUÍMICA DA BAÍA DE GUARATUBA, PARANÁ, BRASIL: Origem, metabolismo, balanço de massa e destino da matéria biogênica**. Tese (Doutorado em Geoquímica Ambiental). Centro de Estudos Gerais. Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2008.

CANTERAS, J. C.; JUANES, J. A.; PEREZ, L. & KOEV, K. N. "Modeling the Coliform Inactivation Rates in the Catambrian Sea (Bay of Biscay) From in Situ and Laboratory Determinations of T90. **Water Science Technology**, v.32, n. 2. 1995. p 37-44

CASTILHO, G. G. **Ecologia da Ostra no Mangue *Crassostrea brasiliana* (Lamarck, 1819) em Manguezais da Baía de Guaratuba-PR**. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas). Setor de Ciências Biológicas. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

CHAMBERLIM, C. E. & MITCHELL, R. ,1978, A decay model for enteric bacteria in natural Waters. **Water Polution Microbiology**. Edited by Ralph Mitchell. Willey-Intercience Publication. Vol. 2. 1978. p. 325-348.

CHRISTO, S. W. ABSHER, T. M. KOLM H. E. CRUZ-KALED, A. C. **Qualidade da Água em Área de Cultivo de Ostras na Baía de Guaratuba (Paraná – Brasil)**. Publ. UEPG Ci. Biol. Saúde, Ponta Grossa, v.14, p. 67-71, 2008.

CORRÊA, A. A. **Estudo sobre a dinâmica de depuração de ostras de cultivo (*Crassostrea gigas*) artificialmente contaminadas com *Salmonella enterica* sorovar Typhimurium**. Tese (Mestrado em Biotecnologia). Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

COSTA, M. A. M. **Da Lama ao Caos: um Estuário Chamado Baía de Guanabara**. **Caderno Metrópole**. São Paulo, v. 17, n. 33, pp. 15-39. 2015.

CULTIMAR. **Grupo Integrado de Aquicultura e Estudos Ambientais.** Universidade Federal do Paraná, 2013. Disponível em: <<http://cultimar.org.br/site/%C3%A1rea-sanit%C3%A1ria.html>>. Acessado em: 25 de Agosto de 2017

DALAZEN, J. P. **Modelagem Numérica da Renovação das Águas no Complexo Estuarino de Paranaguá.** Tese (Mestrado em: Engenharia Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

DEMARCHI, C. G. **Estudo de Mercado – O Comércio de Ostras e Mexilhões em Santa Catarina.** Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Aquicultura. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

FEITOSA, R. C. **Acoplamento de Modelos de Campos Próximos e Campo Afastado com Cinética de Decaimento Bacteriano Variável – Aplicações em Emissários Submarinos.** Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Costeira). Programas de Pós-Graduação em Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.

FEMAR. Fundação de Estudos do Mar. **Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras.** Disponível em: <<https://www.fundacaoofemar.org.br/biblioteca/emb/tabelas/259.html>>. Acessado em: 15 de Setembro de 2017.

FRANCESCHI, F.; CASTILHO, G. G.; OSTRENSKY, A.; BOEGER, W. **Variação da Concentração de Bactérias Fecais na Carne de Ostras do Mangue (*Crassostrea Rhizopora*) GUILDING, 1828, Coletadas em Bancos Naturais da Baía de Guaratuba, PR.** Grupo Integrado de Aquicultura e Estudos Ambientais. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

HATJE, V., ANDRADE, J. B., **Baía de Todos os Santos: Aspectos Oceanográficos.** Salvador: EDUFBA, 2009, 304 p. ISBN 978-85-232-0929-2. Available from SciELO Books. Disponível em: <<https://static.scielo.org/scielobooks/4szy8/pdf/hatje-9788523209292.pdf>> Acessado em: 23 de Outubro de 2017.

IBGE. **Censo populacional das cidades de Guaratuba e Matinhos.** Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=411570&search=|infogr%E1ficos:-dados-gerais-do-munic%EDpio>>. Acessado em 15 de Agosto de 2017.

LACTEC – INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO. **Plano de Desenvolvimento e Zoneamento – PDZPO do Porto de Antonina.** Curitiba, 2012.

LOPES, G. M. **Aplicação de um Modelo Numérico Hidrodinâmico para as Baías de Paranaguá e Antonina.** Dissertação (Mestrado em Sistemas Costeiros e Oceânicos) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná, 2010.

MAFRA, T. V. **Caracterização da Atividade de Ostreicultura no Município de Guaratuba - Paraná - Brasil.** Monografia em Oceanografia. Setor de Ciências da Terra. Centro Estudos do Mar. Universidade Federal do Paraná. Pontal do Paraná, 2007.

MANCINI, J.L., Numerical Estimates of Coliform Mortality Rates Under Various Conditions. **Journal Water Pollution Control Fed.**, v.50, n. 11. 1978. p. 2477-2484.

MANTOVELLI, A., **Caracterização da dinâmica hídrica e do material particulado em suspensão na baía de Paranaguá e em sua bacia de drenagem.** Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) Departamento de Geologia. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1999.

MARONE, E.; NOERNBERG, M. A.; DOSSANTOS, I.; LAUTERT, L. F.; ANDREOLI, O. R.; BUBA, H.; FILL, H. D. Hydrodynamic of Guaratuba Bay, PR, Brazil. **Journal of Coastal Research.** v. 39, 2006.

MENON, A. S. **Salmonellae and pollution indicator bacteria in municipal and food processing effluents and the Cornwallis River.** Canadian Journal of Microbiology. v. 31. 1985. p. 598-603.

MIRANDA, L.B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. **Princípios da Oceanografia Física de Estuários.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2012.

NETO, R. M.; ZENI, T. O.; LUDWIG, S.; HORODESK, A.; GIROTTI M. V. F.; CASTILHO, G. G.; OSTRENSKY, A. **Influence of environmental variables on the growth and reproductive cycle of Crassostrea (Mollusca, Bivalvia) in Guaratuba Bay, Brazil.** Grupo Integrado de Aquicultura e Estudos Ambientais. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

OLIVEIRA, S. M. A. **Análise de Desempenho e Confiabilidade de Estações de Tratamento de Esgoto.** Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2006.

PROJETO HG-52. **Aproveitamentos Hidrelétricos de Pequeno Porte Centro de Hidráulica e Hidrologia Prof. Parigot de Souza.** Instituto das Águas do Paraná, 1985. Disponível em: <<http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/mp13.pdf>>. Acessado em: 29 de março de 2018.

ROSMAN, P. C. C. **Modelagem Computacional de Circulação Hidrodinâmica e Transporte de Contaminantes na Baía de Sepetiba, RJ.** Relatório COPPETEC-ET-170334. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 1998.

ROSMAN, P. C. C. **Referência Técnica do SisBaHiA**. Disponível em: <http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br/SisBAHIA_RefTec_V95.pdf>. Acessado em: 17de Setembro de 2017.

SILVA, J. P. **Estudos Sedimento lógicos, Hidrodinâmicos, Batimétricos e de Qualidade da Água Visando a Evolução e os Aspectos Ambientais Associados do Estuário do Rio Formoso – PE**. Tese (Doutorado em Geociências). Recife, 2008.

ŠOLIĆ, M., KRSTULOVIC, N. Separated and Combined Effectes of Solar Radiation, Temperature, Salinity and pH on the Survival of Faecal Coliforms in Seawater. **Marine Pollution Bulletin**. v. 24, n. 8. 1992. p. 411-416

VON SPERLING, M. **Introdução á Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 4. Ed. Belo Horizonte. Editora UFMG. 2014. p. 82–114.

ZEM, R. C. **Dinâmica Sedimentar da Baía de Guaratuba – PR**. Setor Ciências da Terra. Universidade Federal do Paraná. Pontal do Paraná, 2005.

ZEM, R.; MARONE, E.; PATCHINEELAM, S. **Síntesis comparativa de métodos de análisis granulométrico de sedimentos**. XXV Congreso de Ciencias del Mar de Chile y XI Congreso Latino Americano de Ciencias Del Mar, Viña Del Mar, Chile. p.211.