

Moluscos bivalves

Metodologia utilizada no Inquérito Sanitário das baías da Grande Florianópolis





Governador do Estado
Raimundo Colombo

Secretário de Estado da Agricultura e da Pesca
Airton Spies

Presidente
Luiz Ademir Hessmann

Diretores
Ditmar Alfonso Zimath
Extensão Rural

Luiz Antonio Palladini
Ciência, Tecnologia e Inovação

Paulo Roberto Lisboa Arruda
Administração e Finanças

Neiva Dalla Vecchia
Desenvolvimento Institucional



ISSN 0100-7416

BOLETIM TÉCNICO Nº 165

Moluscos bivalves

Metodologia utilizada no Inquérito Sanitário das baías da Grande Florianópolis

Luis Hamilton Pospissil Garbossa
Robson Ventura de Souza
Luiz Fernando de Novaes Vianna
Argeu Vanz
Guilherme Sabino Rupp



Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

Florianópolis

2014

Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri)
Rodovia Admar Gonzaga, 1347, Itacorubi, Caixa Postal 502
88034-901 Florianópolis, SC, Brasil
Fone: (48) 3665-5000, fax: (48) 3665-5010
Site: www.epagri.sc.gov.br
E-mail: epagri@sc.gov.br

Editado pela Gerência de Marketing e Comunicação (GMC).

Gerente: Renato Bez Fontana

Editoria técnica: Paulo Sergio Tagliari

Revisão textual: João Batista Leonel Ghizoni

Revisão técnica:

Bruno Corrêa da Silva – Epagri/CEPC

Carlos Campos – Cefas/Inglaterra

Felipe Matarazzo Suplicy – Epagri/Cedap

Colaboração: André Luiz Tortato Novaes – Epagri/Cedap

Este estudo foi realizado através do projeto “Estudo ambiental para o ordenamento de parques aquícolas destinados ao cultivo de moluscos bivalves de acordo com padrões internacionais” - Edital MCT/CNPq/CT-Hidro/MPA nº 18/2010 – Processo No. 561506/2010-8. Coordenador Guilherme Sabino Rupp

Primeira edição (*online*): novembro de 2014

É permitida a reprodução parcial deste trabalho desde que citada a fonte.

Ficha catalográfica

GARBOSSA, L.H.P.; SOUZA, R.V.; VIANNA, L.F.N.; VANZ, A.; RUPP, G.S.
Moluscos bivalves: metodologia utilizada no Inquérito Sanitário das baías da Grande Florianópolis. Florianópolis: Epagri, 2014. 44p.
(Epagri. Boletim Técnico, 165).

Aquicultura; Moluscos bivalves; Monitoramento microbiológico

ISSN 0100-7416

O

Autores

Luis Hamilton Pospissil Garbossa

Engenheiro civil, Dr., Epagri / Ciram, Rodovia Admar Gonzaga, 1.347, Itacorubi, 88.034-901 Florianópolis, SC, e-mail: luisgarbossa@epagri.sc.gov.br

Robson Ventura de Souza

Médico-veterinário, M.Sc., Epagri / Cedap, Rodovia Admar Gonzaga, 1.188, Itacorubi, 88.010-970 Florianópolis, SC, e-mail: robsonsouza@epagri.sc.gov.br

Luiz Fernando de Novaes Vianna

Biólogo, Dr., Epagri / Ciram, Rodovia Admar Gonzaga, 1.347 – Itacorubi, 88.034-901 Florianópolis, SC, e-mail: vianna@epagri.sc.gov.br

Argeu Vanz

Oceanólogo, M.Sc., Epagri / Ciram, Rodovia Admar Gonzaga, 1.347, Itacorubi, 88.034-901 Florianópolis, SC, e-mail: argeuvanz@epagri.sc.gov.br

Guilherme Sabino Rupp

Biólogo, Dr., Epagri / Cedap, Rodovia Admar Gonzaga, 1.188, Itacorubi, 88.010-970 Florianópolis, SC, e-mail: rupp@epagri.sc.gov.br

APRESENTAÇÃO

Santa Catarina é o maior produtor nacional de moluscos bivalves, colocando o Brasil na segunda posição em produção desses organismos na América Latina. As ostras, os mexilhões e as vieiras produzidos pelas fazendas marinhas de Santa Catarina representam 95% da produção nacional.

Por serem organismos filtradores, é necessária uma série de cuidados em relação à qualidade dos moluscos e das águas onde são cultivados. A Epagri, que teve papel fundamental na implementação de um programa de controle higiênico-sanitário de moluscos bivalves em Santa Catarina, segue dando novos passos no sentido da melhoria da qualidade desses organismos para o consumo humano.

Neste Boletim Técnico apresentamos a metodologia adotada pelos técnicos da Epagri no primeiro Inquérito Sanitário de áreas de cultivo de moluscos realizado no Brasil. Trata-se de um levantamento detalhado de informações, como localização de fontes de poluição, hidrografia e circulação de água, que é utilizado em outros países para definir planos de monitoramento microbiológico que visam à garantia da qualidade dos moluscos. Apesar de não ser um requisito legal no Brasil, esse tipo de levantamento é uma ferramenta importante para ações de proteção da saúde pública e pode tornar-se uma ferramenta para o futuro acesso dos produtos catarinenses aos mercados internacionais.

A Diretoria Executiva

SUMÁRIO

1	O que são Inquéritos Sanitários e por que realizá-los em áreas de cultivo ou extração de moluscos bivalves	10
2	O PNCMB e a necessidade de estabelecimento de planos de monitoramento microbiológico	11
3	O Inquérito Sanitário realizado na Região da Grande Florianópolis	13
4	Inventário de fontes de poluição	16
4.1	Identificação das principais bacias hidrográficas que drenam para a área-alvo e a determinação de seus exutórios.....	16
4.2	Levantamento de aportes hídricos menos significativos e outras fontes de poluição.....	19
5	Variação da quantidade de poluentes lançados na baía ..21	
5.1	Descarga líquida dos rios.....	22
5.2	Monitoramento microbiológico dos rios	23
5.3	Estimativa da vazão das bacias hidrográficas.....	25
5.4	Determinação da carga de coliformes aportada pelos rios.....	26
5.5	Estimativa de vazão e carga de coliformes das ETEs.....	26
6	Características da circulação de poluentes.....	27
6.1	Monitoramento da maré.....	28
6.2	Monitoramento de correntes e maré	29
6.3	Aplicação de modelo numérico hidrodinâmico	31
6.4	Monitoramento microbiológico em áreas marinhas	33
6.5	Monitoramento microbiológico de moluscos provenientes de fazendas marinhas	35
6.6	Validação do modelo numérico hidrodinâmico	38

7	Compilação e organização das informações levantadas no inquérito sanitário	39
8	Considerações finais.....	41
9	Referências	42

1 O que são Inquéritos Sanitários e por que realizá-los em áreas de cultivo ou extração de moluscos bivalves

Moluscos bivalves são animais filtradores, capazes de concentrar partículas em suspensão na água, incluindo contaminantes que podem estar presentes em áreas de cultivo. Os contaminantes podem envolver microrganismos, substâncias tóxicas e toxinas produzidas por microalgas, que podem causar doenças em humanos. No caso específico dos contaminantes microbianos, o risco é aumentado pelo hábito de se consumir bivalves *in natura* (ostras) ou levemente cozidos (mexilhões). Um diagnóstico do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento Básico do Ministério das Cidades realizado em 2011 (Brasil, 2013) revelou informações preocupantes sobre esse tipo de serviço no Brasil. De acordo com o estudo, o índice médio de atendimento da população com rede de coleta de esgotos em Santa Catarina é de apenas 21%, o que posiciona o estado em 19^o, entre as 27 unidades da federação. Esse cenário é especialmente preocupante do ponto de vista da saúde pública quando se considera que o Estado é o maior centro produtor de moluscos bivalves do Brasil.

Devido à insuficiência das redes de coleta e tratamento de esgoto no Brasil, moluscos cultivados nas proximidades de centros urbanos podem estar sujeitos ao contato com microrganismos patogênicos originários dos efluentes das cidades. Da mesma forma, os cultivos podem ser afetados por efluentes carreados de áreas urbanas mais distantes por rios localizados em bacias hidrográficas que drenam para áreas costeiras. Além disso, mesmo cultivos estabelecidos em áreas afastadas de centros urbanos

podem ser afetados por poluição urbana se os padrões locais de circulação de água nas baías e nos estuários transportarem os efluentes até essas áreas. É possível ainda que a distribuição das chuvas ou mesmo o aumento da população no litoral durante o verão possam influenciar no aporte de poluentes para as áreas costeiras. Ademais, deve ser avaliada a contribuição de contaminação fecal de origem animal em locais sob influência de bacias onde seja detectada presença significativa de animais.

A esta altura, o leitor deve estar compreendendo a importância e a complexidade que envolve a gestão da aquicultura. Nesse aspecto estão envolvidas questões políticas, sociais, econômicas e ambientais, que devem ser tratadas com base em informações técnico-científicas confiáveis.

2 O PNCMB e a necessidade de estabelecimento de planos de monitoramento microbiológico

Considerando os riscos envolvidos, o Governo Federal instituiu em 2012 o Programa Nacional de Controle Higiênico-Sanitário de Moluscos Bivalves (PNCMB)¹. Para minimizar os riscos relacionados à contaminação microbiológica dos moluscos, essa legislação estabelece o controle da colheita dos moluscos com base em uma classificação que restringe seu aproveitamento. Se os moluscos não tiverem qualidade ótima, devem passar por tratamentos que reduzam sua carga microbiológica. Os tratamentos previstos na legislação são o térmico, a remoção de vísceras e

¹ Instituído por meio da Instrução Normativa Interministerial do Ministério da Pesca e Aquicultura e do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento N^o 7, de 8 de maio de 2012.

gônadas e a depuração². Para determinar essa classificação, são utilizados resultados de monitoramento de parâmetros microbiológicos em amostras dos bivalves provenientes das zonas de produção ou extração.

Para a proposição de planos de monitoramento microbiológico de áreas de cultivo ou extração, a legislação brasileira não exige que o ambiente adjacente às áreas de cultivo ou extração seja analisado ou considerado. Diferentemente da legislação brasileira, a europeia³ determina que, para classificar uma zona de produção ou de colheita, a autoridade competente deve:

- efetuar um inventário das fontes de poluição de origem humana ou animal que possam constituir fonte de contaminação para a zona de produção;
- examinar a quantidade de poluentes orgânicos lançada nessa zona durante os diferentes períodos do ano, em função das variações sazonais das populações humana e animal na bacia hidrográfica, das precipitações, do tratamento das águas residuais, etc.;
- determinar as características da circulação de poluentes com base no regime de correntes, na batimetria e no ciclo das marés na zona de produção; e
- estabelecer um programa de amostragem de moluscos bivalves vivos na zona de produção com base no exame dos dados obtidos e com o número de amostras, a distribuição geográfica dos

² De uma forma simples, pode-se dizer que a depuração trata da manutenção dos moluscos em tanques com água limpa por um período suficiente para que eles esvaziem seus tratos digestórios, reduzindo a carga de microrganismos potencialmente causadores de doenças.

³ Regulamento CE nº 854/2004.

pontos de colheita de amostras e a frequência de amostragem que assegurem que os resultados da análise sejam tão representativos quanto possível para a zona em questão.

Os três primeiros itens da lista apresentada acima compõem o que é designado coletivamente como “inquérito sanitário”. As informações levantadas nos inquéritos sanitários embasam os planos de monitoramento microbiológico europeus. É importante ressaltar que a Organização Mundial da Saúde, em conjunto com a *Food and Agriculture Organization* (FAO, 2009), recomenda o uso de inquéritos sanitários como parte integrante do controle e monitoramento oficial da produção.

Sem o levantamento de informações, como as que constam nos inquéritos sanitários, é muito difícil fazer a proposição de estratégias eficientes de monitoramento microbiológico de moluscos. Quando nos referimos à eficiência, estamos falando em planos que equilibrem representatividade da real condição sanitária dos moluscos produzidos, com esforço (frequência de coleta e número de pontos monitorados) técnica e financeiramente viável. Por esse motivo, a Epagri realizou o presente estudo, visando desenvolver um protocolo de inquérito sanitário adequado às condições litorâneas de Santa Catarina.

3 O inquérito sanitário realizado na Região da Grande Florianópolis

Santa Catarina é pioneira na realização de um inquérito sanitário visando à proposição de planos de monitoramento microbiológico das áreas de cultivo de moluscos. O trabalho foi realizado entre 2012 e 2013 nos limites das duas baías formadas entre o continente e a Ilha de Santa Catarina. O inquérito sanitário

seguiu recomendações constantes em documento⁴ gerado por grupo de trabalho da União Europeia e obtidos em treinamento⁵ realizado com técnicos europeus.

O levantamento envolveu duas frentes: levantamento de informações em escritório (*desk study*) e levantamento de campo (*shoreline survey*). Com o objetivo de avaliar a metodologia adotada, o levantamento foi acompanhado de monitoramento de qualidade de água e dos moluscos nos limites da área de estudo.

Muitas informações importantes para o inquérito sanitário estavam disponíveis, porém dispersas, em bases de dados de instituições que possuem diferentes áreas de atuação, como companhias de saneamento básico, proteção do meio ambiente e universidades. As informações preexistentes foram levantadas em escritório, pela análise de séries temporais e da revisão de literatura técnico-científica.

Em campo o trabalho foi focado na identificação e caracterização de fontes de poluição. Foram feitos também estudos para avaliação da variação dos níveis de poluentes em diferentes períodos do ano.

Nos próximos capítulos serão apresentadas as linhas gerais de como as informações foram obtidas e analisadas. Para facilitar o entendimento dos métodos utilizados, apresentamos a seguir um diagrama (Figura 1) que resume as ações realizadas. Em verde estão as informações que já estavam disponíveis e foram resgatadas; em azul, as ações realizadas pelo projeto; em

⁴ Cefas, 2010. *Microbiological Monitoring of Bivalve Mollusk Harvesting Areas. Guide to Good Practice: Technical Application.*

⁵ Training workshop on sanitary surveys. Evento realizado entre 12 a 16 de setembro de 2011 nas dependências do Centro de Treinamento da Epagri de Florianópolis. O treinamento foi ministrado por técnicos do Cefas Weimouth Laboratory.

vermelho estão os requisitos estabelecidos na legislação europeia, aos quais o trabalho visou atender.

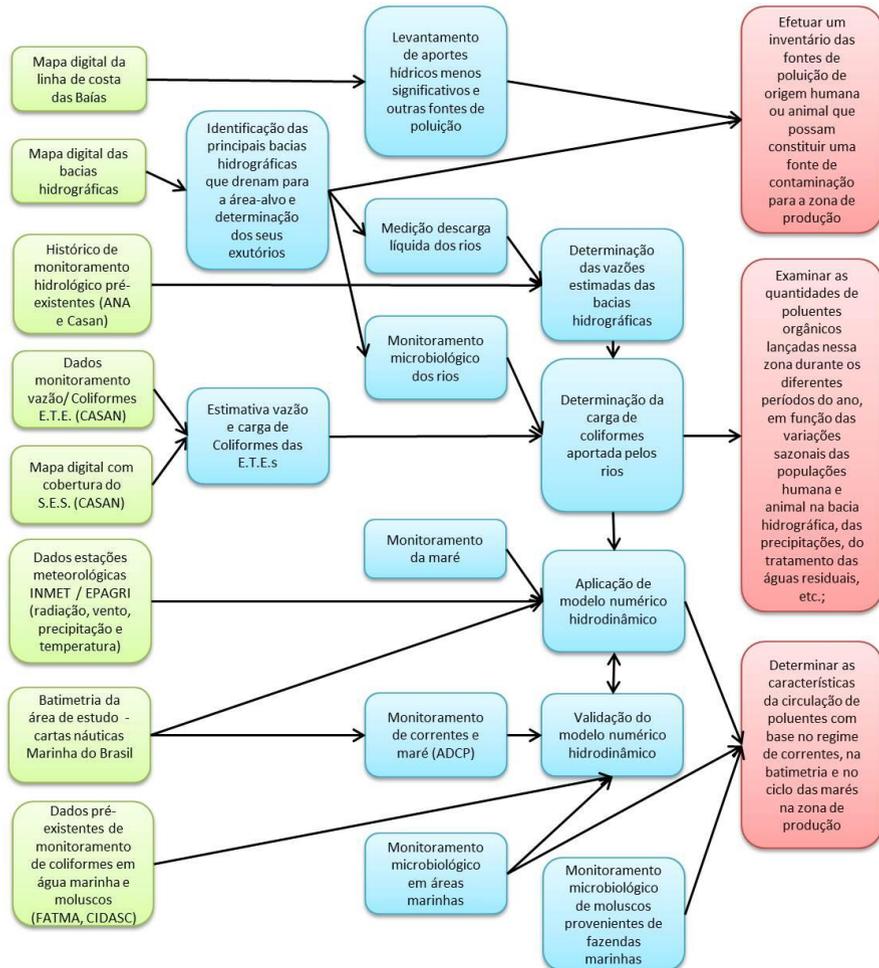


Figura 1. Diagrama das ações realizadas pelo projeto. Em verde, os dados e as informações existentes; em azul, as ações realizadas durante o projeto; e em vermelho, os requisitos da legislação europeia

4 Inventário de fontes de poluição

Segundo o protocolo europeu, é necessário “Efetuar um inventário das fontes de poluição de origem humana ou animal que possam constituir uma fonte de contaminação para a zona de produção”. Para isso, o trabalho foi focado na identificação de fontes potenciais de poluição hídrica, depósitos de lixo na costa, presença de animais confinados, presença de aves nos cultivos e na quantificação das embarcações distribuídas pela costa, em marinas ou fundeadouros.

Os aportes hídricos foram classificados em dois tipos: rios, que são os exutórios das principais bacias hidrográficas, e descargas hídricas menos significativas, como drenagens pluviais e sistemas de esgotamento individual. Diferentes abordagens foram adotadas na análise das informações para cada um dos tipos. No caso dos rios, foi realizado o monitoramento microbiológico do efluente de forma a determinar os aportes de bactérias indicadoras de contaminação fecal. No caso das descargas hídricas menos significativas, foi realizada classificação qualitativa pela presença de indícios de poluição através de análise visual (cor, transparência e presença de óleos) e de análise olfativa.

4.1 Identificação das principais bacias hidrográficas que drenam para a área-alvo e a determinação de seus exutórios

Com base em mapa digital das bacias hidrográficas da região e topografia, foram delimitadas as principais bacias que drenam para as baías, definindo-se, assim, a área total do estudo. A partir dessas informações, foram identificados os exutórios dessas bacias (rios) e foi realizado o reconhecimento *in loco*. Em

campo, os rios foram percorridos a partir de sua foz em direção montante em busca de locais apropriados para o estabelecimento de estações de coleta de água para análises microbiológicas e para a determinação da sua descarga líquida. Esse trabalho foi feito em períodos de preamar, momento em que existe a maior influência da maré.

O primeiro ponto selecionado era o local de coleta de amostras para análise microbiológicas. Para determinar esse ponto, buscou-se ponderar dois fatores: a representatividade em relação às contribuições de esgoto sanitário e a influência da maré. Como significativa parte do aporte de poluição nas bacias hidrográficas se concentra nas regiões próximas à linha da costa (áreas mais populosas), o ideal seria que as estações de coleta de água fossem estabelecidas na parte dos rios mais próximas a sua comunicação com o mar. Porém, nesses locais existe influência das marés, que promovem troca de água e podem mascarar os resultados de concentração de bactérias indicadoras de contaminação fecal nos rios. Assim sendo, procurou-se estabelecer as estações de coleta em pontos onde a salinidade era mais próxima a zero (Figura 2). Isso não foi possível em alguns lugares, especialmente em regiões mais urbanizadas, onde os rios são canalizados. Nesses casos, a estação de coleta de água foi estabelecida em áreas sob influência de maré.



Figura 2. Equipe do projeto analisando a salinidade de rios para a seleção de estações de coleta de água para análises microbiológicas

Para a determinação de locais para medição de descarga líquida, levaram-se em consideração preceitos da hidrologia (Tucci, 2001) e da hidrometria (Back, 2006). O local devia ter declividade e velocidade de escoamento da água que permitissem as medições e, preferencialmente, pouca vegetação em suas margens de forma a permitir o acesso e trabalho da equipe do projeto. De forma semelhante com o que ocorreu no estabelecimento de estações de coleta de água, em regiões mais urbanizadas não foi possível identificar locais apropriados para a medição da descarga líquida. Ambos os pontos de coleta de água para análises microbiológicas e de medição de descarga líquida foram registrados com equipamento de GPS.

4.2 Levantamento de aportes hídricos menos significativos e outras fontes de poluição

O levantamento em campo foi feito com o auxílio de computadores portáteis tipo *tablet* (Figura 3) com GPS e dispositivo fotográfico integrados. Foi também utilizado um programa computacional específico para a realização de levantamentos de campo⁶. A opção pelo uso de ferramentas eletrônicas para a realização dos levantamentos em campo objetivou agilizar a coleta e facilitar a posterior organização e análise dos dados. O método consistiu em percorrer a linha da costa, a pé ou com auxílio de embarcação, para verificar e registrar informações sobre as fontes potenciais de poluição. Em consonância com o padrão europeu (CEFAS, 2010), foram levantadas informações relativas a: presença de aportes hídricos, animais, embarcações motorizadas e acúmulo de resíduos sólidos. Sempre que um desses itens era identificado, era realizado o registro fotográfico, o georreferenciamento e o preenchimento de um formulário com informações adicionais. As principais informações registradas para cada tipo de registro foram:

- Fontes de aporte hídrico – aproximações de fluxo e existência de indícios de poluição (por exemplo: presença de mau odor, material particulado, espuma e óleos);

⁶ Existem diferentes programas de computador disponíveis no mercado para a realização de levantamentos em campo. Neste projeto foi utilizado o software Dooblo – SurveyToGo. Ele permite a programação de um formulário de levantamento de dados (questionário) que é operado por meio de computadores tipo *tablet* ou *smartphone*. Os dados levantados em campo podem ser georreferenciados e associados a fotografias, e são automaticamente organizados e transmitidos para um banco de dados por meio da internet.

- Resíduos sólidos - estimativa do volume total de resíduos e classificação como: resíduos domésticos, sanitários ou industriais;
- Animais – registro do número e tipo de animais (cães, gatos, gado, aves em terra e aves no mar);
- Embarcações – contagem e categorização por tamanho (menores e maiores que 8 metros), por finalidade (recreio ou pesca) e por método de fundeio ou encalhe (praia, marina, fundeadouro).



Figura 3. Equipe do projeto realizando o cadastramento de fontes de poluição utilizando *tablets*

O levantamento e o cadastramento de campo da presença das diversas fontes potenciais de poluição foram realizados em períodos sem precipitação, o que permitiu, no caso dos aportes hídricos, identificar indícios de contaminação da rede de drenagem. Nesses períodos, os aportes de água doce normalmente estavam com baixa descarga líquida. Assim sendo, os indícios da presença de poluentes ficavam evidentes, permitindo identificação visual de

espumas, material em suspensão ou alterações de coloração e de presença de odores⁷.

5 Variação da quantidade de poluentes lançados na baía

Nesta seção estão descritas as atividades realizadas para atender o requerimento da legislação europeia que demanda a avaliação da carga de poluentes lançados na zona de cultivo durante diferentes períodos do ano em função das variações sazonais das populações humana e animal na bacia hidrográfica, assim como a influência das precipitações e do tratamento de efluentes. Para isso, foram levantados dois parâmetros: a descarga líquida dos rios cadastrados e a concentração de microrganismos indicadores de contaminação fecal nesses rios. Com esses dados, foi estimada a carga de contaminantes aportada pelos rios nas baías. Foram feitas análises quinzenais de água procurando por tendências de variações da concentração de coliformes nos rios ao longo dos diferentes períodos do ano. Ademais, durante as coletas nos rios foram realizadas análises de parâmetros como pH, temperatura e salinidade. Os dados analisados, em conjunto com os resultados de análises de coliformes na água salgada, foram usados para determinar a concentração média de contribuição microbiológica em cada um dos rios monitorados.

⁷No Brasil, a rede de esgoto sanitário é prevista como sistema separador absoluto (Tsutiya & Além Sobrinho, 2000). Esse sistema é concebido para receber exclusivamente esgoto doméstico e industrial, e as águas pluviais são esgotadas em sistema independente.

5.1 Descarga líquida dos rios

A descarga líquida do principal rio foi obtida de estações limnimétricas de monitoramento contínuo. Para os rios onde não há monitoramento foram realizadas campanhas de medição de descarga líquida ao longo de um ano, durante períodos de baixa pluviosidade. Essa atividade foi realizada por uma empresa especializada em hidrologia. Existem diversas técnicas de medição de descarga líquida, como o método detalhado, o acústico, por vertedor e o direto. As técnicas utilizadas no projeto foram o método detalhado, que utiliza equipamentos como molinete hidrométrico (Figura 4), e o método acústico, que utiliza o ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*). Nesses métodos, as posições do equipamento no momento das tomadas de velocidade são relacionadas com a profundidade, e a vazão é calculada relacionando as velocidades medidas com a seção representativa do rio.



Figura 4. Medição da descarga líquida de rios utilizando diferentes modelos de molinete hidrométrico

5.2 Monitoramento microbiológico dos rios

O monitoramento microbiológico teve por objetivo determinar a concentração de microrganismos indicadores de contaminação fecal na descarga líquida dos rios e sua variação ao longo do ano. Foram feitas coletas quinzenais de água nos rios cadastrados no inventário de fontes de poluição pelo período de um ano. A amostragem foi feita de forma direta, com uma garrafa esterilizada e capacidade para um litro na parte mais central ou mais caudalosa do corpo de água (Figura 5). Tão logo foram coletadas e embaladas, as amostras de água foram

aconditionadas em caixas térmicas contendo gelo em quantidade suficiente para manter a temperatura interna do recipiente em valores inferiores a 10°C. Todas as amostras foram devidamente identificadas por meio de etiquetas e enviadas para análise em laboratório.



Figura 5. Coleta de amostra de água de rio para análise microbiológica

A quantificação da contaminação de origem fecal foi feita pela contagem de coliformes termotolerantes nas amostras por meio do método ISO 9308-2:1990. O método baseia-se no crescimento de organismos-alvo em meio líquido específico e o cálculo do número mais provável (NMP) de coliformes em 100ml de água. Esse método pode ser aplicado a todos os tipos de água, incluindo aquelas com quantidades significativas de matéria em suspensão e altas contagens de bactérias heterotróficas. É importante ressaltar que esses microrganismos (coliformes termotolerantes) são microrganismos indicadores da presença de contaminação, e o uso deles pode sobrestimar o verdadeiro risco à saúde pública.

5.3 Estimativa da vazão das bacias hidrográficas

Considerando que não foi possível fazer medições de descarga líquida em todos os rios devido às características das bacias e por não haver monitoramento contínuo dos rios de menor porte, foi necessário fazer aproximações matemáticas, baseando-se nos preceitos da hidrologia (Tucci, 2001). Por meio dessas aproximações, foram gerados os dados de vazão estimada.

O cálculo da vazão estimada de cada uma das bacias de contribuição foi realizado por dois métodos. Para as bacias hidrográficas com área superficial próxima à bacia monitorada foi realizada a regionalização da vazão⁸, sendo possível nesses casos gerar séries temporais de descarga líquida. A regionalização foi feita com base no histórico de monitoramento hidrológico do principal rio da região, monitorado pela Agência Nacional de Águas (ANA) e pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (Casan).

Para as demais bacias hidrográficas, assumiu-se que elas não atendiam aos requisitos de homogeneidade hidrológica devido, principalmente, à reduzida área de drenagem das bacias e às grandes diferenças no uso e na ocupação do solo. Assim, as vazões foram estimadas fazendo extrapolações simples dos resultados de descarga líquida de bacias hidrográficas com as vazões obtidas no projeto. Para isso, assumiu-se que bacias

⁸ A regionalização da vazão tem como premissa que a região hidrológica pode ser considerada homogênea quando suas características fisiográficas e hidrometeorológicas são similares. No estudo foram verificados os seguintes parâmetros hidrológicos: vazão, características edafoclimáticas e uso e ocupação do solo. Ademais, a região de estudo foi considerada hidrológicamente homogênea por estudo contratado pelo Governo do estado de Santa Catarina (Santa Catarina, 2006).

hidrográficas com características semelhantes apresentavam descargas líquidas similares. No caso dessas bacias menores, não foram geradas séries temporais; apenas valores constantes da estimativa de vazão.

5.4 Determinação da carga de coliformes aportada pelos rios

Com base nos resultados do monitoramento dos níveis de coliformes termotolerantes nos rios e nas vazões estimadas para as bacias hidrográficas, foi feita estimativa das cargas de coliformes termotolerantes lançadas nas baías. Multiplicando-se um valor representativo da série de dados microbiológicos pela vazão estimada, chegou-se a valores de quantidade estimada de coliformes aportados por medida de tempo. Esse valor foi integrado ao modelo hidrodinâmico desenvolvido pelo projeto para simular a dispersão de poluição.

5.5 Estimativa de vazão e carga de coliformes das ETEs

Os mapas com o Sistema de Esgoto Sanitário (SES) das cidades da região foram usados para identificar os locais das principais Estações Elevatórias de Esgoto (EEE), das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) e dos lançamentos dos efluentes tratados provenientes das ETEs (PMF, 2009). Ademais, foram obtidas informações sobre a capacidade de projeto das ETEs e das EEEs e o histórico de vazão da ETE quando disponível.

Para verificar a influência da contribuição de esgoto sanitário ao longo do ano, foram usados como referência dados de vazão da ETE. A partir dos dados de vazão foi possível avaliar a

relação entre a vazão do mês de maior população (verão) com o mês de menor população (inverno). Posteriormente, foi verificada relação entre a vazão e a precipitação.

Os valores das cargas de coliformes termotolerantes aportadas por essa estação foram obtidos a partir de relatórios e artigos técnico-científicos. Com esses dados foi possível fazer estimativa da contribuição do esgoto para os lançamentos feitos diretamente nas baías. É importante destacar que, sempre que disponíveis, devem ser usadas séries temporais de dados de monitoramento das ETEs.

6 Características da circulação de poluentes

Nesta seção descrevemos as atividades realizadas para atender ao seguinte requerimento da legislação europeia: *Determinar as características da circulação de poluentes com base no regime de correntes, na batimetria e no ciclo das marés na zona de produção.* Para determinar as características de circulação de poluentes na área de estudo, foi utilizada uma ferramenta de modelagem matemática de base física: o modelo hidrodinâmico. O modelo foi implementado com base em dados batimétricos, séries temporais de maré e dados meteorológicos. Para simular a dispersão de poluentes, o modelo foi alimentado com as informações de carga de coliformes aportada pelos rios e pela ETE (gerados conforme descrição do capítulo anterior). Após sua implementação, foi feita a validação do modelo por meio da comparação dos dados simulados com os dados medidos em campo.

6.1 Monitoramento da maré

Para o monitoramento da maré, foram utilizados equipamentos conhecidos como marégrafos (Figura 6). Eles foram instalados e programados para gerar os dados maregráficos usados para forçar o modelo hidrodinâmico nas fronteiras abertas. Neste estudo, os equipamentos foram instalados próximo aos extremos norte e sul da baía, em locais que atendessem às demandas do projeto e que estivessem seguros contra vandalismo (Garbossa et al., 2012). Os dados de maré foram monitorados durante dois anos, com intervalos de 15 minutos entre as medições. Isso possibilitou fazer análise dos dados (Pawlowicz et al., 2002) e obter as componentes harmônicas⁹ dos locais monitorados. Com isso, foi possível determinar a influência meteorológica na variação dos níveis de marés dentro das baías. Ademais, com o histórico de dois anos de monitoramento foi possível simular diversas condições de maré que podem ocorrer na região.

⁹ Valores de amplitude e frequência da maré usados para gerar séries temporais de maré astronômica.



Figura 6. Dois modelos de marégrafos utilizados no projeto: à esquerda, um marégrafo com sensor tipo radar; à direita, um marégrafo que utiliza sensor com boia e contrapeso

6.2 Monitoramento de correntes e maré

Para realizar a validação do modelo hidrodinâmico, os dados de velocidade e direção de correntes, juntamente com dados de maré, foram monitorados com o uso de ADCP. O equipamento foi fundeado em diferentes localidades ao longo do período do estudo (Figura 7). As três premissas para instalação do ADCP foram: a) os locais deveriam ser representativos da circulação na região (normalmente locais mais profundos); b) o equipamento deveria estar seguro contra vandalismo e redes de pescadores (afastado de rotas típicas de pescadores); e c) o tempo de fundeio deveria ser suficiente para gerar série temporal de um ciclo lunar para cada fundeio (aproximadamente 30 dias).

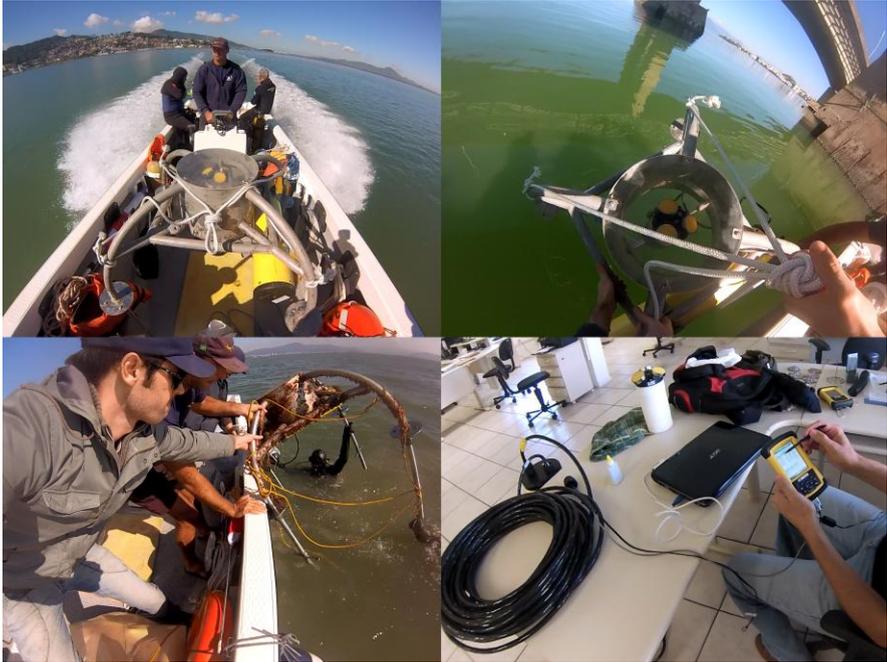


Figura 7. Instalação, retirada e coleta dos dados do equipamento ADCP

Durante os períodos de monitoramento, o ADCP foi programado para registrar as correntes e marés em intervalos de 15 minutos, mesma frequência de medição de dados dos marégrafos. O equipamento foi fundeado usando suporte desenvolvido para fixação no leito marinho. Devido à altura da estrutura e à faixa “cega” do ADCP, os dados do primeiro metro a partir do fundo não foram registados. Os resultados dos perfis de correntes medidos foram integrados na vertical a fim de comparar seus resultados com as simulações do modelo hidrodinâmico em duas dimensões no plano horizontal (2DH).

6.3 Aplicação de modelo numérico hidrodinâmico

A aplicação da modelagem numérica de base física trabalha por meio da integração de uma série de dados de forma a gerar simulações que apresentam, por exemplo, os efeitos de advecção, a diluição e a taxa de decaimento microbiana no ambiente de forma distribuída no espaço e no tempo (Gourmelon et al., 2010).

No estudo realizado, o modelo foi alimentado com dados de diversas fontes. Entre os principais podem ser citados: batimetria, maré observada, dados meteorológicos (vento, radiação, temperatura e precipitação), vazão e contaminação dos principais rios e contribuições das ETEs.

O modelo hidrodinâmico utilizado foi o MOHID, desenvolvido pelo Maretec (*Marine and Environmental Technology Research Center*) situado no Instituto Superior Técnico, vinculado à Universidade Técnica de Lisboa. O MOHID é um sistema integrado de modelos numéricos de base física que permite modelar os principais processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no meio aquático (Figura 8). Alguns dos processos modelados foram: a circulação da água, o lançamento de efluentes líquidos e o lançamento de água no exutório de bacias hidrográficas, a dispersão de contaminantes biológicos na água e seu decaimento em função de salinidade, temperatura e radiação solar.

A modelagem hidrodinâmica foi realizada para o período de um ano, o qual coincidiu com o período de levantamento de dados para o estudo. Os resultados provenientes do modelo foram validados comparando os valores de grandezas físicas calculadas com os valores medidos em campo.

Com os resultados da modelagem validados, foi possível avaliar a área de estudo em diferentes condições ambientais, as

quais são denominadas de cenários. Os cenários modelados consideram a avaliação das áreas de maior estagnação de água; a distribuição de contaminantes com exposição à radiação solar no inverno (julho) e no verão (janeiro); a situação de extremos de vazão dos maiores rios devido à precipitação intensa; e os efeitos do comportamento de marés atípicos na região.

A partir desses cenários, foi estabelecido o plano de monitoramento com abrangência espacial e temporal superior àquela representada apenas por pontos de monitoramento. O modelo prevê o valor de microrganismos indicadores em qualquer local da baía para qualquer dia do ano e não somente nos locais onde foram coletadas amostras de água. Assim, foi possível propor a localização e a frequência de amostragem da água em função dos possíveis cenários.

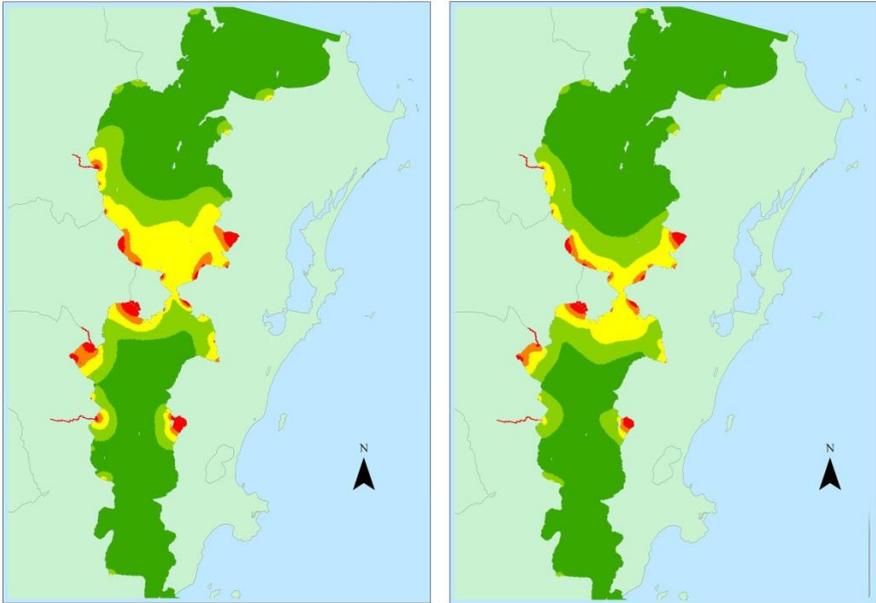


Figura 8. Exemplos de saídas do modelo, com os valores instantâneos de dispersão de indicadores de contaminação fecal ¹⁰

6.4 Monitoramento microbiológico em áreas marinhas

Com o objetivo de avaliar a dispersão da poluição de origem fecal na área de estudo, foi realizado o monitoramento

¹⁰ O mapa é da baía da Ilha de Santa Catarina, no qual aparece a baía com as cores da contaminação, e em verde-claro parte dos municípios de Florianópolis, São José, Palhoça e Biguaçu. Os dois mapas mostram a evolução da poluição no intervalo de algumas horas, revelando que a contaminação é constante e varia rapidamente ao longo do tempo, influenciada principalmente pelas marés e pela radiação solar. A cor verde corresponde a áreas com concentração de coliformes termotolerantes próxima a zero, e a cor vermelha a concentrações altas. As outras cores (verde-claro, amarelo e laranja) representam valores intermediários.

microbiológico na água marinha. Esses resultados serviram também para validar os dados do modelo matemático de dispersão de coliformes termotolerantes. Foram estabelecidos pontos de coleta ao longo da orla, em áreas coincidentes ou não com cultivos de moluscos, e foram estabelecidos, também, pontos na região central das baías. O monitoramento envolveu também registro mensal de parâmetros físico-químicos como salinidade, temperatura, oxigênio dissolvido, pH e turbidez através de sondas multiparâmetros. Esses dados foram coletados para comparação com o modelo e foram usados para refinar a parametrização do módulo de decaimento microbiano do modelo hidrodinâmico.

Para amostrar a água, foi utilizada uma haste que permitia a submersão da garrafa coletora esterilizada a uma profundidade de 1,5m abaixo da superfície (Figura 9). Assim que o frasco era preenchido, as amostras foram lacradas, identificadas e acondicionadas em caixas térmicas contendo gelo em quantidade suficiente para manter a temperatura interna do recipiente em valor inferior a 10°C. As amostras foram transportadas até o laboratório, onde foram realizadas as análises microbiológicas. No laboratório foi feita a contagem de coliformes termotolerantes nas amostras por meio do método ISO 9308-2:1990.



Figura 9. Coleta de água marinha para análises microbiológicas

6.5 Monitoramento microbiológico de moluscos provenientes de fazendas marinhas

A Epagri, como instituição estadual de pesquisa e extensão, realizou, durante o projeto, o monitoramento de bactérias indicadoras de poluição fecal nos moluscos provenientes de áreas de cultivo instaladas na área de estudo. Essa ação objetivou fazer uma prospecção da classificação das zonas de produção com base em critérios e padrões internacionais. Deve-se destacar, entretanto, que a Epagri não dispõe de competência jurídica para classificar áreas destinadas ao cultivo de moluscos¹¹ e que o monitoramento foi feito exclusivamente para fins de pesquisa. Os dados resultantes dessa etapa serviram, ainda, para investigar a relação entre a concentração de coliformes encontrada na carne dos

¹¹ No Brasil, a competência para realizar o monitoramento, o controle e a fiscalização de microrganismos contaminantes em moluscos provenientes da pesca e da aquicultura é do Ministério da Pesca e Aquicultura. Em Santa Catarina, esse ministério estabeleceu convênio com a Companhia Integrada de Desenvolvimento Agrícola de Santa Catarina (Cidasc) para a execução dessas ações.

moluscos e na água marinha, tanto para os valores medidos quanto para valores simulados pelo modelo. Esses resultados servirão para embasar discussões e pesquisas no que se refere à TMDL (*Total Maximum Daily Load*). Ou seja, serão usados para avaliar a carga máxima diária que pode ser lançada nos principais aportes de água de forma a garantir a qualidade microbiológica da carne dos moluscos.

Coletas de moluscos para análises microbiológicas foram realizadas quinzenalmente em locais onde existiam cultivos de moluscos. A coleta foi realizada de maneira manual, similar às técnicas utilizadas pelos maricultores. As amostras para análise microbiológicas continham 20 organismos em tamanho comercial. Os moluscos foram limpos imediatamente após a coleta. Uma vez retirados da água, eles não foram mais imersos em qualquer líquido, nem mesmo para sua limpeza (Figura 10). A retirada de detritos externos foi feita por jato de água pressurizada em caixa plástica vazada, evitando o acúmulo de água e a contaminação dos moluscos durante o procedimento. Após a limpeza, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos intactos e identificadas. Em seguida, elas foram acondicionadas em caixas térmicas contendo gelo em quantidade suficiente para manter a temperatura interna do recipiente abaixo de 10°C.



Figura 10. Coleta de mexilhões para análise microbiológica

A espécie de molusco coletada foi o mexilhão *Perna perna*. Nos pontos onde não existia o cultivo de mexilhões, foi feita a coleta de ostras *Crassostrea gigas*. Em cinco locais foram coletadas amostras de mexilhões e de ostras de forma simultânea. Essa ação teve por objetivo comparar os resultados microbiológicos das duas espécies.

Em laboratório foi realizada a determinação de número mais provável de *Escherichia coli* utilizando meio de cultura líquido (ISO 16649-3: 2005) (Figura 11). Esse método é adequado para a contagem de células de *E. coli* que tenham sido sujeitas a estresse resultante de exposição a solução salina (como no ambiente marinho).



Figura 11. Análise microbiológica das amostras de moluscos

6.6 Validação do modelo numérico hidrodinâmico

Modelos matemáticos visam representar uma aproximação dos fenômenos que ocorrem na natureza. Por melhor que seja o modelo, ele nunca representará fielmente a realidade. Por isso, é necessário validar o modelo, comparando seus resultados com valores medidos. Através de índices estatísticos é possível saber quanto o modelo se aproxima da realidade e se pode servir como ferramenta para apoio, seja para pesquisa, seja para tomada de decisões, como no caso do presente estudo. Para fins de validação do modelo desenvolvido durante o projeto, os dados simulados para direção e velocidade de correntes, níveis de maré e concentração de coliformes na água salgada foram comparados com os dados registrados durante os trabalhos de campo.

Para validação da direção das correntes, a comparação foi realizada visualmente pela análise gráfica, e o tempo de permanência em cada direção foi quantificado. Para comparar a intensidade da velocidade, os resultados do modelo e as medições do ADCP, as velocidades foram decompostas em dimensões U

(leste-oeste) e V (Norte-Sul). Os seguintes parâmetros estatísticos foram gerados: coeficiente de determinação (R^2), média relativa do erro absoluto (RMAE) e índice de concordância (IA) (Navas et al., 2011).

Para validação da maré simulada pelo modelo, os resultados foram comparados com os dados de maré medidos durante a instalação do ADCP. Para isso, foram calculados os mesmos índices usados para velocidade.

Para validação dos dados de dispersão de coliformes termotolerantes, os resultados simulados pelo modelo foram comparados com os dados medidos em campo. Para isso, foram realizadas análises de correlação e regressão entre as concentrações simuladas e as medidas.

7 Compilação e organização das informações levantadas no inquérito sanitário

Para que os inquéritos sanitários sejam ferramentas úteis na tomada de decisão em relação a monitoramentos microbiológicos de zonas de extração e cultivo de moluscos, é necessário não só que as informações sejam levantadas, mas que elas sejam compiladas e organizadas de maneira que proporcionem entendimento aprofundado das condições sanitárias da região. Por esse motivo, no inquérito realizado pela Epagri optou-se pelo uso de Sistema de Informações Geográficas (SIG) integrado à base de dados, com disponibilização de informações em interface *on-line*. Esse sistema possui informações com acesso restrito aos funcionários da Epagri e de acesso público, que podem ser acessadas pelo site da Epagri (www.epagri.sc.gov.br).

O sistema tem como pano de fundo imagens de satélite e a determinação dos limites da área do estudo (Figura 12). Além disso, disponibiliza a localização dos cultivos marinhos atualmente implantados na região.

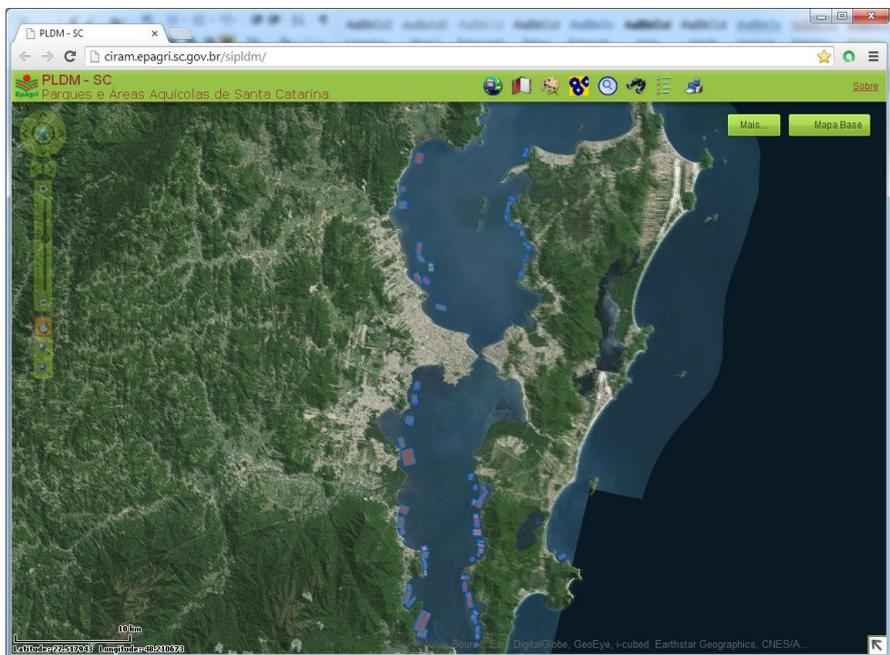


Figura 12. Interface *on-line* do Sistema de Informações Geográficas contendo as informações geradas nos inquéritos sanitários de orla

As fontes de aporte hídrico inventariadas foram apresentadas no SIG de forma separada para rios e fontes de poluição menos significativas. Para os rios, foram gerados ícones de diferentes dimensões de acordo com o tamanho da contribuição aportada. As fontes de poluição menos significativas foram apresentadas com ícones de diferentes formatos, categorizando-as pela dimensão da tubulação e pela presença de indícios de

contaminação. Ao selecionar qualquer uma das fontes de poluição cadastradas, uma janela é apresentada contendo fotografia do local e informações mais detalhadas.

Além das fontes cadastradas, foram disponibilizadas informações do uso da terra e da cobertura da área de estudo com rede de coleta e tratamento de esgoto. Essas informações foram disponibilizadas por meio de camadas específicas contendo legenda.

Os resultados da modelagem hidrodinâmica foram apresentados no sistema por meio de mapas indicando como ocorre a dispersão de poluentes em diferentes cenários. Além disso, foram apresentados os dados de concentração de coliformes em água marinha e em moluscos em diversos pontos dentro das baías. Para isso, foram utilizadas camadas contendo símbolos de diferentes tamanhos, de acordo com o valor, embasados em escalas.

8 Considerações finais

No trabalho realizado na região da Grande Florianópolis, métodos complexos foram adotados, envolvendo coletas intensivas e análises de ampla gama de dados ambientais, uso de ferramentas modernas, como modelagem matemática da dispersão de poluentes, e sistema de informação geográfica.

Este Boletim Técnico apresentou as principais etapas envolvidas no processo de desenvolvimento do Inquérito Sanitário das baías da Grande Florianópolis, o que gerará informações e ferramentas para apoio às decisões. Entre essas informações estão, por exemplo, os planos de monitoramento microbiológico e a classificação das áreas de cultivo.

Os resultados obtidos pelo projeto serão apresentados na forma de estudo de caso para a região da Grande Florianópolis e publicados futuramente. Ademais, será elaborado estudo econômico sobre os custos associados ao inquérito e a sua viabilidade para servir de referência para outros locais.

Estudos como este são fundamentais para atingir outros mercados consumidores e até mesmo viabilizar a exportação dos produtos provenientes da malacocultura. Mas, antes disso, são protocolos que permitem garantir maior segurança alimentar e saúde ao consumidor.

9 Referências

BACK, A.J. **Hidráulica e hidrometria aplicada**. Florianópolis: Epagri, 2006. 299p.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos - 2011**. Brasília, 2013. 432p.

CEFAS. **Microbiological Monitoring of Bivalve Mollusc Harvesting Areas - Guide to Good Practice: Technical Application**. Issue 4. 2010. Disponível em: <http://www.cefas.defra.gov.uk/nrl/information-centre/eu-good-practice-guide.aspx>. Acesso em: jun. 2014.

FAO. **Codex alimentarius: code of practice for fish and fishery products**. Rome: FAO; WHO, 2009. 146p.

FLORIANÓPOLIS (SC). Prefeitura Municipal. **Plano integrado de saneamento básico da prefeitura de Florianópolis**. 2009. Disponível em: <<http://www.pmf.sc.gov.br/entidades/habitacao/?cms=plano+integrado+de+saneamento+basico>>. Acesso em: abr. 2013.

GARBOSSA, L.H.P.; VANZ, A.; SOUZA, R.V. et al. Desenvolvimento de modelo de utilidade de marégrafo compacto de boia e contrapeso com referência de nível. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 5., 2012, Rio de Janeiro, RJ. **Anais....**Rio de Janeiro: CBO,2012. p.526-535.

GOURMELON, M.; LAZURE, P.; HERVIO-HEATH, D. et al. Microbial modelling in coastal environments and early warning systems: useful tools to limit shellfish microbial contamination. In: REES, G.; POND, K.; KAY, D. et al. (Eds.). **Safe Management of Shellfish and Harvest Waters**. Londres: IWA, 2010. p.297-318.

LEE, R.; LOVATELLI, A.; ABABOUC, L., **Bivalve depuration: fundamental and practical aspects**. Rome: FAO, 2008. 139p.

NAVAS, J.M.; TELFER, T.C.; ROSS, L.G. Application of 3D hydrodynamic and particle tracking models for better environmental management of finfish culture. **Continental Shelf Research**, v.31, n.6, p.675-684, 2011.

PAWLOWICZ, R.; BEARDSLEY, B.; LENTZ, S. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE. **Computers and Geosciences**, v.28, n.8, p.929-937, 2002.

SANTA CATARINA. Secretaria do Estado de Santa Catarina. **Estudos dos instrumentos de recursos hídricos para o Estado de Santa Catarina e apoio a sua implementação**: Regionalização de vazões das bacias hidrográficas estaduais do Estado de Santa Catarina - Volume 1. Florianópolis, 2006. p.141.

TSUTIYA, M.T.; ALÉM SOBRINHO, P. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. 2.ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica de São Paulo, 2000. 547p.

TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4.ed. Porto Alegre: UFRGS; ABRH, 2001. 943p.

