

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE ENGENHARIAS DA MOBILIDADE  
CURSO DE ENGENHARIA NAVAL**

**JOÃO ALEXANDRE GARCIA**

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DO AMBIENTE MARINHO PARA  
VALIDAÇÃO DE RESERVATÓRIO DE TESTES LABORATORIAIS  
RELACIONADOS AOS EFEITOS DE BIOINCRUSTAÇÃO**

Orientadora: Dra. Viviane Lilian Soethe

Co-orientador: Moisés Luiz Parucker

Joinville, 2015

JOÃO ALEXANDRE GARCIA

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DO AMBIENTE MARINHO PARA  
VALIDAÇÃO DE RESERVATÓRIO DE TESTES LABORATORIAIS  
RELACIONADOS AOS EFEITOS DE BIOINCRUSTAÇÃO**

Trabalho apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Naval da Universidade de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Naval.

Orientadora: Dra. Viviane Lilian Soethe

Co-orientador: Moisés Luiz Parucker

Joinville, 2015

João Alexandre Garcia

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DO AMBIENTE MARINHO PARA  
VALIDAÇÃO DE RESERVATÓRIO DE TESTES LABORATORIAIS  
RELACIONADOS AOS EFEITOS DE BIOINCRUSTAÇÃO**

Este trabalho de conclusão de curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Naval, e aprovado em sua forma final pelo Programa de Graduação em Engenharia Naval da Universidade Federal de Santa Catarina

Joinville, 09 de julho de 2015

---

Prof. Thiago Pontin Tancredi, Dr. Eng.

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

Prof. Viviane Lilian Soethe, Dr. Eng.

Orientadora

Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Moisés Luiz Parucker, Dr. Eng.

Co-orientador

Universidade Federal de Itajuba

---

Prof. Gabriel Benedet Dutra, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Rafael Gallina Delatorre, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho aos meus pais, Sheldon e  
Andréa Garcia que durante esta jornada acadêmica  
me deram todo o suporte e carinho necessários.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu pai, Sheldon Luis Garcia, e à minha mãe Andréa Rotermel Garcia pelo amor incondicional, por tudo que fizeram e deixaram de fazer visando meu crescimento pessoal e felicidade, e também por serem estas pessoas que eu tanto admiro e me espelho.

À minha orientadora Viviane Lilian Soethe, e ao meu co-orientador Moisés Luiz Parucker por acreditarem em mim, me estimulando e guiando durante a realização deste trabalho, sempre com bom humor, paciência e dedicação. Fico feliz de ter trabalhado com vocês.

Ao meu irmão, Pedro Paulo Garcia pelo companheirismo e amizade construídos nos anos de convivência, que mesmo com o distanciamento em função de faculdades distintas, sei que ainda posso contar com você.

A todos os membros da família Rapeize, que durante estes anos de convívio me proporcionaram muitas risadas e alegrias, dando me forças e conselhos em momentos difíceis. Em especial aos amigos, Fábio Smiderle e Rodrigo Silveira de Magalhães Martins, pelo constante apoio e incentivo, compartilhando alegrias, noites em claro, e muitas aulas, Juan Carlos Matos e Eduardo Silveira Arruda Filho por serem pessoas sempre alegres que me fazem ver a vida com outros olhos, e por fim, Hector Andrew Lisbôa Jacques e Daniel Chraim dos Anjos, por serem pessoas que admiro e pelos conselhos, os quais valorizo muito.

Aos meus familiares mais próximos, avós e tios, que a todo momento me incentivaram a seguir neste caminho e pelo carinho que me foi dado desde os primeiros anos de vida até hoje.

Aos professores e servidores do CEM que de alguma forma contribuíram para meu crescimento intelectual e pessoal durante estes anos de faculdade.

## RESUMO

Bioincrustação é o fenômeno de acúmulo de matéria orgânica nas superfícies submersas, podendo ser elas naturais ou artificiais. Nas artificiais, como plataformas de petróleo, casco de embarcações e dutos de óleo e gás, este crescimento de microrganismos na superfície é indesejado, uma vez que gera impactos negativos. Danos em equipamentos, corrosão biológica, aumento do arrasto em embarcações e danos ambientais são alguns dos problemas relacionados à bioincrustação. Com o intuito de minimizar o desenvolvimento deste fenômeno em embarcações, atualmente são utilizadas tintas anti-incrustantes, entretanto, ainda assim é necessário a docagem periódica para a realização de limpeza no casco e repintura. Um estudo mais aprofundado da bioincrustação é necessário para o desenvolvimento de revestimentos mais eficientes e ambientalmente aceitáveis. Neste sentido, no presente trabalho, foi realizada a avaliação das águas de duas importantes regiões catarinenses, sendo elas o Porto de Itajaí e a Praia do Sambaqui (Florianópolis), a fim de possibilitar a simulação das mesmas em um reservatório de testes a ser futuramente construído para estudos de bioincrustação e biocorrosão. Após uma extensa pesquisa bibliográfica verificou-se que os principais fatores que interferem no processo de bioincrustação e que devem ser controlados são: temperatura da água, luminosidade, salinidade, pH, oxigenação, velocidade do fluido, tipo de superfície, nível de ruídos e concentração de nutrientes. As faixas de variação destes parâmetros, em função dos meses e/ou estações do ano, foram monitoradas em cada um dos ambientes estudados, sendo desta forma possível reproduzir tais ambientes em laboratório. Além disso, de forma a possibilitar que o reservatório possa ser construído posteriormente e consiga monitorar de forma adequada cada um destes parâmetros estudados, os principais equipamentos e acessórios necessários para reproduzir e monitorar tais condições no reservatório conceitual foram pesquisados e encontram-se listados no presente trabalho. Além disso, de forma a avaliar a importância do estudo em laboratório dos processos de bioincrustação, fez-se uma pesquisa, sob a forma de um questionário, com profissionais que atuam em segmentos relacionados com o setor estudado. Assim por meio desta pesquisa, pretende-se possibilitar um avanço no entendimento dos processos de bioincrustação naval, uma vez que o estudo em laboratório permitiria um maior controle dos parâmetros e menor quantidade de avarias.

**Palavras-chaves:** Bioincrustação, Reservatório, Porto de Itajaí, Praia do Sambaqui.

## ABSTRACT

Biofouling is the phenomenon of accumulation of organic matter in submerged surfaces, which can be natural or artificial. In artificial ones, such as oil platforms, vessel's hull and oil and gas pipelines, the growth of microorganisms on the surface is undesirable, since it generates negative impacts. Damage to equipment, biological corrosion, increasing drag on ships and environmental damage are some of the biofouling-related problems. In order to minimize the development of this phenomenon in vessels, anti-fouling paints are currently used, however, periodic docking for cleaning and repainting of the hull is still necessary. Therefore, further study on biofouling is necessary for the development of more efficient and environmentally acceptable coatings. In this study, an evaluation of two important regions of the State of Santa Catarina's waters was carried out, these being the Port of Itajaí and the Sambaqui Beach in Florianópolis, to enable the simulation of the same conditions in a test reservoir to be built in the future, for studies of biofouling and bio-corrosion. After extensive literature search, it has been found that the main factors that affect the biofouling process and should be controlled are: water temperature, light, salinity, pH, oxygen, fluid velocity, type of surface, noise level and concentration of nutrients. The variation ranges of these parameters, due to the months and / or seasons of the year, were monitored in each of the environments studied, making it possible to reproduce such environments in a laboratory. Furthermore, in order to enable the reservoir to be built later, and properly monitor each of these study parameters, the main equipment and supplies needed to reproduce and monitor these conditions in the conceptual reservoir were investigated, and are listed in this work. Furthermore, in order to assess the importance of laboratory study of the biofouling process, a research questionnaire has been carried out with professionals who work in the related studied sector. Therefore, this research is intended to allow a greater understanding of marine biofouling processes, since laboratory studies allow greater control of the parameters and fewer breakdowns.

**Keywords:** Biofouling, Reservoir, Port of Itajaí, Sambaqui Beach.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Casco de um navio evidenciando o fenômeno de macro (setas vermelhas) e microincrustação (setas verdes) .....	18
Figura 2 – Esquema sequencial do desenvolvimento do biofilme.....	19
Figura 3 – Ordem cronológica do desenvolvimento do biofilme.....	20
Figura 4 – Distribuição de biomassa (g/m <sup>2</sup> ) no fundo dos mares e oceanos. (1) Menos de 1g/m <sup>2</sup> ; (2) 1 a 100 g/m <sup>2</sup> ; (3) Mais de 100 g/m <sup>2</sup> .....	22
Figura 5 – Distribuição de temperatura no planeta por regiões.....	22
Figura 6 – Craca <i>Balanus amphitrite</i> .....	23
Figura 7 – Gráfico do crescimento da espessura do biofilme ao longo de dias para duas temperaturas distintas (30 <sup>o</sup> e 35 <sup>o</sup> C) .....	26
Figura 8 – Relação entre o pico de crescimento da camada bioincrustante e a velocidade do fluido em m/s. (1) Mar Negro por 25 dias; (2) Golfo da Guiné, Oceano Atlântico por 25 dias; (3) Região aberta do Oceano Atlântico por 46 dias .....	27
Figura 9 – Relação entre o crescimento do biofilme com a variação no seu pH em função do tempo .....	31
Figura 10 – Perfil de salinidade na superfície dos mares e oceanos da Terra .....	33
Figura 11 – Oxigênio dissolvido em função da salinidade e a temperatura .....	34
Figura 12 – Casco de embarcação 100% incrustado por algas verdes .....	35
Figura 13 – Mexilhões dourados incrustados em tubulação.....	37
Figura 14 – Filtros de sistemas de dessalinização por osmose reversa. Um apresentando incrustação (direita) e o outro um filtro novo (esquerda) .....	38
Figura 15 – Localização do Porto de Itajaí .....	42
Figura 16 – Localização da Praia de Sambaqui (seta) na Baía Norte, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil (27°29'18,65''S e 48°32'17,96''W) .....	43
Figura 17 – Rede de cultivo de moluscos apresentando bioincrustação .....	44
Figura 18 – Pontos monitorados pelo Porto de Itajaí .....	49
Figura 19 – Valores mensais das temperaturas registradas nos quatro pontos de coleta no ano de 2014 .....	50
Figura 20 – Comparação dos valores de temperaturas mensais entre os pontos de coleta .....	50
Figura 21 – Valores mensais das salinidades registradas nos quatro pontos de coleta no ano de 2014 .....	51
Figura 22 – Comparação dos valores de salinidade mensais entre os pontos de coleta .....	52

Figura 23 – Valores mensais de OD registrados nos quatro pontos de coleta no ano de 2014	53
Figura 24 – Comparação dos valores de OD mensais entre os pontos de coleta	53
Figura 25 – Valores mensais de pH registrados nos quatro pontos de coleta no ano de 2014	54
Figura 26 – Comparação dos valores de pH mensais entre os pontos de coleta	55
Figura 27 – Valores mensais de turbidez registrados nos quatro pontos de coleta no ano de 2014	56
Figura 28 – Comparação dos valores de turbidez mensais entre os pontos de coleta	56
Figura 29 – Comportamento dos nutrientes presentes nos pontos de monitoramento em função do tempo	58
Figura 30 – Valores mensais de ruído registrados nos quatro pontos de coleta no ano de 2013	59
Figura 31 – Comparação dos valores de ruído mensais entre os pontos de coleta	60
Figura 32 – Valores mensais de temperatura registrados na praia do Sambaqui no ano de 2014	60
Figura 33 – Valores mensais de salinidade registrados na praia do Sambaqui entre os anos de 2014-2015	61
Figura 34 – Pontos de monitoramento na praia do Sambaqui	62
Figura 35 – Valores de oxigênio dissolvido nos três pontos de monitoramento da praia do Sambaqui em função da estação do ano	63
Figura 36 – Valores de nutrientes (NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> e PO <sub>4</sub> ) monitorados nos três pontos da praia do Sambaqui em função da estação do ano	64
Figura 37 – Foto ilustrativa do Hopar Termostato Inox SA-323 500 W	68
Figura 38 – Foto ilustrativa do Chiller Hailea Modelo HC 300A	68
Figura 39 – Ilustração do termômetro digital SOMA	69
Figura 40 – Ilustração do Malawi Victoria Buffer 300g Seachem	69
Figura 41 – Ilustração do pHmetro de bancada PH-21	70
Figura 42 – Ilustração da Bomba Wave Maker 5000 l/h - JVP-102B	70
Figura 43 – Ilustração do medidor de oxigênio dissolvido	71
Figura 44 – Ilustração do HI 5321 - Medidor de bancada para Salinidade	71
Figura 45 – Ilustração do SERA aqua-test box	72
Figura 46 – Ilustração do decibelímetro - medidor de nível de pressão sonora digital	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela dos principais macrorganismos responsáveis pelo processo de bioincrustação nos biofilmes, divididos em macios e duros.....	21
Tabela 2 – Proporção entre as espécies marinhas conhecidas e as que participam no processo de bioincrustação.....	24
Tabela 3 – Compilação de resultados demonstrando o efeito da cor do substrato na bioincrustação.....	29
Tabela 4 – Componentes presentes na água do mar.....	33
Tabela 5 – Tempos médios de estadia de embarcações no Porto de Itajaí.....	42
Tabela 6 – Parâmetros monitorados na Praia do Sambaqui para as três estações do ano.....	66
Tabela 7 – Parâmetros monitorados na região do Porto de Itajaí para as três estações do ano ..	66

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

TBT	Tributilestanho;
TPT	Trifenilestanho;
MEPC	Comitê de Proteção ao Ambiente Marinho;
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina;
CEM	Centro de Engenharia da Mobilidade;
MPE	Material Polimérico Extracelular;
UV	Ultravioleta;
NO <sub>3</sub>	Nitrato;
NO <sub>2</sub>	Nitrito;
NH <sub>4</sub>	Amônio;
NH <sub>3</sub>	Amônia;
NID	Nitrogênio Inorgânico Dissolvido;
OD	Oxigênio Dissolvido;
ups	Unidade Prática de Salinidade;
NaCl	Sal de Cozinha;
TEU	Twenty-foot Equivalent Unit;
LMM	Fazenda Experimental de Cultivo de Moluscos Marinhos;
AI	Anti-Incrustantes;
AA	Anti-Adesão;
RID	Revestimento Inertes e Duros;
IMO	Organização Marítima Internacional;
NIS	Non-Indigenous Species.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	14
Objetivo geral.....	16
Objetivos específicos .....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 BIOINCRUSTAÇÃO.....	17
2.1.1 Processos de Fixação e Desenvolvimento do Biofilme.....	18
2.1.2 Tipos de microrganismos .....	21
2.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE BIOINCRUSTAÇÃO .....	24
2.2.1 Principais parâmetros que influenciam no desenvolvimento da bioincrustação .....	25
2.3 BIOINCRUSTAÇÃO NA INDÚSTRIA NAVAL E OUTROS SETORES INDUSTRIAIS.....	34
2.4 MÉTODOS PARA MINIMIZAÇÃO DA BIOINCRUSTAÇÃO .....	39
2.5 AMBIENTES MARINHOS ESTUDADOS .....	41
2.5.1 Porto de Itajaí .....	41
2.5.2 Praia do Sambaqui -Florianópolis .....	42
3. METODOLOGIA .....	45
3.1 LEVANTAMENTO DOS PARÂMETROS .....	45
3.2 MONITORAMENTOS .....	45
3.3 ESPECIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS PARA O RESERVATÓRIO DE TESTES.....	46
3.4 ENTREVISTA COM OS RESPONSÁVEIS PELOS MONITORAMENTOS.....	47
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	48
4.1. Análise do Porto de Itajaí.....	48
4.2 Praia do Sambaqui.....	60
4.3 Análise comparativa entre os dois ambientes.....	65
4.4 Lista dos equipamentos .....	67
4.4.1 Temperatura .....	67
4.4.2 pH.....	69
4.4.3 Oxigênio Dissolvido.....	70
4.4.4 Salinidade.....	71
4.4.5 Nutrientes .....	72

4.4.6 Ruído .....	72
4.5 Análise das entrevistas .....	73
5. CONCLUSÃO .....	75
REFERÊNCIAS .....	77
APÊNDICE 1 – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS RESPONSÁVEIS PELOS MONITORAMENTOS ADQUIRIDOS REFERENTE A IMPORTÂNCIA DO ESTUDO REALIZADO.....	83

## 1. INTRODUÇÃO

Microorganismos presentes nas águas de rios e mares estão sempre à procura de uma superfície para aderir, assim podendo se alimentar e se multiplicar. Toda superfície submersa está sujeita a esta adesão de microrganismos, a qual produz um filme biológico capaz de alterar as propriedades da superfície e condicionando-a para a fixação de organismos de maior porte, como microalgas, larvas de moluscos e até pequenos crustáceos (LEHAITRE; COPÈRE, 2004). Estruturas construídas pelo homem, estão constantemente sujeitas a este fenômeno, principalmente estruturas submersas como os cascos de embarcações. O resultado desta sucessão de incrustações no casco da embarcação, apresenta impacto negativo para a eficiência da navegação, visto que aumentam significativamente a rugosidade do casco, adicionam massa à embarcação e possibilitam que fenômenos de biocorrosão ocorram (MARK IGLE, 2015)

A incrustação biológica, ou bioincrustação, gera anualmente prejuízos financeiros para proprietários de embarcações, pois há aumento considerável no consumo de combustível devido ao aumento na resistência de avanço do casco (MELO; BOTT, 1997). A limpeza desta incrustação é realizada por raspagem e repintura do casco, causando períodos de inatividade da embarcação. Atualmente, para combater este problema são utilizadas tintas e produtos químicos, entretanto, até o momento, verifica-se a ausência de uma efetiva solução ambientalmente correta para este tipo de problema tecnológico (MCPS LIMITED, 2013). Estudos nessa área estão focados em sistemas de dessalinização e de tratamento de água, não se verificando informações referentes a bioincrustação em estruturas flutuantes (NGUYEN; RODDICK, 2012).

Embarcações, mesmo apresentando sistemas anti-incrustantes, sofrem significativas perdas energéticas devido a este fenômeno. Pequenos volumes de incrustação podem resultar em redução de até 40% na eficiência de combustível (FATHON SHIPPING, 2013), promovendo o aumento de arrasto da embarcação, fazendo-se necessária uma maior força para vencer a resistência ao avanço. Analisando-se economicamente, este gasto adicional de combustível é muito relevante, visto que representa 50% do total gasto em movimentações de carga (MCPS LIMITED, 2013). A falta de sistemas de controle de bioincrustação em uma embarcação com 6 meses de atividade, pode gerar cerca de 150 kg/m<sup>2</sup> de material orgânico aderido à superfície do casco por metro quadrado (FATHON SHIPPING, 2013).

Em sistemas de dessalinização da água, a bioincrustação também se apresenta como um problema. As membranas utilizadas para a filtragem da água, as quais se encontram constantemente incrustadas com particulado inorgânico, requerem limpeza periódica (MELO; BOTT, 1997). A bioincrustação diminui este tempo entre limpezas, além de também aumentar a energia necessária para manter um fluxo aceitável pela membrana. (FLEMMING, 2011).

Em outros setores, como usinas térmicas, a camada gerada pela bioincrustação prejudica a taxa de transferência de calor entre a estrutura e a água do mar utilizada para realizar a troca de calor. É estimado que 20% do custo da energia gerada tenha relação ao combate e danos causados pela bioincrustação. Dentre estes custos adicionais gerados, estão as grandes quantidades de cloro utilizadas para minimizar a formação de filmes bacterianos e paradas na geração de energia para limpezas (FLEMMING, 2011).

Tintas e revestimentos são utilizados para minimizar o desenvolvimento da bioincrustação, entretanto, estes não conciliam adequadamente eficiência com preservação ambiental. Como por exemplo o tributilestanho (TBT), que foi utilizado por um longo período de tempo, pela sua capacidade de reduzir consideravelmente a adesão de incrustações. No entanto, seu uso foi proibido a partir de 2006 pelo Comitê de Proteção ao Ambiente Marinho (MEPC), devido sua toxicidade e agressividade ao meio ambiente marinho. Revestimentos utilizados atualmente, não possuem a mesma eficiência no combate a bioincrustação, se comparando ao TBT. Na indústria naval, isto reflete na necessidade de, periodicamente, embarcações serem retiradas da água e limpas, para a remoção da incrustação aderida ao casco, resultando em menor produtividade e maior custo aos estaleiros (MCPS LIMITED, 2013).

Considerando a importância tecnológica do tema na indústria naval, o presente trabalho objetiva verificar os mecanismos e parâmetros que influenciam no processo de bioincrustação e viabilizar o estudo deste fenômeno em laboratório. Foi verificado, por meio de revisão bibliográfica, que os parâmetros mais influentes no desenvolvimento da bioincrustação são: temperatura, salinidade, pH, luminosidade, velocidade do fluido, quantidade de nutrientes, tipo e coloração do substrato, oxigênio dissolvido e ruído. O estudo é baseado na identificação destes parâmetros físicos e químicos das águas regionais do Porto de Itajaí e da praia do Sambaqui em Florianópolis. Os dados anuais, destes parâmetros, nestes ambientes foram adquiridos através da parceria com o Porto de Itajaí e com o Departamento de Aquicultura do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Com estas informações foi possível aprimorar o projeto do reservatório de testes, inicialmente projetado por Michels (2014), e também possibilitar que tais ambientes marinhos pudessem ser reproduzidos em laboratório em diferentes estações do ano (inverno, verão e

estações intermediárias), viabilizando assim, um estudo em ambiente controlado e mais seguro (MESSANO, 2007).

Em linhas gerais, uma melhor compreensão dos mecanismos que regem o fenômeno da bioincrustação tem grande importância no desenvolvimento de soluções que minimizem e controlem este fenômeno que atinge diversas áreas da indústria, como dutos, plataformas e cascos de embarcações. Sem o entendimento deste fenômeno, o seu combate torna-se ineficiente e a solução do problema se encontra mais distante.

### Objetivo geral

Identificar e quantificar os parâmetros físicos e químicos das águas do Porto de Itajaí e da Praia do Sambaqui visando simular tais ambientes, em diferentes estações do ano, em um reservatório de testes para estudo dos processos de bioincrustação.

### Objetivos específicos

- Estudar o fenômeno de bioincrustação e os prejuízos causados à indústria naval pela incrustação biológica;
- Selecionar condições físicas e químicas de maior influência no desenvolvimento do biofilme;
- Quantificar os parâmetros físicos e químicos do Porto de Itajaí e da Praia do Sambaqui;
- Especificar as condições ambientais a serem reproduzidas em reservatório de teste laboratorial;
- Definir equipamentos necessários para reproduzir os parâmetros físicos e químicos em escala laboratorial;
- Contribuir com as atividades de pesquisa na área de bioincrustação do Centro de Engenharia da Mobilidade (CEM) da UFSC Joinville.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 BIOINCRUSTAÇÃO

Segundo Flemming et al. (2009) todas superfícies submersas, artificiais ou não, estão sujeitas ao fenômeno chamado de bioincrustação. Este é definido como o crescimento indesejável e inevitável de matéria biológica, que inclui bactérias, larvas, algas, fungos e até crustáceos, em superfícies molhadas, sejam elas naturais (tais como rochas, madeira, outros organismos, etc.) ou produzidas pelo homem (cais, plataformas, cascos de navios, boias, cabos, etc) (GAMA; C.PEREIRA; COUTINHO, 2009; LIN LI, 2013). Messano (2007) aponta que qualquer superfície ou estrutura imersa no ambiente marinho, está sujeito a uma série de eventos físicos e químicos, resultando na formação de camadas de organismos incrustantes, que por sua vez, possibilita a adesão de organismos maiores como algas e crustáceos.

Existem inúmeros organismos relacionados a este fenômeno, sendo divididos em microrganismos, os quais geram os biofilmes, camadas de limo e micro-incrustação, e em macrorganismos (DHANASEKARAM, 2009), como é possível verificar na Figura 1, onde a parte esverdeada é limo causado pela adesão de microrganismos e microalgas no casco. Já a parte inferior do casco e bulbo apresentam um nível de bioincrustação mais avançado, onde macrorganismos se aderem à superfície e causam graves problemas de desempenho para a embarcação durante a navegação. A bioincrustação é um dos problemas mais frequentes e importantes que a tecnologia marinha enfrenta atualmente.

Figura 1: Casco de um navio evidenciando o fenômeno de macro (setas vermelhas) e microincrustação (setas verdes).



Fonte: Alterado de ACCURATE MODEL PARTS (2015)

### 2.1.1 Processos de Fixação e Desenvolvimento do Biofilme

O biofilme ocorre naturalmente em diferentes tipos de ambiente, tanto terrestres como aquáticos, onde é peça fundamental para o bom funcionamento do ecossistema, estando envolvido no processo de autopurificação e no ciclo de nutrientes do ambiente (XAVIER et al., 2003).

As bactérias preferem aderir-se a superfícies submersas ao invés de ficar flutuando livremente em meio aquoso). Algumas possíveis causas desta preferência podem estar ligadas a abundância de nutrientes e oxigenação que o contínuo fluxo de água pode trazer até as bactérias, tornando-se assim um local seguro e favorável para seu desenvolvimento e colonização (MELO; BOTT, 1997).

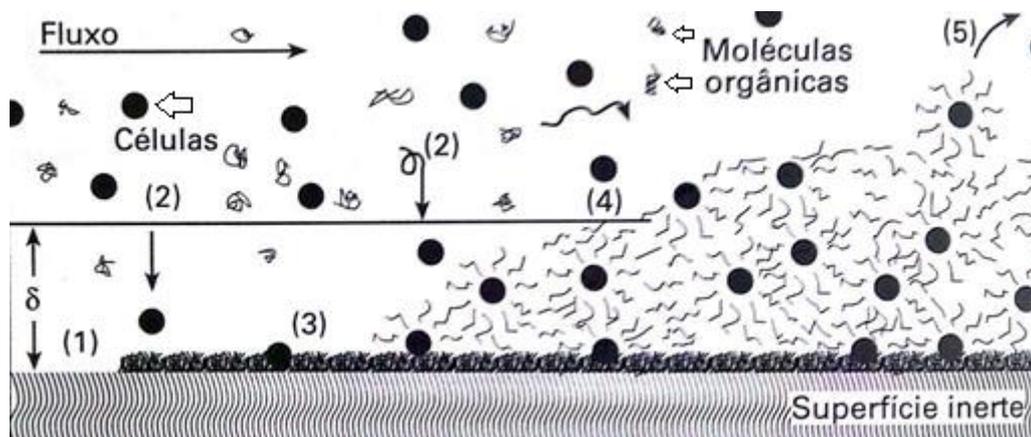
Em diversas áreas da indústria, problemas relacionados com bioincrustação surgem da mesma causa: formação de filmes microbianos. Estes filmes possuem espessuras da ordem de milímetros ou até micrometros, podendo chegar a centímetros como no caso dos tapetes de algas (XAVIER et al., 2003). Os biofilmes podem alterar a carga superficial do substrato e aumentar a rugosidade, facilitando a adesão de outros organismos e acelerando o processo de corrosão. Sua formação, um processo complexo, segue leis naturais que precisam ser melhor estudadas, a fim de permitir o desenvolvimento de soluções mais eficazes (Michels, 2014).

No ambiente marinho existem mais de 400 organismos relacionados a problemas de incrustação. Estes organismos são separados em microrganismos, que formam biofilme e são invisíveis a olho nu, e macrorganismos que são organismos maiores e mais desenvolvidos (COMPÈRE; LEHAITRE; DELAUNEY, 2008).

Segundo os livros de Railkin (2004) e Videla (2003), apesar de complexa, a colonização bacteriana no substrato pode ser dividida em 5 etapas (Figura 2), sendo elas:

1. Transporte e absorção de moléculas orgânicas para a superfície submersa tornando-a condicionada, ou seja, mais favorável a adesão bacteriana;
2. Transporte de células microbianas
3. Adesão das células à superfície condicionada;
4. Desenvolvimento metabólico dos microrganismos (células), aumentando seu poder de fixação à superfície e espessura do filme;
5. Desprendimento de parte do filme bacteriano.

Figura 2: Esquema sequencial do desenvolvimento do biofilme.

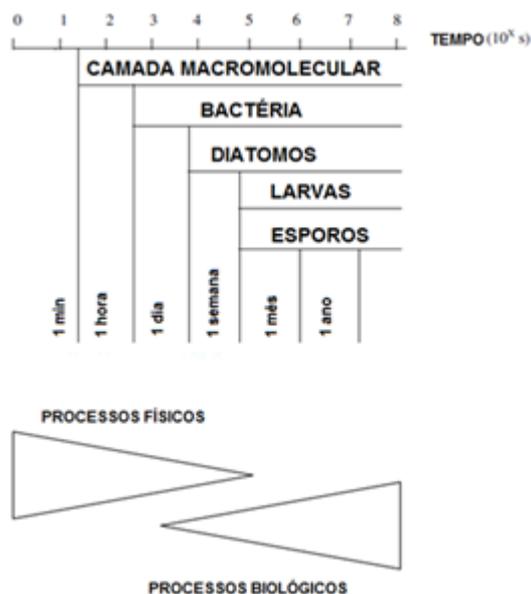


Fonte: Videla, H. (2003)

O filme, inicialmente formado, apresenta alto poder de adesão microbiana, contribuindo para a fixação e desenvolvimento de colônias de microrganismos em sua superfície. Durante o crescimento das colônias, bactérias liberam uma secreção chamada material polimérico extracelular (MPE). O MPE possui peso elevado em comparação as bactérias e é constituído de várias substâncias orgânicas, como polissacarídeos, proteínas, ácidos nucleicos e lipídios. Ele é responsável por unir as bactérias em uma matriz tridimensional, comandando a estrutura e a organização do biofilme, afetando propriedades físico-químicas como transferência de massa, absorção de nutrientes e rugosidade superficial.

Várias camadas de MPE são formadas na superfície condicionada, dando origem ao biofilme (NGUYEN; RODDICK, 2012; VIDELA, 2003).

Figura 3 – Ordem cronológica do desenvolvimento do biofilme.



Fonte: adaptado de RAILKIN (2004)

A partir da Figura 3, é possível visualizar em uma ordem cronológica as etapas da bioincrustação. O condicionamento de um biofilme na superfície ocorre nos primeiros minutos de imersão, onde macromoléculas (exopolímeros, proteínas, ácidos húmicos...) e moléculas inorgânicas aderem-se à superfície devido a interações elétricas e hidrofóbicas (NGUYEN; RODDICK, 2012). Este condicionamento induz modificação nas propriedades da superfície (tensão e energia superficiais, polaridade e molhabilidade), que auxiliarão nas seguintes etapas (COMPÈRE; LEHAITRE; DELAUNEY, 2008). Entre os primeiros minutos e horas intercorre-se adesão de bactérias (microrganismos), apresentando inicialmente uma fraca interligação com a superfície condicionada. Este estágio pode ser revertido com uma simples lavagem. Entretanto ao passar das horas interações mais energéticas surgem entre bactérias e superfície, aumentando seu poder de adesão através da produção de MPE. Após o fortalecimento desta ligação é iniciado a etapa de crescimento da colônia bacteriana e mediante a alguns dias já é possível observar a associação de diatomáceas (algas unicelulares) ao filme bioincrustante. Larvas e esporos de organismos macro incrustantes aderem-se ao biofilme após um mês de imersão (COMPÈRE; LEHAITRE; DELAUNEY, 2008; RAILKIN, 2004; MELO; BOTT, 1997).

Segundo Compère, Lehaitre e Delauney (2008), a partir deste filme bioincrustante os macrorganismos podem se aderir e são estes organismos que representam o real problema para a indústria offshore e para tubulações. Estes macrorganismos são classificados em macios e duros, onde os duros possuem exoesqueleto sólidos e os macios não, a Tabela 1 relaciona alguns destes organismos.

Tabela 1 – Tabela dos principais macrorganismos responsáveis pelo processo de bioincrustação nos biofilmes, divididos em macios e duros.

Macrorganismos Bioincrustantes	
Duro	Macio
Mexilhão	Alga
Craca	Hidróido
Ostra	Coral mole
Espunja Incrustante	Espunja
Verme	Anêmona

Fonte: Alterado de COMPÈRE (2008)

A ocorrência de cada uma destas etapas é dependente de fatores físicos e químicos. Desta forma, a existência de um reservatório permite simular diferentes ecossistemas e condições, facilitando o estudo do fenômeno de bioincrustação. Além disso, possibilita o monitoramento mais eficiente e simulação de ambientes de difícil acesso. Outro fator importante é a segurança, sendo que o monitoramento em laboratório reduz o número de avarias a zero e permite maior precisão no controle do crescimento do biofilme.

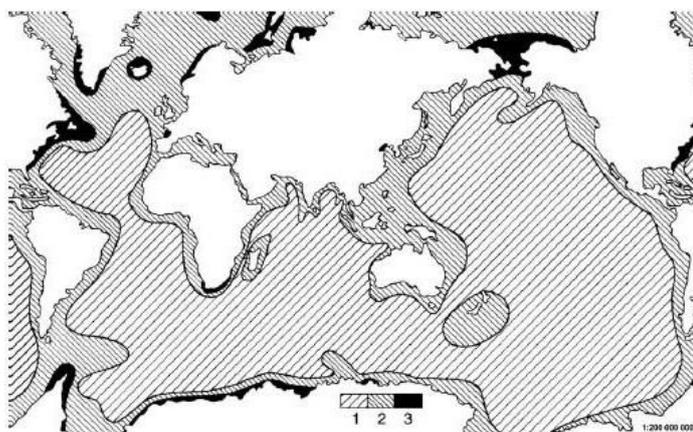
### 2.1.2 Tipos de microrganismos

A distribuição dos microrganismos no ambiente marinho não é equivalente em todas as regiões, sendo significativamente maior perto da costa e nas camadas de água mais próximas das superfícies. Esta variação de concentração encontrada é devido a fatores biológicos e físicos, como maiores temperaturas, quantidade de nutrientes, luminosidade e salinidade.

A Figura 4 ilustra as diferentes concentrações de biomassa (nutrientes) nos mares e oceanos. Nesta, evidencia-se uma notável diferença de concentrações entre águas costeiras e nos oceanos, em regiões costeiras há maiores concentrações, sendo estas mais favoráveis para o desenvolvimento de diferentes colônias de microrganismos. Além disso, Gentil (1996) afirma

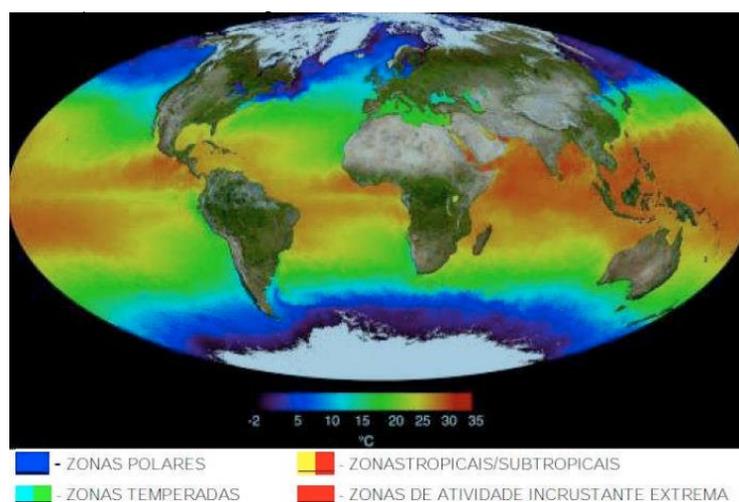
que a formação de incrustação no verão é mais intensa, por este motivo, regiões nos trópicos estão mais suscetíveis a um grande desenvolvimento de bioincrustação por apresentarem um regime de médias e altas temperaturas durante todo ano. A Figura 5 ilustra a média anual da temperatura dos mares e oceanos, as regiões em vermelho representam regiões de atividade incrustante extrema. (INTERNATIONAL MARINE COATINGS, 2015). Pode-se dizer então que áreas costeiras e próximas a linha do equador são, geralmente, ambientes mais propícios ao desenvolvimento da bioincrustação.

Figura 4: Distribuição de biomassa ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) no fundo dos mares e oceanos. (1) Menos de  $1\text{g}/\text{m}^2$ ; (2) 1 a  $100\text{g}/\text{m}^2$ ; (3) Mais de  $100\text{g}/\text{m}^2$ .



Fonte: Raikin (2004).

Figura 5: Distribuição de temperatura no planeta por regiões.



Fonte: International marine coatings (2015).

Microrganismos que causam bioincrustação normalmente são bactérias fortemente encapsuladas e com rápido crescimento. São elas espécies como *Aerobacter*, *Arthrobacter*,

*Proteus*, *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Nitrobacter*. O biofilme pode conter inúmeras espécies, formando uma comunidade complexa, que pode ser particularmente distinta para cada clima e região onde a incrustação se desenvolveu. Variando com a temperatura, salinidade, pH e disponibilidade de nutrientes no meio (BOTT, 1997).

Em um estudo realizado na Índia, foram retirados a bioincrustação de três diferentes navios (de diferentes marinhas) com a finalidade de identificar os microrganismos com maior atividade incrustante nas regiões. Após a separação das amostras em 11 colônias micro incrustantes, estas foram expostas a ambiente propício para o desenvolvimento das colônias. Como resultado, foi observado em uma das colônias uma taxa de desenvolvimento maior que nas demais, nesta foi verificado o microrganismo era o *Bacillus sp.* Pesquisas anteriores a estas identificaram também presença de microrganismos como *Pseudomonas fluorescence*, *Vibrio alginolyticus*, *Aerobacter aerogens*, *Bacillus alvei* e *Escherichia coli* (DHANASEKARAN, 2009).

Após algumas semanas de imersão no mar, o biofilme se desenvolve de tal maneira que já é possível verificar comunidades macroincrustantes se aderindo ao filme. Verifica-se a existência de uma vasta gama de macrorganismos (macroalgas, esponjas, cnidários, bivalves, poliquetas, cirripédios, biozoários e tunicados) que podem se desenvolver neste biofilme, tornando o filme ainda mais complexo (MESSANO, 2007).

Macrorganismos mais específicos na costa brasileira foram investigados por Ferreira (2003), que apontou a craca *Balanus amphitrite*, a qual pode ser observado na Figura 6, como sendo o mais presente na Baía de Guanabara, com domínio de aproximadamente 70% sobre as demais espécies encontradas. Esta presença é justificada pela sua resistência às variações na temperatura e salinidade, além de sua rápida proliferação (FERREIRA, 2003).

Figura 6: Craca *Balanus amphitrite*.



Fonte: Jacinto (2015) e Bailey (2015)

É estimado que existam mais de 4.000 espécies responsáveis pela bioincrustação e que estão constantemente a procura de uma superfície para se fixar e se desenvolver. É importante também ressaltar, que não é o microrganismo adulto que está em busca de uma superfície; e sim suas larvas ou esporos, no caso de microalgas. Uma simples craca da espécie *Balanus*, por exemplo, é capaz de produzir cerca de 10.000 larvas em sua temporada de reprodução, já um único filamento de alga pode chegar a liberar 100.000.000 esporos. Todos estes organismos buscarão uma superfície para se fixar e crescer (INTERNATIONAL MARINE COATINGS, 2015)

Apesar de serem muitas as espécies de organismos responsáveis pelo fenômeno de bioincrustação, estas representam uma pequena parcela das espécies marinhas conhecidas. A Tabela 2 apresenta a quantidade de espécies marinhas conhecidas divididas por gêneros e, dentre estas, as que causam a bioincrustação. Por exemplo, as do gênero das cracas (*Balanus*), são conhecidas 300 espécies e apenas 60 destas foram apontadas como causadoras de bioincrustação, ou seja, 20% do gênero. Estes dados são do ano de 1952 e estão desatualizados, no entanto, nos dá uma visão de que não são todos os microrganismos que prejudicam estruturas feitas pelo homem.

Tabela 2: Proporção entre as espécies marinhas conhecidas e as que participam no processo de bioincrustação.

Grupo	Espécies Marinhas	Espécies na incrustação	% na incrustação
Peduculata	200	50	25
Balanus	300	60	20
Tunicados	700	116	16,6
Hidróides	3000	260	8,7
Plantas Marinhas	8000	614	7,7
Briozoários	3000	139	4,6
Nemertea	500	11	2,2
Espanjas	3000	33	1,1

Fonte: Adaptado de WHOI (1952)

## 2.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE BIOINCRUSTAÇÃO

É conhecido, que estruturas artificiais imersas alguns metros abaixo da linha da água, estão sujeitas a apresentarem níveis de incrustação maior que superfícies naturais que se encontram no fundo do mar. (ZEVINA, 1994). Railkin (2004) aponta essa diferença de

incrustação, como sendo em função de vários parâmetros, não somente devido ao fato do substrato ser artificial ou natural. Em seu livro “Marine Biofouling”, é exemplificado a maricultura, que apesar dos moluscos cultivados possuírem substrato natural, apresentam um desenvolvimento de bioincrustação em sua superfície maior que corais e conchas no fundo do mar. Os fatores citados pelo autor foram a temperatura e luminosidade mais elevadas perto da superfície, a velocidade da corrente que gera um fluxo de nutrientes mais abundante e também uma menor presença de predadores de organismos suspensos que possam vir a se fixar no material (RAILKIN, 2004).

### **2.2.1 Principais parâmetros que influenciam no desenvolvimento da bioincrustação**

Segundo Xavier et al. (2003), entender a relação entre estrutura, processo de bioincrustação, assim como os fatores físico-químicos que influenciam na formação do biofilme, é crucial para seu controle em ambientes industriais ou clínicos. No presente trabalho objetiva-se conhecer a importância dos principais parâmetros físicos e químicos relacionados com o processo de bioincrustação a fim de simular ambientes marinhos em um reservatório de testes em laboratório. Neste sentido, foi realizada uma extensa pesquisa bibliográfica visando identificar tais parâmetros, chegando-se a definição de que os principais causadores do fenômeno da bioincrustação e formação do biofilme são: temperatura, velocidade da água, ruído, tipo de substrato, luminosidade, nutrientes, salinidade, pH e oxigênio dissolvido na água. Na sequência são apresentadas as principais relações de cada um destes parâmetros com o processo de bioincrustação.

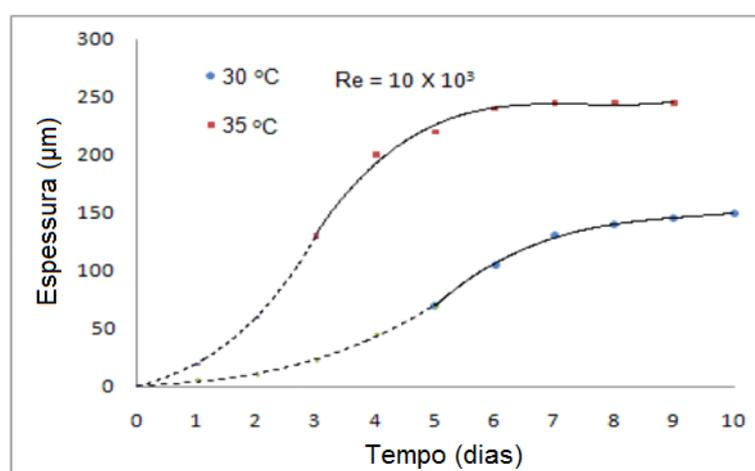
#### *2.2.1.1 Temperatura*

Há evidências mostrando que pequenas variações na temperatura podem gerar significativas alterações na taxa de crescimento do biofilme, pois a atividade bacteriana é sensível à temperatura. Em mares tropicais a quentes, a bioincrustação é verificada durante todo ano, já em mares mais frios e gelados a bioincrustação ocorre, com valores significativos, somente nos meses mais quentes do ano (AZIS; AL-TISAN; SASIKUMAR, 2000).

Segundo Melo e Bott (1997), para bactérias encontradas em sistemas industriais de refrigeração com água, a maior taxa de crescimento e multiplicação bacteriana foi relatada no verão, onde foi verificada na água a uma temperatura de aproximadamente 40°C. Para demonstrar esta relação entre o crescimento da camada bioincrustante e temperatura, foram realizados experimentos em que o aumento da taxa de crescimento chega a 80%, aumentando

a temperatura de 30° para 35°C, sendo que as bactérias utilizadas nestes experimentos foram do tipo E. Coli. (MELO; BOTT, 1997). A Figura 7 traz uma representação gráfica dos resultados obtidos por Bott. Outro estudo, realizado por Lee et al. (1998), concluiu que a incrustação em águas a 35°C resultou em uma camada de incrustação aproximadamente 1,75X mais espessa do que a 45°C em canos refrigerados por água.

Figura 7 – Gráfico do crescimento da espessura do biofilme ao longo de dias para duas temperaturas distintas (30° e 35°C).



Fonte: Bott et al. (1977)

### 2.2.1.2 Velocidade do fluido

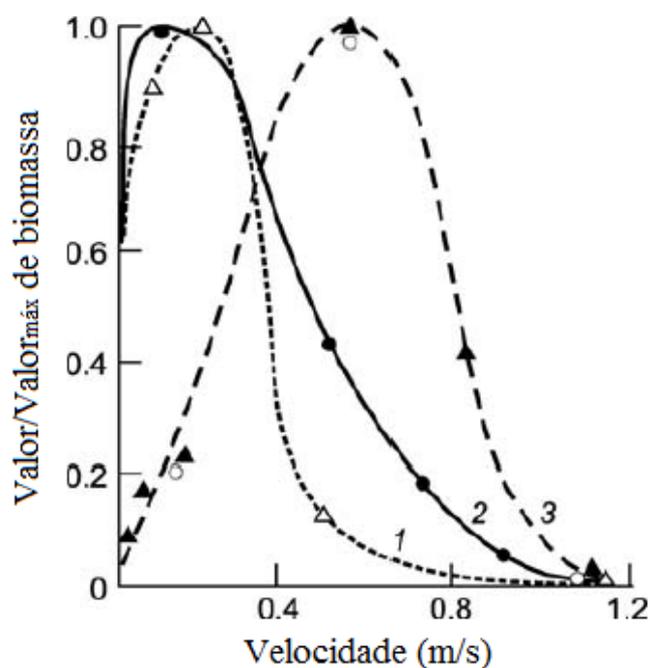
A velocidade do fluido é um dos fatores que afeta o crescimento do biofilme (RAILKIN, 2004). Experimentos conduzidos por Melo e Bott (1997), demonstraram que a partir de uma concentração de nutrientes fixa e mantendo a velocidade do fluido em 0,54 m/s durante 15 dias, a espessura da camada bioincrustante desenvolvida foi 10 vezes maior que em uma amostra nas mesmas condições, entretanto com velocidade de 2,0 m/s. A velocidade pode também alterar a densidade do biofilme (LIN LI, 2013). Experimentos com a bactéria *Pseudomonas Fluorescens* foram realizados em dutos de alumínio, onde a velocidade do fluido foi aumentada de 0.13 m/s para 0.43 m/s, resultando em um aumento da densidade de biofilme seco de 26 kg/m<sup>3</sup> para 61 kg/m<sup>3</sup>. Então é possível afirmar que o aumento da velocidade do fluido, pode aumentar a densidade do biofilme formado. (PINHEIRO et al., 1988).

Segundo Railkin (2004) a velocidade da corrente auxilia o desenvolvimento do biofilme até atingir um valor crítico. A partir desta velocidade crítica, que pode variar para cada tipo de microrganismo, o fluxo começa a ser prejudicial para o crescimento do biofilme. Isto ocorre por motivos físico e biológicos, por exemplo, velocidades acima de 0,5m/s para algumas

espécies podem gerar erosão na camada incrustante e até evitar a fixação de alimentos na superfície para o desenvolvimento da colônia (MARFENIN; KOSEVICH, 1984). Moluscos como a videira gigante *Placopecten magellanicus* fecham suas cascas, parando de se alimentar e de crescer quando a velocidade da corrente ultrapassa 0.14 m/s (WILDISH; SAULNIER, 1992).

Em uma tentativa de identificar quais as velocidades do fluxo que mais favorecem o crescimento da camada bioincrustante, Railkin (2004) reuniu dados de pesquisas, para experimentos realizados em tubulações de navios, em diferentes regiões para chegar em uma faixa de valores. Estes dados estão apresentados graficamente na Figura 8, a qual nos dá a relação de pico de crescimento em função da velocidade do fluido para três regiões distintas. Para a maioria das espécies destas regiões, velocidades entre 0,1 e 0,5 m/s são mais favoráveis para o desenvolvimento da bioincrustação. Para que o efeito da bioincrustação seja minimizado, é recomendado por Melo e Bott (1997) uma velocidade acima de 1 m/s para tubulações.

Figura 8 – Relação entre o pico de crescimento da camada bioincrustante e a velocidade do fluido em m/s. (1) Mar Negro por 25 dias; (2) Golfo da Guiné, Oceano Atlântico por 25 dias; (3) Região aberta do Oceano Atlântico por 46 dias.



Fonte: Alterado de Railkin (2004)

### 2.2.1.3 Ruído

Uma publicação realizada no site oficial da *The National Institute of Water and Atmospheric Research* (NIWA, 2012) citou um trabalho realizado em parceria com a Universidade de Auckland e a Fundação Família Gleen, sobre a relação entre o ruído que as embarcações produzem e a formação da bioincrustação no casco. Neste trabalho, experimentos foram realizados onde ruídos produzidos pelos barcos foram gravados e posteriormente, em laboratório, duas amostras foram preparadas com a presença de larvas de moluscos, sendo uma exposta a maiores intensidades de ruídos e a outra em tanques sem ruídos. Os resultados encontrados foram significativamente discrepantes, sendo que as larvas expostas a alta intensidade de ruído se aderiram muito mais rápido a superfície

### 2.2.1.4 Substrato

Substrato é o nome dado para a superfície em que a fixação dos microrganismos ocorre (AL-JUBOORI; YUSAF, 2012). Propriedades do substrato como rugosidade, molhabilidade, tensão de superfície e polarização podem influenciar no padrão de acumulação e distribuição das células nos estágios iniciais da bioincrustação (DÜRR; THOMASON, 2010).

Melo e Bott (1997) citam um trabalho, utilizando tubos de diferentes materiais para um mesmo fluxo de água, que em substratos mais lisos (vidro e aço inoxidável 306 eletricamente polido) promoveram uma deposição de microrganismos 35% menor, em relação a tubos de aço inoxidável 306 sem polimento. Neste experimento foi utilizado uma velocidade de fluxo de 1 m/s e a bactéria analisada foi *Pseudomonas fluorescens*.

Pasmore et al. (2002) estudou o efeito das propriedades de rugosidade, hidrofobicidade e carga superficial em superfícies poliméricas em relação ao desenvolvimento do biofilme. Bactérias do tipo *Pseudomonas fluorescens* foram utilizadas. Foi concluído que em superfícies mais lisas, mais hidrofílicas e mais neutras apresentaram menores taxas de bioincrustação e facilitaram a dissociação de células do biofilme. A rugosidade superficial é crucial na retenção de células na superfície, sendo que o aumento da rugosidade proporciona aumento na colonização microbiana (DÜRR; THOMASON, 2010).

Não somente a taxa da bioincrustação, mas também a variedade de microrganismos aderidos pode variar nos diferentes substratos. É relatado por Dürr e Thomason (2010) que fatores como rugosidade, capacidade térmica, cor, carga, elemento e composição orgânica afetam a variedade de macro e microrganismos que se fixarão durante o processo de bioincrustação.

A cor do substrato apresenta efeito sobre a fixação do microrganismo por um curto período de tempo. Após desenvolvimento do biofilme a cor primária do substrato é ofuscada, mas quanto maior for o atraso na formação do biofilme, mais tempo levará para macrorganismos se fixarem no substrato (LIN LI, 2013).

Estudos relacionando a cor do substrato e o desenvolvimento de bioincrustação vem sendo realizados a décadas. Geralmente, cores escuras apresentam maior nível de incrustação se comparado a substratos de cores claras, sobre a incidência de luz (DAHLEM et al., 1984; SHINE, R.; BRISCHOUX, F.; PILE, A. J., 2010; SU et al., 2007). A Tabela 3 apresenta uma compilação com alguns resultados destes estudos.

Tabela 3: Compilação de resultados demonstrando o efeito da cor do substrato na bioincrustação.

<b>Dados dos Estudos</b>	<b>Duração</b>	<b>Resultado da Incrustação</b>	<b>Referência</b>
Painéis de PVC claros e pretos	-----	Os substratos pretos apresentaram maior incrustação. Os claros coletaram um maior número de espécies.	(Dahlem et al., 1984)
Serpentes do mar de coloração branca, preta e listradas (preto e branco)	5 anos	As cobras pretas apresentaram maior nível de incrustação por algas.	(Shine et al., 2010)
Modelos plásticos de serpentes marinhas de coloração branca, preta e listrada (branco e preto)	29 dias	As cobras pretas ficaram mais cobertas de algas. Não alterando o resultado por ser um substrato de diferente natureza.	(Shine et al., 2010)
Superfícies plásticas com coloração vermelho, amarelo, azul e verde	4 dias	Nas superfícies vermelhas e azuis foram observadas aproximadamente o dobro de larvas fixadas.	(Su et al., 2007)

Fonte: Alterado de Lin LI (2013).

#### 2.2.1.5 Luminosidade

A luminosidade é um parâmetro que pode influenciar de modo a acelerar ou diminuir o desenvolvimento do biofilme, visto que existem espécies que preferem a luz, como as algas

para sua fotossíntese, e outros microrganismos que preferem regiões mais sombreadas. Por este motivo, estudos relacionando luminosidade e bioincrustação normalmente são realizados com as algas (LIN LI, 2013).

Entretanto, de modo geral, podemos dizer que substratos em regiões sombreadas coletam maiores quantidades de microrganismos bioincrustante em comparação a regiões bem iluminadas. Este foi o resultado de experimentos realizados por Andrewartha (2010) e Barton (2007). Outro estudo realizado por Li (2013), compara resultados de adesão micro bacteriana em diferentes tipos de substrato com e sem a incidência de luz ultravioleta (UV), em todos os substratos a adesão foi menor com a presença da luz UV, mostrando o efeito negativo desta.

#### 2.2.1.6 Nutrientes

A concentração de nutrientes na água é um parâmetro essencial para a formação da bioincrustação, principalmente nas etapas de desenvolvimento da colônia de microrganismos (AL-JUBOORI; YUSAF, 2012). Com concentrações altas de nutrientes na água há uma tendência de maior número de microrganismos livres de se fixarem no substrato (KOOP et al., 1989). Flecher (1977), em seus experimentos, reportou que um aumento na concentração de *marine pseudomona* na água, resultou em aumento de células aderidas a superfície.

Segundo Railkin (2004), o biofilme cresce concomitantemente com o aumento da concentração de nutrientes na água. Para macrorganismos este aumento na disponibilidade de nutrientes, gera uma aceleração no crescimento e aumenta de sua massa. Já para os microrganismos, isto reflete no aumento da taxa de divisão celular, acelerando a formação de colônia.

Águas oceânicas apresentam normalmente menores teores de nutrientes comparado a águas costeiras, devido a efluentes domésticos e industriais. Desta maneira, frequentemente, águas costeiras apresentam maiores níveis de bioincrustação e de larvas incrustantes em comparação a águas oceânicas (COMPÈRE; LEHAITRE; DELAUNEY, 2008).

Plantas requerem diferentes tipos de nutriente (carbono, nitrogênio, fósforo, oxigênio, sílica, magnésio, potássio, cálcio, ferro, zinco, entre outros) para seu crescimento e reprodução. Entre eles, destacam-se o nitrogênio e o fósforo por serem nutrientes essenciais para plantas aquáticas e algas, limitando a produção de fitoplânctons na água. Por este motivo, os elementos nitrogênio e fósforo, são os principais indicadores de qualidade de águas litorâneas e estuários. Quando há abundância destes dois elementos no ambiente, sílica torna-se o nutriente limitante na reprodução destes fitoplânctons (especialmente os diátomos) (VIRGINIA INSTITUTE OF MARINE SCIENCE, 2015)

Para microrganismos, o nitrogênio é indispensável. Ele é utilizado na síntese de proteínas, amino ácidos, DNA e RNA. É encontrado no ambiente aquático na forma de Nitrato ( $\text{NO}_3$ ), Nitrito ( $\text{NO}_2$ ), nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_4$  e  $\text{NH}_3$ ), os quais podem ser apresentados, em monitoramentos, como nitrogênio inorgânico dissolvido (NID). Já o fósforo, é responsável pela síntese de ácidos nucleicos e pela construção dos fosfolipídios. Sendo encontrado na forma de fosfato ( $\text{PO}_4$ ) (HOUGHTON MIFFLIN HARCOURT, 2015).

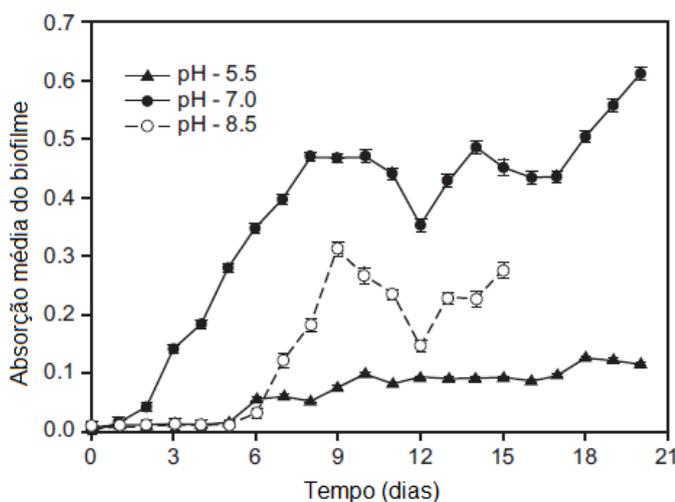
### 2.2.1.7 pH

O metabolismo e o desenvolvimento de microrganismos são muito dependentes da qualidade e dos componentes da água em que eles habitam, ou seja, material orgânico e inorgânico dissolvido ou em partículas na água, e também, seu pH. Um pH aceitável para microrganismos comuns é entre 5 e 8 (BOTT, 2011). Para a água do mar, valores de pH são encontrados entre os valores 7,2 e 8,6 (GENTIL, 2007).

Estudos realizados por Chen, Zhang e Bott (2005), tiveram como finalidade encontrar uma relação entre o pH da água e a absorção de nutrientes (crescimento) do biofilme utilizando a bactéria *Pseudomonas fluorescens*. Três valores de pH foram escolhidos para o estudo: 5.5, 7.0 e 8.5. Após alguns dias de imersão nas soluções o gráfico da Figura 9 foi obtido. Dos estudos observou-se que o biofilme se desenvolveu de forma mais pronunciada na solução mais neutra (pH = 7). Pode-se verificar também que o biofilme se desenvolve mais em meios mais alcalino (Solução com pH = 8.5) do que em meios ácidos (Solução com pH= 5.5).

O valor de pH da água é um fator que altera a velocidade de crescimento da camada bioincrustante (CULLIMORE; MCCANN, 1978). Pinheiro et al. (1988) observou que bactérias do ferro tem maior crescimento em um meio com pH 7, um meio neutro, do que em um meio alcalino, pH em torno de 9. Bactérias de ferro são várias espécies de microrganismos anaeróbicos que causam danos às tubulações, depositando hidróxido de ferro, causando redução de fluxo (MAGALHÃES, 2015).

Figura 9 – Relação entre o crescimento do biofilme com a variação no seu pH em função do tempo.



Fonte: Alterado de BOTT (2011)

#### 2.2.1.8 Oxigênio dissolvido

Águas superficiais, primeiros metros de coluna de água, apresentam um índice de oxigênio dissolvido (OD) de 5 mL/L (MESSANO, 2007). Experimentos realizados no litoral do Golfo Árabe, entre os anos de 1995 e 1996, mostraram que os valores médios de OD eram maiores no inverno e menores no outono. Verificou-se, em fevereiro, o valor máximo de 7,27 mg/l e em outubro o menor valor de OD, 4,44 mg/l (AZIS; AL-TISAN; SASIKUMAR, 2000).

Ambientes aquáticos com abundância de OD e com incidência de luz do dia promovem maior fixação de diatomáceas e algas. Por outro lado, ambientes escuros e com deficiência em OD, como tubulações, estimularam a fixação de larvas de macrorganismos (AZIS; AL-TISAN; SASIKUMAR, 2000). O oxigênio dissolvido interfere no processo de bioincrustação, ocasionando diferença na estrutura e na variedade de micro e macro organismos que irão se aderir no substrato (GAO et al., 2011).

Para microrganismos aeróbicos, o oxigênio é essencial para desenvolvimento e proliferação. A abundância deste parâmetro na água gera uma aceleração no seu metabolismo. Exemplos de microrganismos aeróbicos são o *Betaproteobacteria*, *Dechloromonas*, *Rhodocyclus*, *Comaninas* e *Nitrospira*. Por outro lado, ambientes com deficiência de OD (teores inferiores à 0,5gm/l) apresentam redução na diversidade de organismos na camada bioincrustante formada (WU; FANE, 2012). Gao et al. (2011) relatou, em seu estudo envolvendo membranas para osmose reversa, que concentrações insuficientes de OD facilitam a produção de material polimérico extracelular (MPE) nas membranas, o que aumenta as taxas de bioincrustação.

### 2.2.1.9 Salinidade

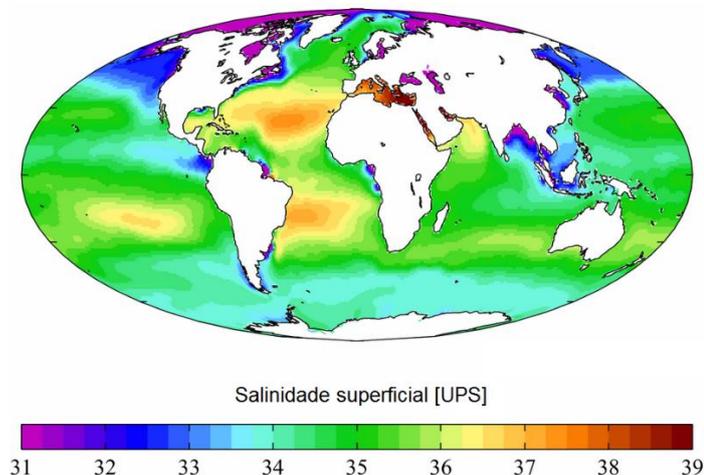
A água do mar é uma solução complexa que contém muitos dos elementos conhecidos, estes podem ser observados na Tabela 4. A salinidade é encontrada em uma mesma faixa de valores nos oceanos, pois não é afetada pelas reações químicas e biológicas do meio, variando de 33 a 37 u.p.s. (Unidade Prática de Salinidade) (MESSANO, 2007). A Figura 10 apresenta uma distribuição de salinidade nos oceanos e mares no mundo. Entretanto, estes níveis podem variar com a profundidade, segundo o regime de precipitação-evaporação e nas proximidades de rios e estuários perto da costa (PICKARD, 1974).

Tabela 4: Componentes presentes na água do mar.

<b>Água do Mar</b>	
Componentes	Gramas por quilo
Sais totais	35,1
Sódio	10,77
Magnésio	1,3
Cálcio	0,409
Potássio	0,338
Estrôncio	0,01
Cloreto	19,37
Sulfato	2,71
Brometo	0,065
Ácido bórico	0,026
Matéria orgânica dissolvida	0,001-0,0025
Oxigênio (15 <sup>o</sup> )	0,0008 (ou 5,8 cm <sup>3</sup> /l)

Fonte: Gentil (2007).

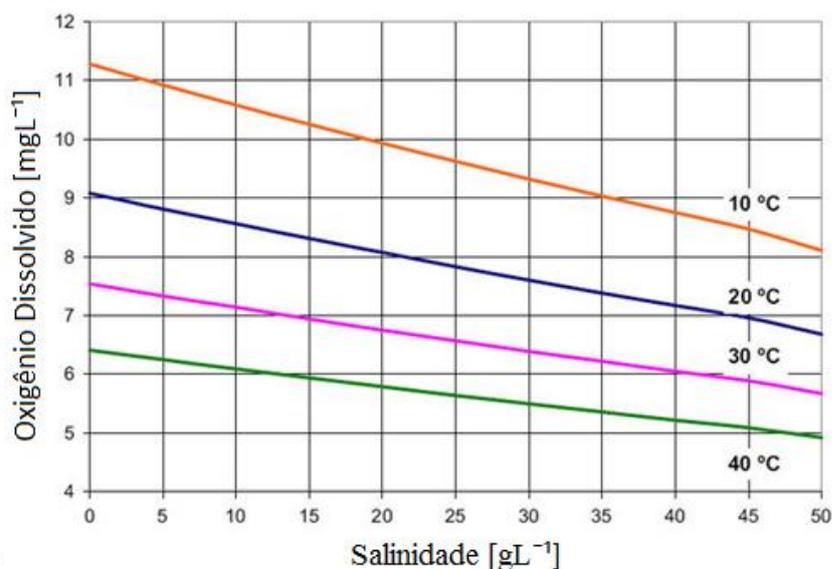
Figura 10: Perfil de salinidade na superfície dos mares e oceanos da Terra.



Fonte: Wikipédia (2015)

Experimentos realizados por Jang et al. (2013), variando o sal (NaCl) na água em sistemas de osmose reversa, mostram a influência da salinidade no processo de bioincrustação. Como resultado, foi relatado um aumento na concentração de carboidratos e MPes na superfície, e também de seu desprendimento, para maiores concentrações de sal na água. A salinidade tem impacto direto também no oxigênio dissolvido. Com o aumento da salinidade, o nível de oxigênio dissolvido diminui na água (LAY; LIO; FANE, 2010). Isto pode ser observado na Figura 11, onde pode-se observar a relação entre a salinidade, o nível de oxigênio dissolvido e a temperatura. Em temperaturas mais baixas, é observado um maior nível de oxigênio dissolvido, o qual decai linearmente em função da salinidade (YOON, 2015).

Figura 11: Oxigênio dissolvido em função da salinidade e a temperatura.



Fonte: Lay, Lio e Fane (2010)

### 2.3 BIOINCRUSTAÇÃO NA INDÚSTRIA NAVAL E OUTROS SETORES INDUSTRIAIS

Apesar da bioincrustação estar sempre ligada a problemas e prejuízos, os biofilmes formados têm importância em várias atividades humanas (XAVIER et al., 2003). Estações de tratamento de água e de efluentes, por exemplo, utilizam biofilmes para filtrar agentes patogênicos ao ser humano e diminuem a quantidade de matéria orgânica dos efluentes. Outras aplicações benéficas estão vinculadas, por exemplo, à produção de vinagre e às aplicações farmacêuticas (OKITA; KIRWAN, 1986).

Entretanto, mais que benefícios, a bioincrustação traz problemas e prejuízos para várias áreas da indústria, principalmente áreas diretamente relacionadas à água, como é o caso da indústria naval e estações de tratamento de água. Estima-se que, em escala global, são gastos mais de 450 milhões de dólares anualmente na prevenção devido a processos de bioincrustação em estruturas feitas pelo homem, sendo que sem esta prevenção, o custo anual poderia chegar a 7 bilhões de dólares (GAMA; C.PEREIRA; COUTINHO, 2009).

Na indústria naval, esta camada bioincrustante que é formada, causa irregularidades no casco, aumento na rugosidade e no arrasto, o que aumenta o gasto energético para que a embarcação mantenha sua velocidade de cruzeiro. Este acréscimo no gasto energético, ou seja, maior consumo de combustível, tem impacto significativo na eficiência de operação do navio. É estimado pelo site *International Marine* que os gastos com combustível equivalem a 50% do custo operacional de navios mercantes. O consumo anual de combustível da frota mundial de navios é estimado em 180 milhões de toneladas, o que equivale a 23 bilhões de dólares. Uma superfície com altos níveis de bioincrustação pode ter um acréscimo no consumo de 40%, gerando um alto custo adicional de transporte. Estes acréscimos no consumo dependem do tipo da incrustação e não somente da quantidade. Por exemplo, uma superfície incrustada com 100% de microalgas, como pode ser observado na Figura 12, pode levar a um aumento de apenas 10% no consumo de combustível (INTERNATIONAL MARINE COATINGS, 2015).

Figura 12: Casco de embarcação 100% incrustado por algas verdes.



Fonte: (INTERNATIONAL MARINE COATINGS, 2015)

Um aumento na rugosidade média do casco de  $10\mu\text{m}$  ( $1/1000\text{cm}$ ), resulta em um aumento de 0,3 a 1% de consumo de combustível (GAMA; C.PEREIRA; COUTINHO, 2009).

Navegando em águas temperadas e sem proteção anti-incrustante, uma embarcação pode chegar a ter um aumento de 50% no consumo de combustível em cerca de 6 meses. Em águas mais quentes onde é evidente o maior desenvolvimento bacteriano, a incrustação pode atingir espessuras de 15cm. Em 2009, estimava-se que 50% da frota mundial de embarcações possuíam algum nível de bioincrustação (GAMA; C.PEREIRA; COUTINHO, 2009)

Esta incrustação além de gerar perdas energéticas, também causa prejuízos ambientais. Visto que a navegação apresentando um certo nível de bioincrustação no casco, requer maior queima de combustível, liberando maior quantidade de gases na atmosfera. Se a frota mundial de embarcações não possuísse proteção anti-incrustante, além de um aumento de combustível de 72 bilhões, liberaria anualmente uma quantidade extra, para a atmosfera, de 210 milhões de toneladas de dióxido de carbono (gás do efeito estufa) e 5,6 milhões de toneladas de dióxido de enxofre (chuva ácida) (INTERNATIONAL MARINE COATINGS, 2015). Outro grande prejuízo ecológico é o transporte de espécies não nativas (NIS, do inglês *non-indigenous species*) pelo mundo através de bioincrustação no casco e com a água de lastro. NIS são organismos de espécies variadas introduzidos à um ambiente distinto de seu habitat natural. Invasão biológica juntamente com perda de habitat e poluição, são as 3 maiores causas de extinção das espécies (ESTADOS UNIDOS, 2006). Esta incidência de NIS é ubíquo ao redor do mundo, somente regiões inabitadas e mais remotas estão possivelmente imunes (por exemplo, regiões com latitudes maiores que 80°) (MACK et al., 2000). Pimentel, Zuniga & Morrison (2005) estimaram aproximadamente 120 bilhões de dólares em perdas relacionadas com NIS, somente para os Estados Unidos, estes custos englobam manutenção no casco de embarcações e pestes na indústria de aquicultura.

Um NIS que causa grandes problemas no Brasil é a *Limnoperna fortunei*, mais comumente conhecida como mexilhão dourado, apresentado na Figura 13. Esta espécie, originária da China e Sudeste da Ásia, foi detectado no litoral de Buenos Aires na década de 90 e desde então vêm causando graves problemas relacionados a incrustação (BERGMANN, 2010). O mexilhão dourado possui pequeno porte (4cm), rápida reprodução e capacidade de incrustar diversas superfícies submersas (madeira, rocha, concreto, plástico e até vidro). Problemas relacionados a incrustação desta espécie, podem ser observados em portos e embarcações, tubulações de captação de água (obstruindo o fluxo) e até em resultando em paradas forçadas de usinas hidrelétricas a fins de limpeza. Estes problemas resultam em aumento dos custos operacionais, devido a corrosão e perda de fluxo, sendo necessária maior quantidade de energia para as bombas manterem o fluxo de água necessários (FARIA, 2006).

Figura 13: Mexilhões dourados incrustados em tubulação.



Fonte: Lopes e Rosso (2015)

Com a constante evolução tecnológica de sensores e instrumentos de medição marinhos, suas capacidades de armazenagem de dados e eficiência energética vem aumentando. A busca por instrumentos de medição marinhos autônomos, tende a maximizar o período de coletas no mar, tornando a bioincrustação uma das barreiras para se atingir este objetivo. Os efeitos da bioincrustação em sistemas de monitoramentos marinhos são muitos, entre eles destacam-se: redução na transferência de calor, mudança nas propriedades superficiais (essenciais para qualquer transdutor) e até biocorrosão e degradação dos suportes destes sensores (DELAUNEY; COMPÈRE; LEHAITRE, 2010). É necessário que estes instrumentos oceanográficos e sensores tenham uma proteção anti-incrustante, para que suas medições sejam confiáveis e para minimizar a necessidade de manutenções, as quais são caras e realizadas por mergulhadores (JAMES, 2010).

Em estações de dessalinização e tratamento de água, utilizando o processo de filtração por membrana, a bioincrustação pode ser descrita como sendo o “calcanhar de Aquiles” destes processos (NGUYEN; RODDICK, 2012). A incrustação destas membranas pode ser dividida em inorgânicas, orgânicas, por particulados e bioincrustação, sendo que esta última é responsável por cerca de 45% da incrustação total da membrana. Alguns prejuízos que a bioincrustação traz para estações de nanofiltração e de osmose reversa são: redução de fluxo pela membrana, aumento na pressão requerida, aumento na passagem de sais (diminuindo a

qualidade do processo) e maiores gastos energéticos como resultado do aumento da pressão requerida (NGUYEN; RODDICK, 2012). Visando minimizar os prejuízos citados acima, limpezas periódicas são necessárias, acarretando em custos adicionais por envolver mão de obra e tempo de inatividade. A redução do tempo de vida destas membranas, é outro prejuízo relacionado com a bioincrustação, o qual passa de 3 para 1 ano. Isto resulta em um aumento nos custos de troca de membranas de uma estação de cerca de 0,58 para 1,75 milhões de euros (AL-JUBOORI; YUSAF, 2012; FLAMMING, 2011). Outro dado relevante foi relatado por Azis et al. (2001), onde os custos de combate a bioincrustação na indústria de dessalinização europeia chegam a 10 bilhões de libras esterlinas.

Figura 14: Filtros de sistemas de dessalinização por osmose reversa. Um apresentando incrustação (direita) e o outro um filtro novo (esquerda).



Fonte: Itochu (2015) e Beyer (2015)

## 2.4 MÉTODOS PARA MINIMIZAÇÃO DA BIOINCRUSTAÇÃO

Produtos anti-incrustantes são utilizados desde os tempos antigos, quando substâncias naturais, como cera, piche e betume, eram utilizadas para revestimento de embarcações de madeira (MARTINS; VARGAS, 2013).

Na recente história do combate a bioincrustação na indústria naval, é fundamental relacionar eficiência e conservação ambiental. Na década de 60, foram introduzidas tintas anti-incrustantes que possuíam em sua formulação química os compostos organoestânicos, isso é, baseadas na associação de átomos de carbono com estanho (KUGLER, 2014). Estes materiais permitiam a obtenção de superfícies extremamente lisas durante a navegação, melhorando sua hidrodinâmica e conseqüentemente diminuindo o consumo de combustível. Com a liberação do biocida de estanho praticamente constante com o tempo, era possível calcular o tempo de docagem do navio para sua repintura (YEBRA; KIIL; DAM-JOHANSEN, 2004).

Os biocidas mais comuns em tintas eram o tributilestanho (TBT) e trifenilestanho (TPT), com o primeiro sendo o mais utilizado (MARTINS; VARGAS, 2013). Devido sua grande eficácia como anti-incrustante, seu uso aumentou drasticamente nas décadas seguintes de seu desenvolvimento. Durante os anos 90 o consumo mundial destes produtos havia aumentado de 1.500 para 50.000 toneladas por ano (SANTALLA, 2008; MARTINS; VARGAS, 2013). Entretanto, em 1982 na França cultivadores de moluscos notaram que tintas anti-incrustantes a base de TBT causavam sérios danos nos seus cultivos. Atualmente é conhecido que o TBT foi uma das substâncias mais tóxicas já produzidas por humanos e introduzida no meio ambiente (KUGLER, 2014). Estes compósitos organoestânicos, são considerados uma ameaça a vida marinha em regiões com alto tráfego de navios e podem afetar o sistema endócrino em invertebrados. Para algumas espécies de gastrópodes (uma classe de moluscos), pequenas concentrações de TBT podem gerar alteração de sexo irreversíveis nas fêmeas (*imposex*), levando ao declínio da população ou até a extinção (MARTINS; VARGAS, 2013; Horiguchi et al., 2006).

Apesar do forte apelo ambiental para a diminuição do uso destas tintas, nos anos 90 já era estimado que 70% da frota mundial de navios possuía revestimentos com TBT (YEBRA; KIIL; DAM-JOHANSEN, 2004). Em 2001, a Organização Marítima Internacional (IMO) aprovou em uma convenção, em que 170 países concordaram, que o uso de TBT em tintas anti-incrustantes seria proibido, passando em 2008 a vigorar o banimento integral (KUGLER, 2014).

Desde a proibição do TBT, há uma busca por um novo revestimento para a indústria naval que possua uma eficiência anti-incrustante equivalente. Existem atualmente inúmeras

técnicas e revestimentos visando a diminuição do fenômeno de bioincrustação em estruturas feitas pelo homem. Com o avanço nos estudos na área de revestimentos, houve um aperfeiçoamento para o fundo das embarcações, visando estender seu tempo de permanência em serviço e redução no consumo de combustível (MICHELS, 2014).

Tradicionalmente os revestimentos (tintas), utilizados na indústria naval, são separados em 3 principais categorias: Anti-Incrustantes (AI), Anti-Adesão (AA) e Revestimento Inertes e Duros (RID) (HYDREX, 2011).

As tintas AI são as mais comuns, e de uso mais geral, apresentando biocidas em sua constituição. Estas tintas liberam cobre e outros biocidas tóxicos na água, com o intuito de matar os organismos que se incrustaram no fundo do casco de embarcações. Esta liberação de biocidas é gradativa e dura por um período de 3 a 5 anos, após este, a tinta torna-se ineficaz, sendo necessária a repintura. Seu funcionamento é similar ao dos revestimentos a base de TBT, entretanto, utilizando com biocidas diferentes e menos agressivos ao meio ambientes (HYDREX, 2011).

Revestimentos que estão se tornando mais comuns em embarcações são as tintas AA. Elas atuam com o princípio de dificultar a incrustação de organismos e de facilitar sua remoção, “lavando” o casco quando a embarcação se encontra em operação (atingindo maiores velocidades). A maioria das tintas nesta categoria são a base de silicone, diminuindo a rugosidade superficial, tornando a superfície “ultra lisa”. Estas tintas não liberam biocidas no ambiente, realizando a remoção dos organismos incrustantes fisicamente, não quimicamente. Entretanto, algumas destas tintas com base de silicone liberam um óleo, que facilita a remoção de organismos incrustados durante os períodos de inatividade da embarcação, agredindo o ambiente. Em comparação as tintas AI, as AA possuem uma vida útil menor e podem custar mais, mas apresentam superfícies menos rugosa (menos gasto com combustível) e causa menos danos ao meio ambiente. Tintas AI recomendadas para embarcações mais velozes ( $\geq 22$  nós) como lanchas por exemplo (MARTINS; VARGAS, 2013, HYDREX, 2011).

Outra categoria de tintas são as RID, estas não liberam biocidas, não são tóxicas e são mais resistentes que as demais. São recomendadas para localidades onde a bioincrustação não é um problema (regiões nórdicas e nos polos), ou será necessária uma rotina de limpeza para manter o casco limpo e eficiente (em relação a sua hidrodinâmica). Por este motivo, estas tintas são mais duras que as AI e AA, possibilitando manter uma rotina de limpeza mais agressiva no casco sem que a danifique. Estas tintas possuem geralmente base de epóxi, poliéster ou vinil-éster, podendo serem reforçadas com fibra de vidro. Diferente das tintas AA e AI, não há

liberação de nenhum poluente na água, sendo a RID a tinta menos danosa ao meio ambiente (HYDREX, 2011).

## 2.5 AMBIENTES MARINHOS ESTUDADOS

Na sessão anterior, fez-se uma breve descrição dos principais fatores que afetam o processo de bioincrustação: temperatura, salinidade, pH, concentração de nutrientes, luminosidade, oxigênio dissolvido, ruído, velocidade do fluido e substrato. No presente estudo, tais parâmetros foram investigados e monitorados, em dois diferentes ambientes reais, para que pudessem ser reproduzidos em reservatório laboratorial. Os dois ambientes escolhidos foram a região portuária do Porto de Itajaí e os arredores da Praia do Sambaqui (Florianópolis). A escolha deu-se principalmente por questões de facilidade de acesso e proximidade com a região de Joinville, favorecendo a comparação dos resultados. Na sequência é apresentada uma breve descrição de cada uma das regiões escolhidas.

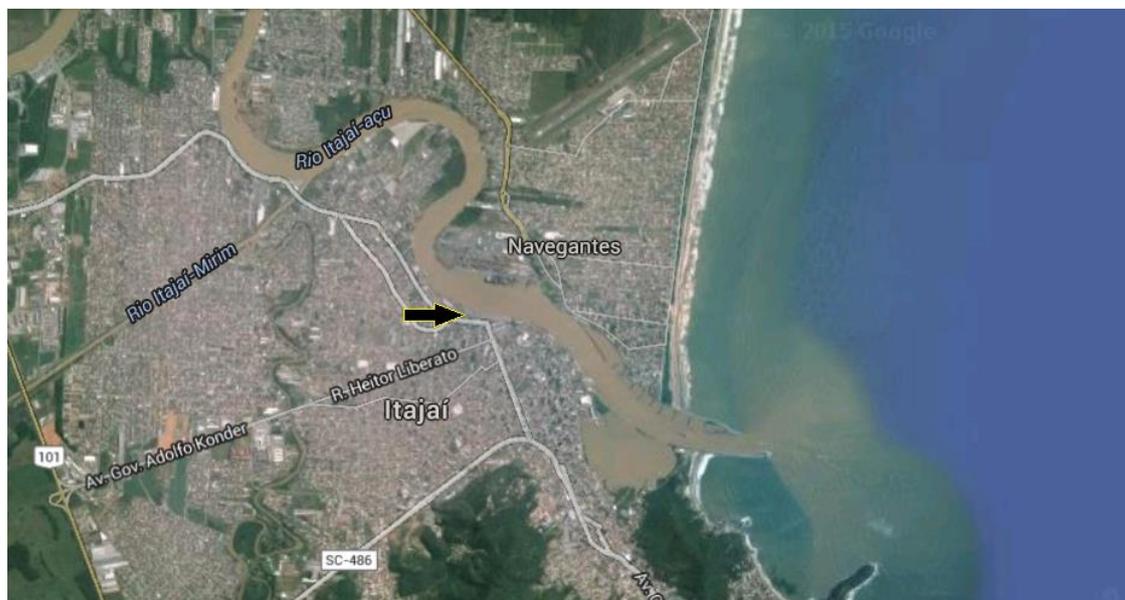
### 2.5.1 Porto de Itajaí

O Porto de Itajaí está localizado à margem direita do Rio Itajaí-Açú (26 °54,2'S e 48°39,4'), no estado de Santa Catarina, podendo ser esquematicamente visualizado na Figura 15. Este complexo portuário é considerado de fundamental importância para o comércio exterior de Santa Catarina e do Brasil, transformando a cidade de Itajaí em um importante centro econômico (ROSA, 2012). Estas águas foram escolhidas por apresentar um grande trânsito de navios comerciantes e de cruzeiro, sendo que somente no ano de 2014 foram contabilizados, pela autoridade portuária do Porto de Itajaí, 970 navios que atracaram no porto. Os números de movimentação de carga também são altos, cerca de 12.43 milhões de toneladas em cargas importadas e exportadas no mesmo ano. Com movimentação que chegaram a 1 milhão de containers (TEUs – *Twenty-foot Equivalent Unit*) em 2014, o Porto de Itajaí foi classificado como segundo maior em movimentações de contêineres do Brasil (PORTO DE ITAJAÍ, 2015).

É importante também ressaltar o tempo de estadia destes navios no estuário do Rio Itajaí-Açu, uma vez que este tempo determina o quanto estas águas influenciam na formação da bioincrustação no casco destas embarcações. A Tabela 5 nos possibilita a visualização do tempo médio de permanência de embarcações. Com estes dados, é possível observar que as embarcações que atracam neste porto permanecem por um tempo considerável em fila e em operação, em um período de 37,1 horas em média para o Porto de Itajaí (ANTAQ, 2015). Este

tempo de permanência nos portos é suficiente para crescimento de um biofilme superficial e de adesão de microrganismos e bactérias no casco das embarcações (GAMA; C.PEREIRA; COUTINHO, 2009).

Figura 15: Localização do Porto de Itajaí.



Fonte: Alterado do Google Maps.

Tabela 5: Tempos médios de estadia de embarcações no Porto de Itajaí.

Tempos Médios (h)	
Atracado	13,9
Espera p/ Atracação	8,4
Espera p/ Início de Operação	1
Operação	11
Desatracação	2,8
Estadia total	37,1

Fonte: ANTAQ (2015)

### 2.5.2 Praia do Sambaqui -Florianópolis

A Praia do Sambaqui, situada na Baía Norte de Florianópolis ( $27^{\circ}29'18,65''S$  e  $48^{\circ}32'17,96''W$ ), como apresentado de forma esquemática na Figura 16, não foi escolhida pelo seu grande tráfego de navios e sim por apresentar águas costeiras de Florianópolis, onde há várias comunidades pesqueiras. Estas embarcações pesqueiras, principalmente as de pesca amadora e artesanal, ficam atracadas por um bom período nas praias, dando margem para que

o fenômeno de bioincrustação se desenvolva no casco. Além disto, estas embarcações também não possuem um revestimento tão eficaz contra a adesão de microrganismos nas superfícies do casco, assim acelerando o processo de bioincrustação.

Figura 16: Localização da Praia de Sambaqui (seta) na Baía Norte, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil ( $27^{\circ}29'18,65''S$  e  $48^{\circ}32'17,96''W$ ).



Fonte: Alterado do Google Maps.

A alocação do Departamento de Aquicultura do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), situado na Praia de Sambaqui, foi outro fator determinante para a escolha deste local. Este departamento é responsável pela Fazenda Experimental de Cultivo de Moluscos Marinhos (LMM). Nesta área de cultivo e estudos foram alocadas amostras desenvolvidas pelo grupo de pesquisa ao qual o autor é integrante para análises de bioincrustação. Assim, para que futuramente seja possível comparar os resultados obtidos em ambiente marinho com os verificados em laboratórios, é importante que possamos simular no reservatório as reais condições das águas da Praia de Sambaqui.

Neste departamento de aquicultura, problemas relacionados com o fenômeno de bioincrustação foram relatados. Em visita ao local, participamos do recolhimento da rede de

uma das boias da fazenda para limpeza dos moluscos. Após um mês submersa, estas redes e moluscos requerem limpeza pela grande quantidade de incrustação formada, já que não há a utilização de revestimentos anti-incrustantes. A rede apresentando o processo de bioincrustação pode ser visualizada na Figura 17.

Figura 17: Rede de cultivo de moluscos apresentando bioincrustação.



Fonte: Autor (2014)

### 3. METODOLOGIA

O presente trabalho de conclusão de curso consiste basicamente na realização de um levantamento dos principais parâmetros físico-químicos que contribuem para o processo bioincrustação em estruturas navais e na indicação de como os mesmos poderão ser simulados em um reservatório de testes em laboratório, possibilitando que estudos na área de bioincrustação possam ser conduzidos de forma controlada e segura. Além disso, estudos, por exemplo, de processos de biocorrosão ou outros efeitos marinhos em estruturas navais podem ser estudados neste tipo de ambiente. Na sequência estão apresentadas as metodologias empregadas para o desenvolvimento do presente trabalho.

#### 3.1 LEVANTAMENTO DOS PARÂMETROS

Inicialmente, neste trabalho, foi realizado um levantamento de dados sobre o fenômeno de bioincrustação. Este levantamento foi realizado por meio de pesquisa bibliográfica em artigos, livros e teses neste campo de estudo, os buscaram dar embasamento teórico sobre a formação, os danos causados e os parâmetros que influenciam no desenvolvimento da camada bioincrustante. A partir destes dados, foi possível compreender a importância da bioincrustação no cotidiano humano e permitir selecionar os parâmetros físico-químicos do ambiente aquático que mais influenciam no desenvolvimento da bioincrustação.

Esta seleção dos parâmetros é de fundamental importância para o trabalho pois é por meio dela que será possível relacionar os principais equipamentos que serão utilizados para controle da atmosfera marinha no reservatório de testes que se deseja propor com o desenvolvimento deste trabalho.

#### 3.2 MONITORAMENTOS

O presente trabalho de conclusão de curso objetiva dar continuidade aos estudos relacionados a construção de um reservatório de testes voltado ao estudo dos fenômenos de bioincrustação. No sentido de favorecer uma maior similaridade entre os parâmetros físicos do reservatório e do ambiente marinho foi necessário, primeiramente, avaliar os principais

fatores que influem no processo de bioincrustação e o quanto eles afetam no desenvolvimento deste complexo fenômeno.

Como mencionado anteriormente, os dados para a realização do presente trabalho foram obtidos do estuário do Porto de Itajaí e da praia do Sambaqui, Florianópolis. Os ambientes que margeiam o Porto são importantes, principalmente o canal que liga o Porto ao mar, tornando-se constante alvo de estudos, a fim de controlar a emissão de poluentes. Assim como as águas da praia de Sambaqui, que representam as águas do litoral de Florianópolis, por apresentar grande quantidade de barcos de pesca artesanal provenientes de comunidades pesqueiras e de fazendas de maricultura.

A investigação dos parâmetros analisados foi realizada através de métodos distintos para as duas regiões estudadas. Para as águas do Porto de Itajaí, os dados foram obtidos por meio de uma parceria com o próprio porto, uma vez que o setor ambiental do porto mantém um rigoroso controle ambiental das águas, do ar e ruídos produzidos pelo porto e embarcações. Então para controlar os níveis de poluentes neste ambiente portuário, são realizados monitoramentos mensais em diversos pontos do estuário. Com estes monitoramentos foi possível selecionar áreas relevantes e adquirir os parâmetros selecionados para cada mês do ano nestas áreas.

Já para as águas da praia do Sambaqui, os monitoramentos das águas são feitos periodicamente pela Empresa de Pesca e Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), a qual forneceu os dados de alguns parâmetros selecionados no levantamento. Para completar os dados da EPAGRI foram explorados artigos e outras fontes bibliográficas, que apresentavam a praia do Sambaqui como foco de estudo, a fim de encontrar os parâmetros faltantes.

Nos monitoramentos realizados tanto no Porto de Itajaí como também na EPAGRI, foram selecionados diferentes pontos de coleta, sendo quatro para o porto e três para a Praia do Sambaqui em um período de análise de um ano. De forma a comparar os resultados dos parâmetros obtidos em cada um dos ambientes estudados, realizou-se uma média dos valores obtidos para cada parâmetro estudado em cada ponto de coleta.

### 3.3 ESPECIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS PARA O RESERVATÓRIO DE TESTES

Para a otimização do reservatório de testes, voltado à estudos de bioincrustação, é necessária a análise dos monitoramentos adquiridos e pesquisados, para então encontrar as faixas de operação de cada parâmetro. Com estas faixas estabelecidas para cada um dos

ambientes, foram selecionados equipamentos que nos possibilitam simular estas faixas de valores no tanque e também equipamentos ou sensores que monitorem estes parâmetros.

Com a escolha correta de equipamentos pretende-se favorecer a reprodução de ambientes marinhos, para que experimentos voltados a área de bioincrustação e biocorrosão, por exemplo, possam ser realizados com uma maior precisão e segurança, permitindo, por exemplo, que estudos com isolamento de parâmetros possam ser realizados.

### 3.4 ENTREVISTA COM OS RESPONSÁVEIS PELOS MONITORAMENTOS

Para uma melhor compreensão dos problemas relacionados com o tema em estudo, realizou-se entrevistas com pessoas que lidam, por meio de estudos de campo e monitoramentos, com ambientes que apresentam evidências de bioincrustação marinha. Estas entrevistas visaram avaliar percepções dos entrevistados referentes a dimensão do problema e a importância de estudos realizados em laboratórios para desenvolvimento de novos revestimentos e soluções para a área de bioincrustação. As entrevistas foram conduzidas por meio de questionários entregues aos entrevistados e os resultados possibilitarão nortear a linha de pesquisa atualmente nucleada e em andamento no CEM, bem como justificar a realização do presente trabalho.

No questionário elaborado, é apresentada a indicação de problemas relacionados com a bioincrustação e como é realizado o combate deste fenômeno nas respectivas áreas de atuação de cada entrevistado. Foi também questionado, na percepção do entrevistado, quais as vantagens que o mesmo verifica em se realizar estudos laboratoriais que simulem ambientes marinhos e, neste contexto, a importância de desenvolver revestimentos e materiais mais eficientes no combate da bioincrustação. Além disso, questionou-se ainda quais ambientes e períodos do ano, observaram que o processo de bioincrustação era mais pronunciado totalizando 5 perguntas. O questionário na íntegra é apresentado no APÊNDICE 1.

As entrevistas foram realizadas com o Sr. Mauricio Angelo Giacomolli, estagiário a mais de 17 meses na gerencia do meio ambiente do Porto de Itajaí e com o Prof. Dr. Marcos Caivano Pedroso de Albuquerque, do Departamento de Aquicultura CCA da Universidade Federal de Santa Catarina, que possui grande experiência na fazenda de maricultura da UFSC localizada na praia do Sambaqui.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os dados obtidos nos monitoramentos das águas do Porto de Itajaí e da praia do Sambaqui, seguido pela análise e comparação destes entre pontos de monitoramento e entre os dois ambientes. A partir destes dados, são apresentadas as faixas de operações para sete dos nove parâmetros selecionados como mais influentes (Temperatura, OD Salinidade, pH, Luminosidade, Quantidade de Nutrientes e Ruídos), que possibilitaram especificar os equipamentos apropriados para simular os dois ambientes em diferentes estações do ano.

### 4.1. Análise do Porto de Itajaí

Utilizando os monitoramentos provenientes do setor ambiental do Porto de Itajaí, é possível traçar os parâmetros que influenciam na bioincrustação em função do tempo, em meses. Tais gráficos permitem realizar uma comparação dos parâmetros para cada estação de coleta. O porto mantém um monitoramento mensal do estuário do Rio Itajaí-Açu, a fim de controlar o nível de poluentes liberados nas águas. Estes monitoramentos são divididos em diversos pontos entre a ponte da BR-101 até o mar onde o rio desemborca. Para este trabalho, foram selecionados quatro destes pontos de monitoramento. Estes pontos podem ser observados na Figura 18, onde o ponto #1 ( $26^{\circ}53'55.3''S$   $48^{\circ}40'01.1''O$ ) representa as águas em frente ao Porto de Itajaí; o ponto #2 ( $26^{\circ}54'30.6''S$   $48^{\circ}39'02.6''O$ ), águas próximas ao desemboque do Rio Itajaí-Açu no mar; o ponto #3 ( $26^{\circ}53'36.0''S$   $48^{\circ}35'35.0''W$ ), representando a porção do mar influente pelo Rio Itajaí-Açu e o ponto #4 ( $26^{\circ}54'30.1''S$   $48^{\circ}32'30.1''O$ ), representando a parcela do mar menos influente pelo desemboque do rio.

A avaliação em diferentes pontos, como apresentado na Figura 18, permite analisar as diferentes condições do ambiente marinho e possibilita um estudo mais aprofundado da influência do efeito das condições ambientais no processo de bioincrustação.

Para uma melhor organização dos dados, os valores dos parâmetros são apresentados graficamente em função do tempo, dados em meses, para cada ponto de monitoramento.

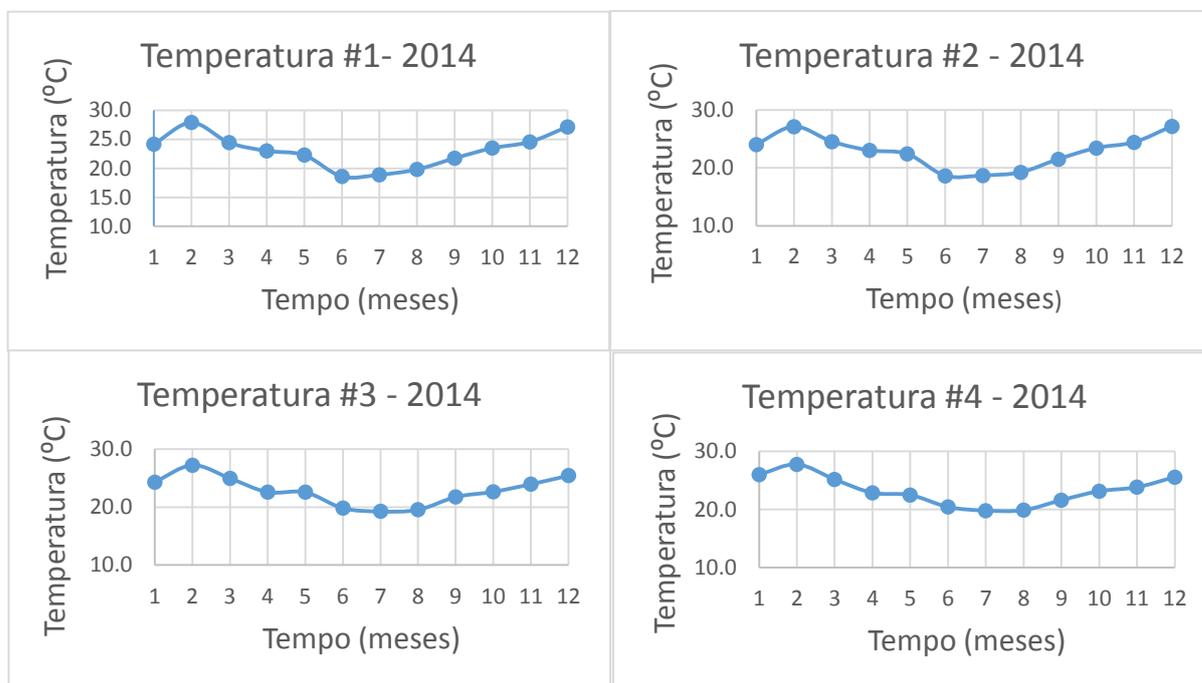
Figura 18: Pontos monitorados pelo Porto de Itajaí.



Fonte: Alterado de Google Maps.

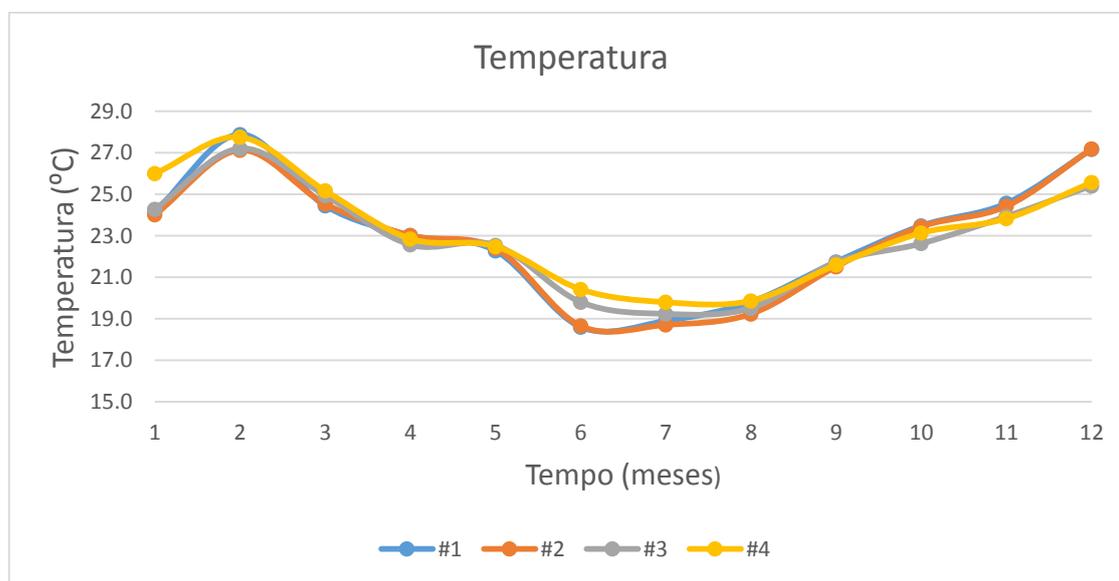
Inicialmente é apresentada a relação da temperatura em função do tempo, a qual expõe uma alta variação entre os meses pelo fato da temperatura do ar cair significativamente do verão para o inverno, como pode-se observar nos quatro pontos de coleta podem ser visualizados na Figura 19. A partir destes gráficos é possível observar a variação da temperatura das águas próximas ao Porto de Itajaí em função dos meses do ano. Os meses de inverno (junho, julho e agosto) apresentaram temperaturas abaixo dos 20°C e no verão (dezembro, janeiro e fevereiro) evidencia-se temperaturas médias acima de 25°C. Com exceção de janeiro, que pode ter sido monitorado em um dia termicamente atípico em relação ao mês. Estes dados são de primordial importância, visto que pequenas variações na temperatura podem resultar em um aumento significativo na taxa de crescimento da bioincrustação, como visto na seção 2.2.1.1. A Figura 20 apresenta um gráfico comparativo dos valores de temperatura entre pontos de monitoramento, sendo que com este gráfico, pode-se afirmar que as temperaturas entre os quatro pontos de monitoramento não apresentaram grande variação.

Figura 19: Valores mensais das temperaturas registradas nos quatro pontos de coleta no ano de 2014.



Fonte: Autor (2015).

Figura 20: Comparação dos valores de temperaturas mensais entre os pontos de coleta.

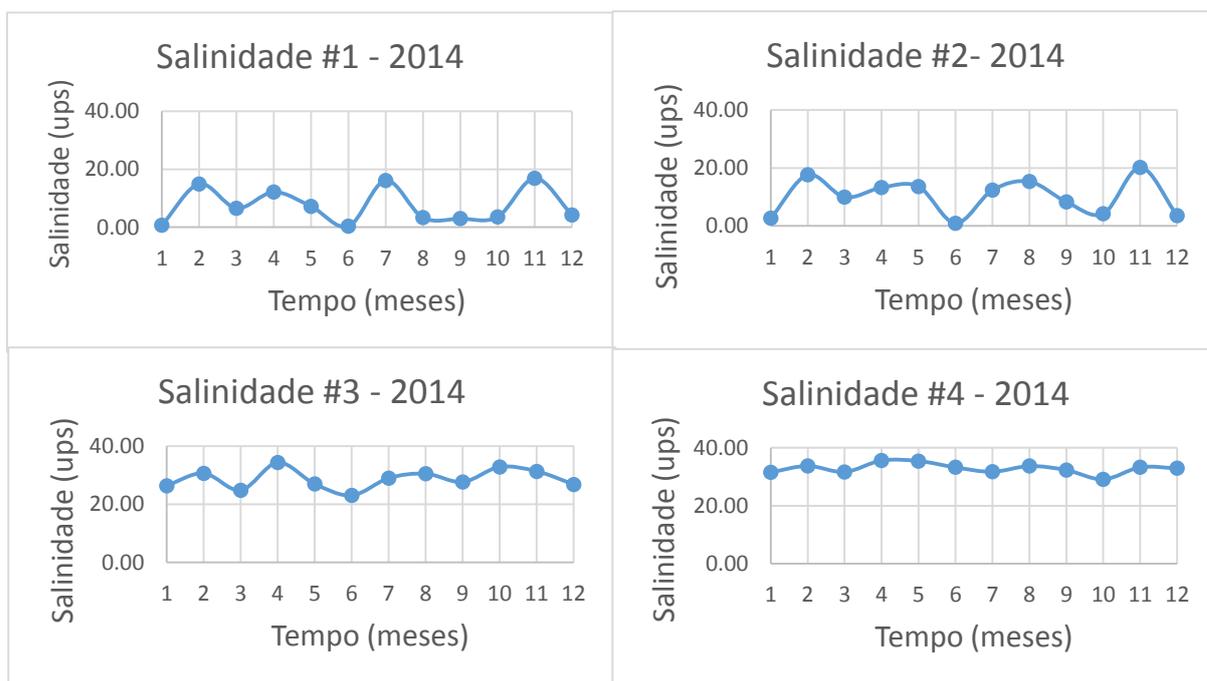


Fonte: Autor (2015).

Outro parâmetro importante é a salinidade, que segundo Lay, Lio e Fane (2010) controla juntamente com a temperatura as concentrações de OD na água, ou seja, menores temperaturas e níveis de salinidade resultam em mais OD na água, o que prejudica o

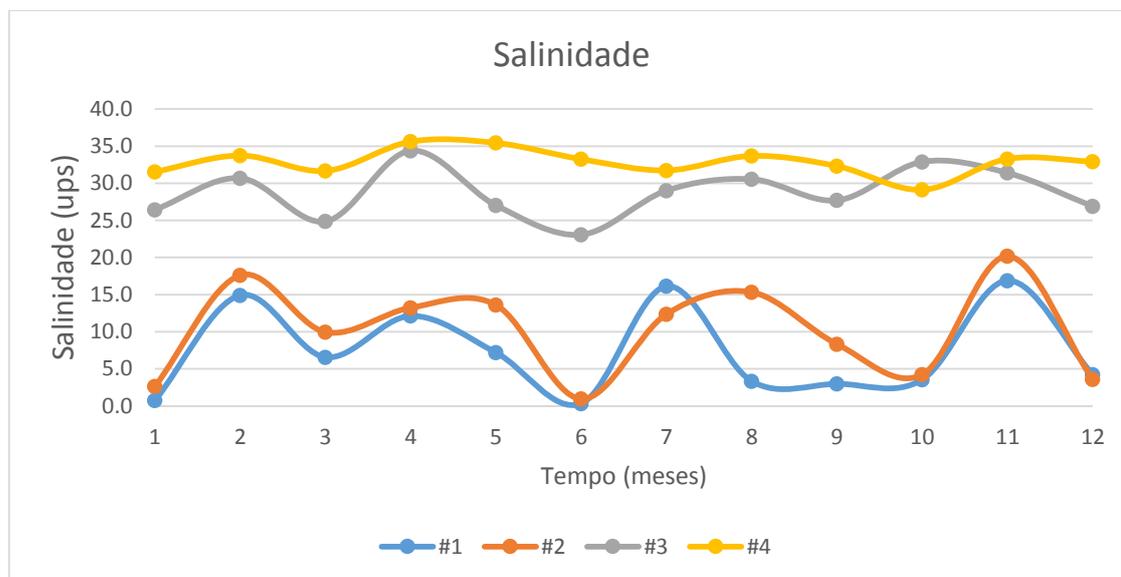
desenvolvimento de bioincrustação (GAO et al. 2011). Sua variação em relação aos meses do ano de 2014 para os 4 pontos de monitoramento podem ser visualizadas na Figura 21. É possível verificar uma grande diferença entre os valores de cada ponto monitorado, quanto maior a distância do porto maiores são os valores de salinidade encontrados, isto ocorre pela influência do Rio Itajaí-Açu. Nos pontos #1 e #2 há uma variação notável entre os meses, de 0 a 20 ups. Isto se deve principalmente devido as condições de chuva nas semanas antecedentes aos monitoramentos, as quais aumentam o fluxo do rio, diminuindo a entrada da água do mar nas águas monitoradas. Já para os pontos #3 e #4, os valores de salinidade são maiores e constantes durante o ano, no entanto, ainda é possível notar a influência das águas fluviais do Itajaí-Açu, fazendo com que a salinidade varie entre 25 e 35 ups. A Figura 22 apresenta os dados de salinidade obtidos nas quatro regiões, deixando mais evidente esta diferença entre pontos próximos ao porto e os localizados no mar.

Figura 21: Valores mensais das salinidades registradas nos quatro pontos de coleta no ano de 2014.



Fonte: Autor (2015).

Figura 22: Comparação dos valores de salinidade mensais entre os pontos de coleta.

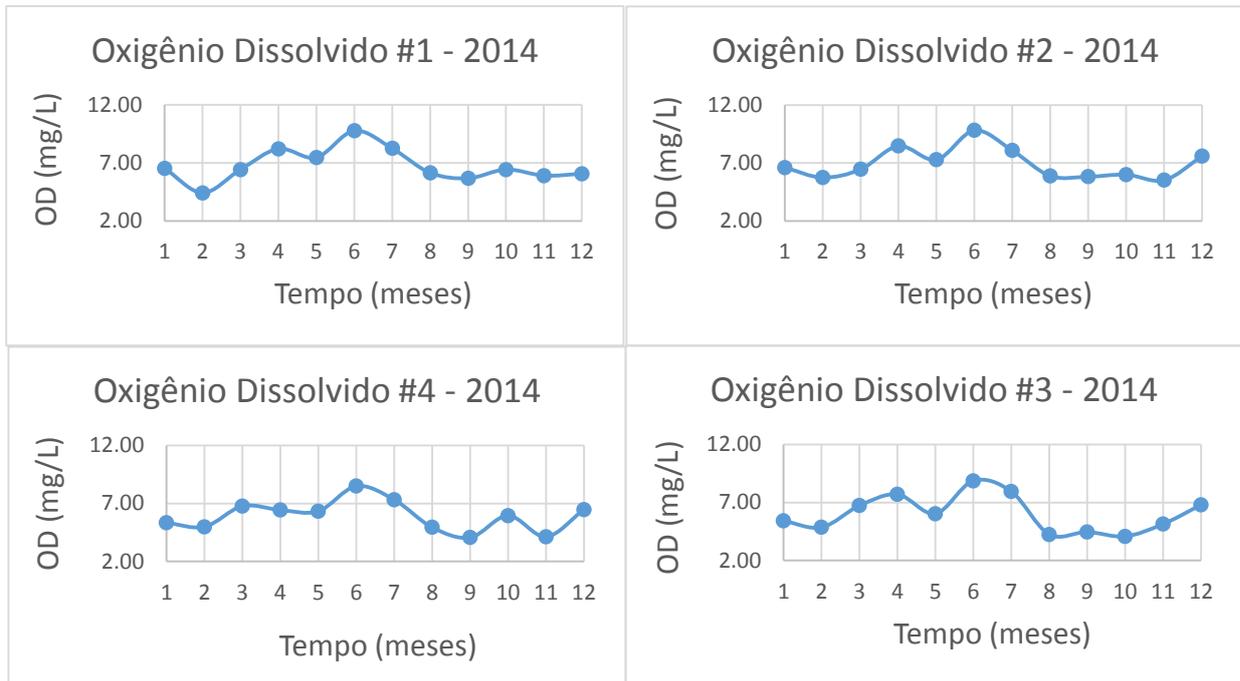


Fonte: Autor (2015).

Estudos evidenciam que o processo de bioincrustação está fortemente relacionado com o nível de OD, controlando o tipo de microrganismos que estará mais presente na camada bioincrustante, por exemplo, altos níveis de OD favorecem a adesão de algas e diátomos e em baixos níveis larvas tentem a se aderir mais nas superfícies, os quais produzem maiores quantidades de MPE (AZIS; AL-TISAN; SASIKUMAR, 2000; GAO et al., 2011).

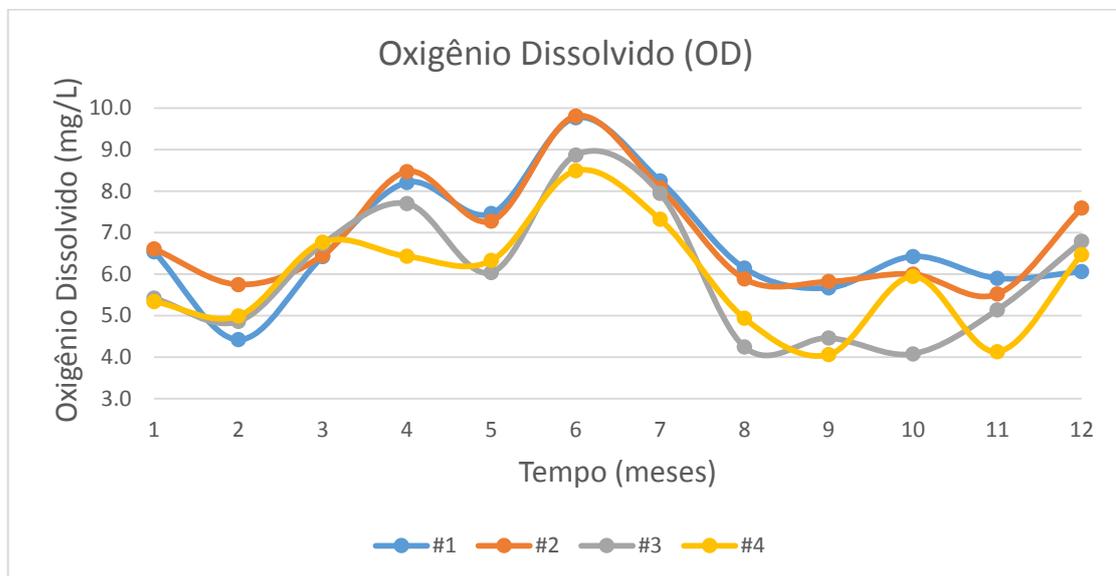
No monitoramento realizado, verificou-se níveis de OD em função do tempo, os quais podem ser observados na Figura 23. Nos quatro pontos de monitoramento é observado os maiores valores de OD nos meses de abril, maio, junho e julho; com o pico dos valores sendo em junho e julho (meses mais frios do ano), exceto no ponto 2. Na Figura 24 é possível comparar os valores mensais de OD entre os quatro pontos de monitoramento, deste modo, nota-se uma discrepância entre os monitoramentos feitos em mar (#3 e #4) e em rio (#1 e #2). Os monitoramentos realizados nos pontos #1 e #2 apresentaram maiores valores de OD em quase todos os meses. Isto pode ser explicado observando-se a Figura 11, na qual se evidencia que quanto mais quentes e salinas as águas, menores serão os teores de OD. Por este motivo, encontramos o maior valor de OD no ponto #1 de monitoramento e no inverno (junho).

Figura 23: Valores mensais de OD registrados nos quatro pontos de coleta no ano de 2014.



Fonte: Autor (2015).

Figura 24: Comparação dos valores de OD mensais entre os pontos de coleta.



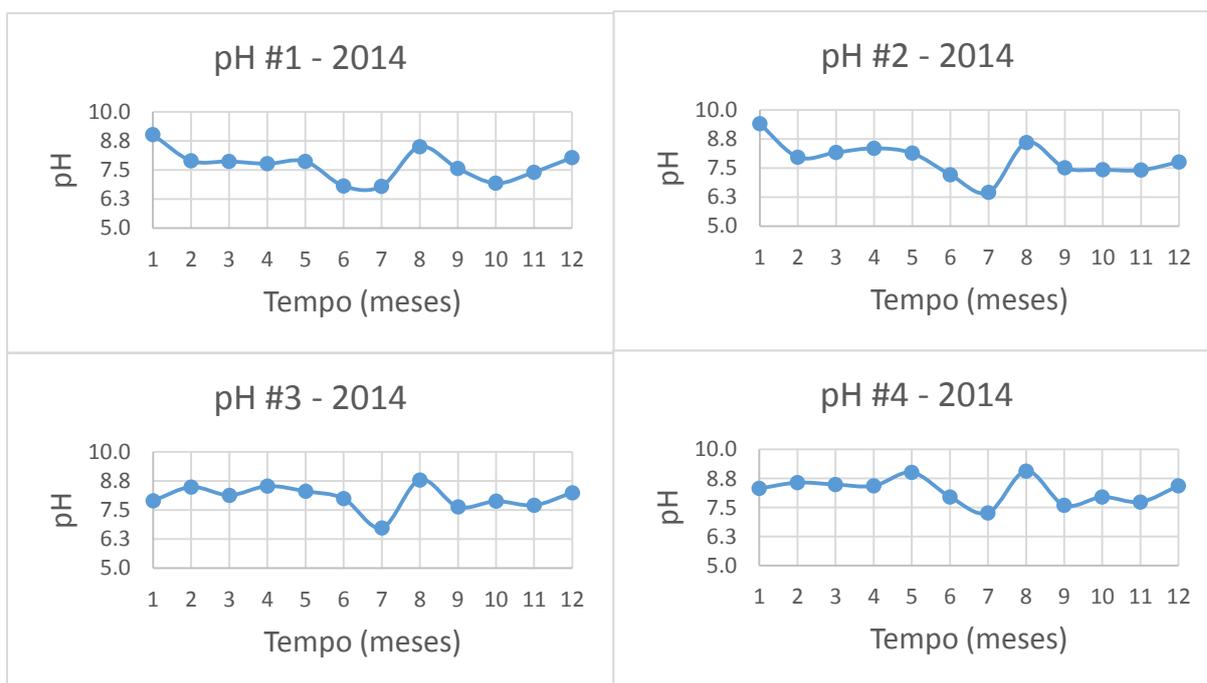
Fonte: Autor (2015).

Outro fator relevante para a formação do biofilme é o pH do meio. Bott (2011) realizou um experimento da taxa de crescimento do biofilme em função do pH. Neste experimento verificou que meios neutros (pH próximo a 7) são os mais favoráveis para o desenvolvimento da bioincrustação, seguido pelo meio alcalino (pH em torno de 8,5) com redução na taxa de

crescimento e por último os meios ácidos (pH abaixo de 6), onde a taxa de crescimento cai drasticamente.

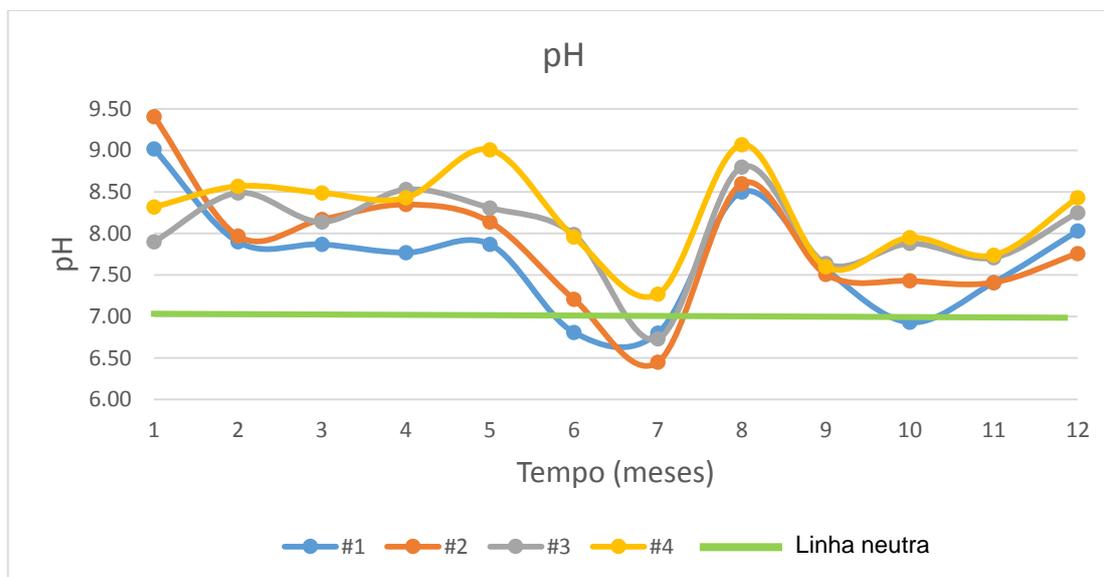
Neste contexto, fez-se neste estudo uma avaliação do comportamento de pH em função do tempo para os 4 pontos de monitoramento, como pode-se observar na Figura 25. Não é observado grande variação deste parâmetro nos pontos observados em função do tempo, com exceção do mês 8 (agosto) e 1 (janeiro), onde há picos anormais chegando próximos de 9. Nos pontos #1 e #2 de monitoramento também se observa um pico atípico no mês de janeiro, chegando a valores superiores a 9 na escala de pH. Na média, os valores mantiveram-se em torno de 6,5 e 8,5. Na Figura 26, é possível observar uma comparação dos monitoramentos dos quatro pontos. Nela é notável que os pontos apresentam valores de pH próximos entre si, sendo que o ponto 4 possui as águas mais alcalinas, que pode ser explicado pelo fato do ponto 4 também apresentar um nível de salinidade maior que as demais, podendo apresentar sais que alteram esta propriedade da água.

Figura 25: Valores mensais de pH registrados nos quatro pontos de coleta no ano de 2014.



Fonte: Autor (2015).

Figura 26: Comparação dos valores de pH mensais entre os pontos de coleta.

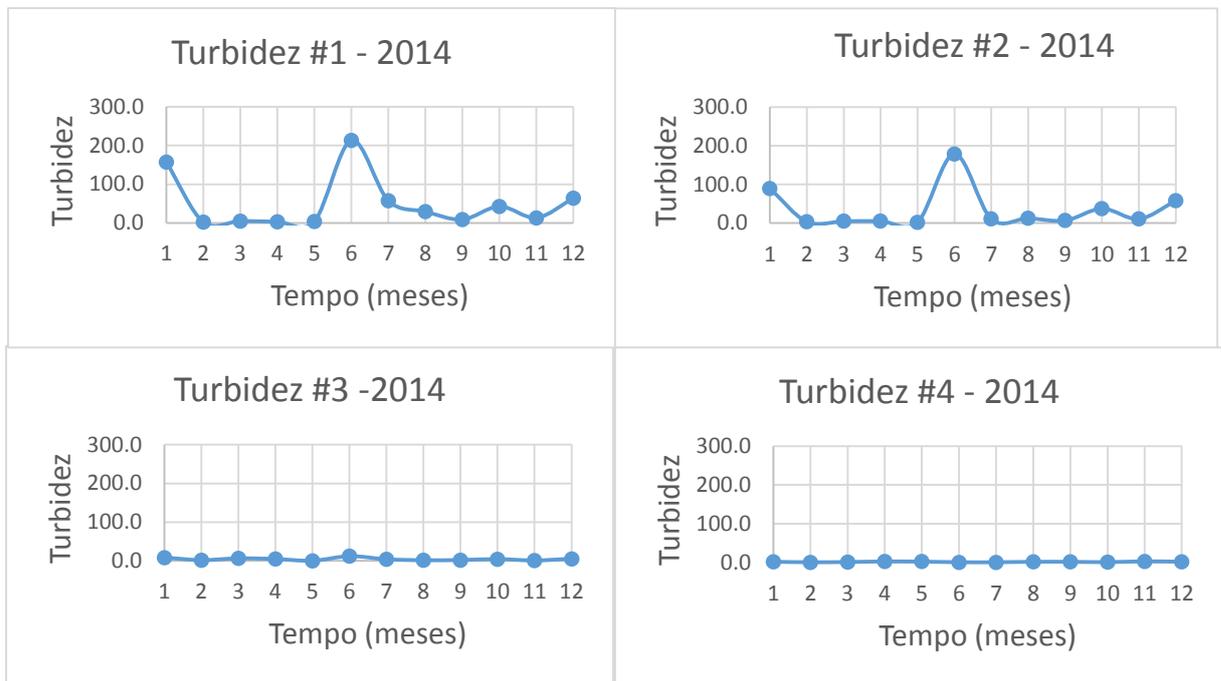


Fonte: Autor (2015).

Destaca-se também a luminosidade como um dos principais parâmetros influentes na bioincrustação, este, similar ao OD, controla o tipo de organismo que estarão mais presentes na camada bioincrustante formada. Maiores exposições a luminosidade, menor níveis de incrustações e formado principalmente de algas são observados, e para locais mais sombreados o oposto, maiores níveis de incrustação e uma camada onde há maior presença microrganismos do que algas (LIN LI, 2013).

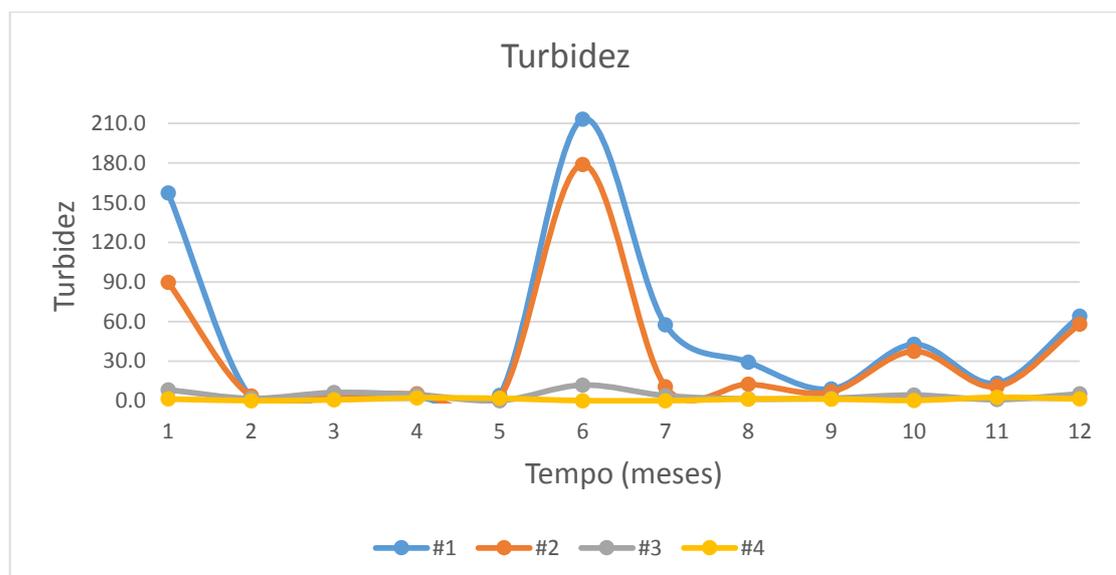
Para monitorar a luminosidade no ambiente marinho, foram utilizados dados dos monitoramentos de turbidez, fornecendo uma noção da diferença de luminosidade incidente nos primeiros metros de coluna de água para cada ponto de monitoramento. Neste sentido, realizou-se a avaliação da relação da turbidez com o tempo, nos pontos de análise, como pode ser visto na Figura 27. De acordo com a figura é possível notar que a ocorrência nos pontos #1 e #2 de alguns meses (janeiro, junho, julho, agosto, outubro e dezembro) de alta turbidez nas águas fluviais. Estes valores podem ter relação com a incidência de chuvas durante as semanas dos monitoramentos. Nos pontos #3 e #4 a turbidez diminui drasticamente, variando seus valores entre 0 e 12. Isto ocorre pelo fato da água do mar não apresentar tantos sedimentos provenientes do solo como as encontradas no rio Itajaí-Açu, é notável que o ponto #3 possui uma pequena influência do rio nos meses de janeiro, junho e dezembro. A Figura 28 facilita a comparação dos quatro pontos, mostrando a grande diferença entre as regiões do rio e os pontos localizados no mar.

Figura 27: Valores mensais de turbidez registrados nos quatro pontos de coleta no ano de 2014.



Fonte: Autor (2015).

Figura 28: Comparação dos valores de turbidez mensais entre os pontos de coleta.



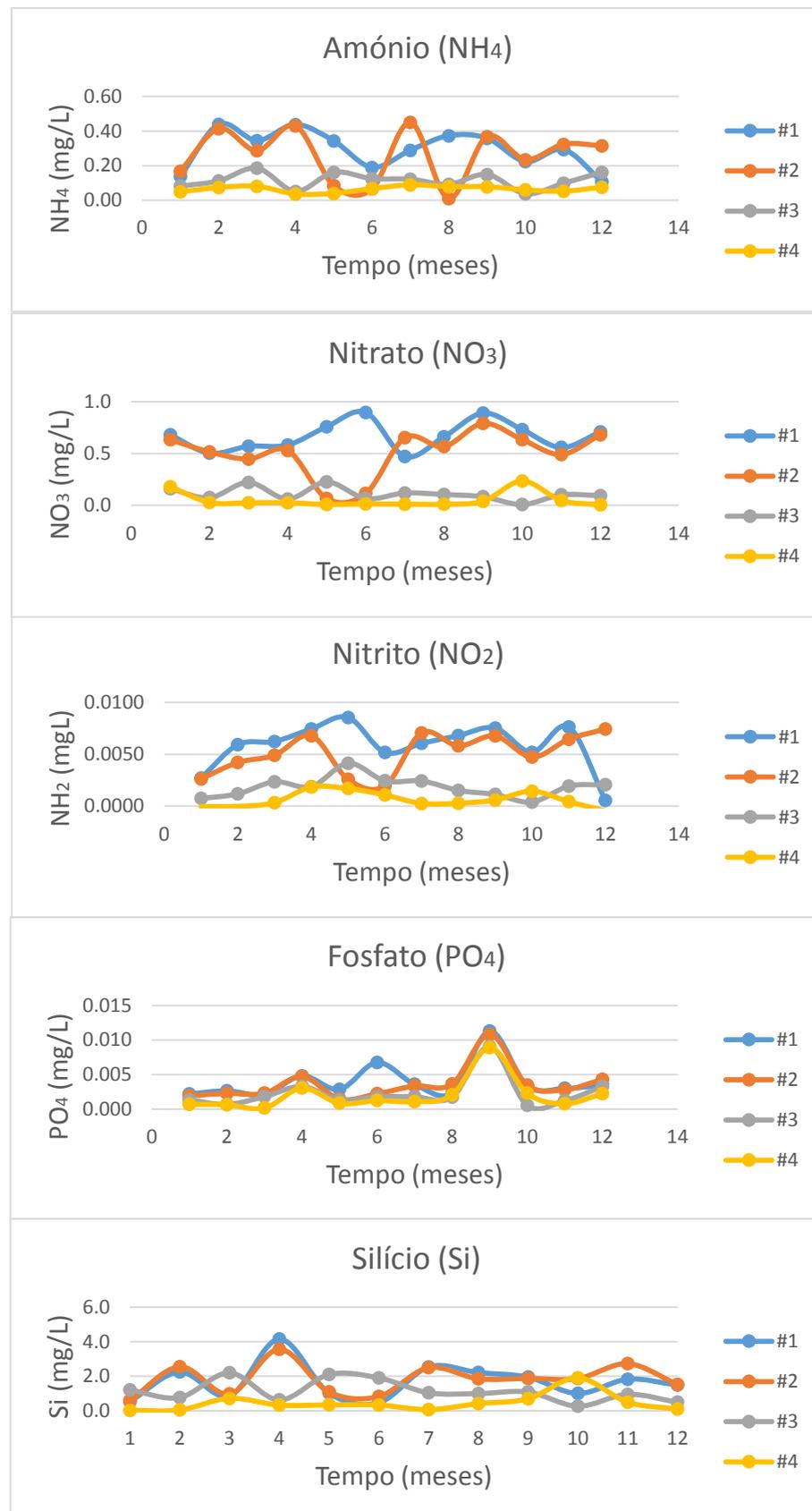
Fonte: Autor (2015).

Outro fator fundamental relacionado com a bioincrustação refere-se à existência de nutrientes na água. Tais elementos são dependentes do ambiente monitorado e influenciam diretamente na espécie incrustante.

Os nutrientes, compostos e elementos químicos monitorados na região do Porto de Itajaí foram: nitrito ( $\text{NO}_2$ ), nitrato ( $\text{NO}_3$ ), amônio ( $\text{NH}_4$ ), fosfato ( $\text{PO}_4$ ) e silício (Si). A relação de cada composto em função do tempo é apresentada na Figura 29. Pelos gráficos é possível avaliar o comportamento dos nutrientes para cada ponto de monitoramento durante o ano. No gráfico que relaciona o composto amônio há uma grande variação entre os meses nos pontos #1 e #2 (rio), oscilando de 0.45 mg/L a valores próximos a zero. Por outro lado, os pontos #3 e #4 (mar), os valores apresentam uma menor faixa de variação (0.19-0.05 mg/L). O nitrito ( $\text{NO}_2$ ) apresenta uma variação semelhante a encontrada nos valores de amônio, os pontos 1 e 2 exibem valores entre 0.009 e 0.0008 mg/L e os pontos #3 e #4 uma variação menor, de 0.004 a 0 mg/L. Para o nitrato ( $\text{NO}_3$ ), valores nos pontos #1 e #2 oscilam entre uma faixa menor de valores (0.9 a 0.47 mg/L), desconsiderando os meses de maio e junho monitorados no ponto 1 como anomalias; nos pontos 3 e 4 são encontrados faixas de valores baixos e menos variáveis, entre 0.23 e 0 mg/L. Os dados de fosfato ( $\text{PO}_4$ ) apresentam valores similares entre todos os pontos de monitoramento durante todo o ano, nos quais os meses de abril e setembro apresentam um pico nos valores em relação aos demais meses (0.005 e 0.01 mg/L respectivamente). O gráfico do silício é diferente dos demais pelo fato dos pontos #1, #2 e #3 apresentarem uma variação semelhante (2.5 e 0.5 mg/L), onde somente o mês de abril está fora desta faixa (4 mg/L). O ponto #4, apresentou uma faixa de valores de 0.7 a 0 mg/L, exceto o mês de outubro.

Pode-se observar avaliando todos os compostos e elementos monitorados, uma significativa diferença entre os valores encontrados nos pontos localizados no rio (#1 e #2) e os no mar (#3 e #4). Os valores encontrados nos pontos #1 e #2 são maiores na maioria dos monitoramentos, o que nos leva a entender que águas fluviais possuem maior quantidade de nutrientes dissolvido.

Figura 29: Comportamento dos nutrientes presentes nos pontos de monitoramento em função do tempo.

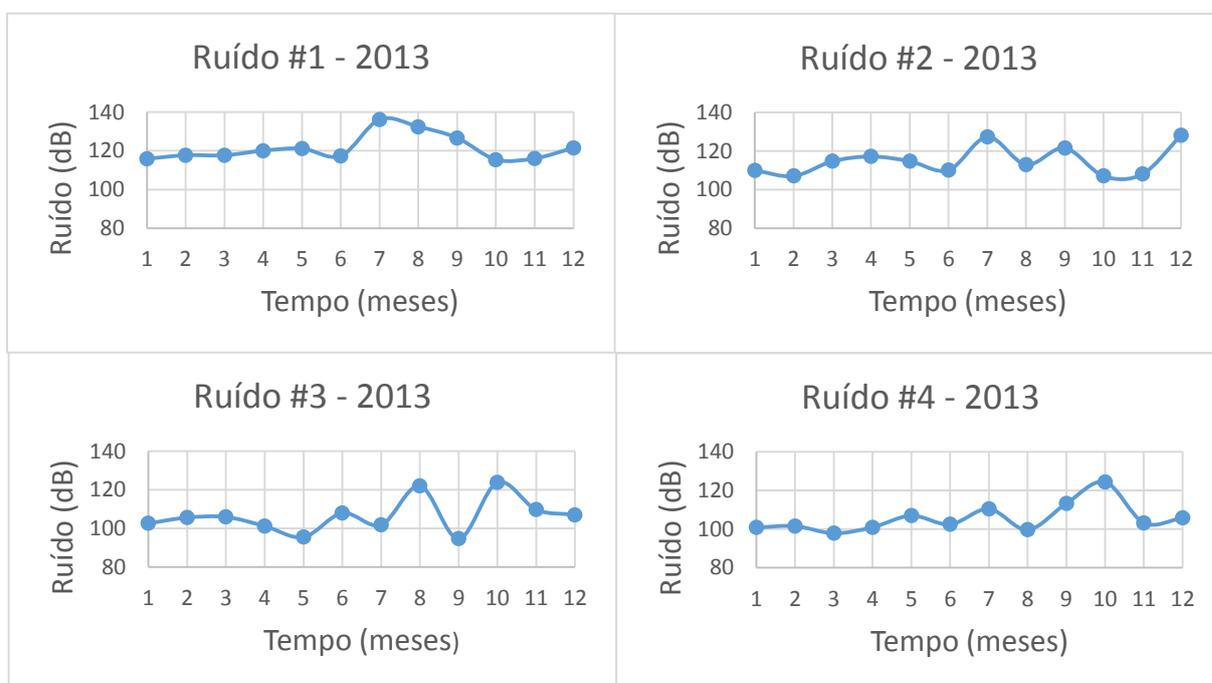


Fonte: Autor (2015).

Como citado na seção 2.2.1.3 do item Revisão bibliográfica o ruído é importante para o fenômeno de bioincrustação. Em experimentos realizados, onde dois tanques com microrganismos incrustantes foram analisados, um sem barulhos e o outro com ruído de embarcações gravados, o tanque com ruído apresentou uma taxa de adesão dos microrganismos maior (NIWA, 2012).

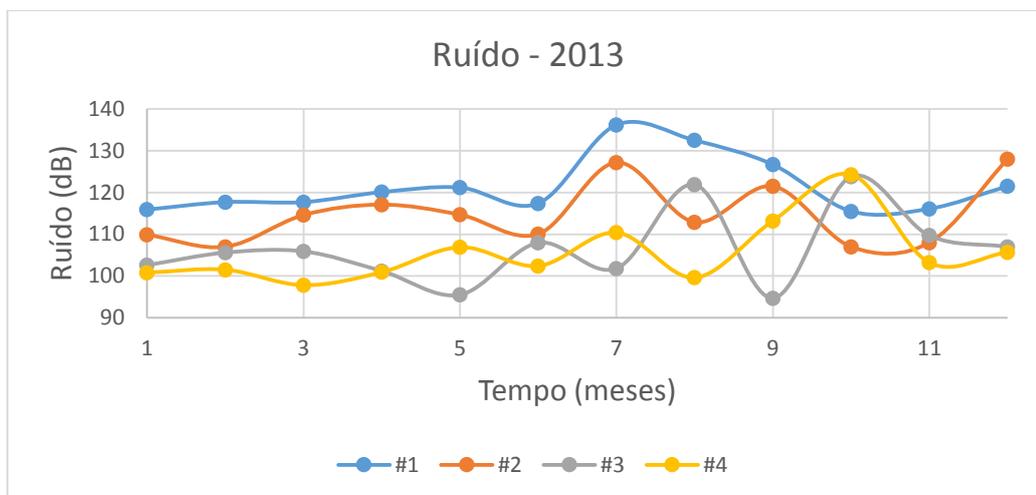
Utilizando dados de ruído monitorados mensalmente no ano de 2013, foram construídos gráficos com os valores em decibéis (dB) em função de cada mês do ano para cada ponto monitorado, como pode ser observado na Figura 30. É perceptível nos quatro pontos uma pequena variação nos valores de ruído dos seis primeiros meses do ano, algo que não se mantém nos outros seis meses, os quais apresentam maiores valores e variações. Isto pode estar relacionado ao aumento no trânsito de embarcações ou alguma obra de dragagem. Sobrepondo estes gráficos, é concebido o gráfico observado na Figura 31, no qual verifica-se a discrepância entre os valores obtidos nos monitoramentos realizados no ponto #1 (na altura do porto), onde os valores variam de 115 a 135 dB, em relação aos demais pontos. Devido aos maquinários presentes no porto para carga e descarga, mais o grande trânsito de embarcações, estes valores mais acentuados próximos ao porto eram esperados no ponto #1.

Figura 30: Valores mensais de ruído registrados nos quatro pontos de coleta no ano de 2013.



Fonte: Autor (2015).

Figura 31: Comparação dos valores de ruído mensais entre os pontos de coleta.



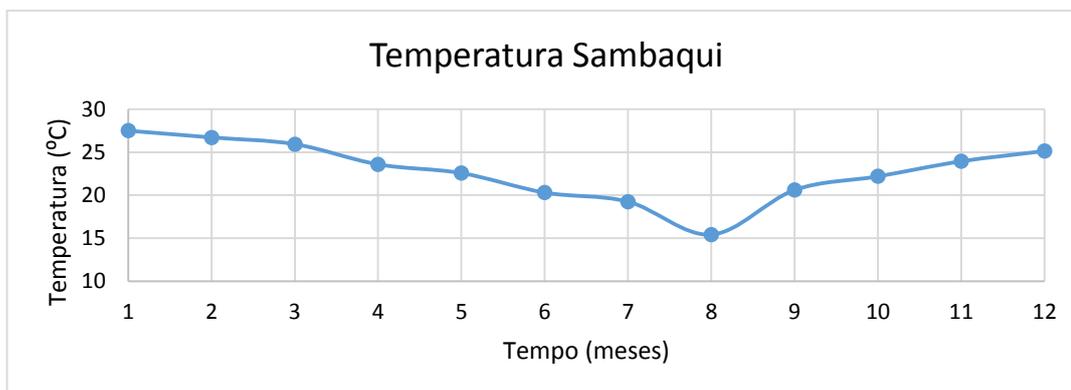
Fonte: Autor (2015).

#### 4.2 Praia do Sambaqui

Com os monitoramentos disponibilizados pela EPAGRI, entre os anos de 2014 e 2015, foi possível relacionar os dados anuais de temperatura e salinidade com valores medidos mensalmente na praia do Sambaqui. Os monitoramentos, destes dois parâmetros, são realizados periodicamente no litoral de Florianópolis, visando um controle ambiental, para impulsionar o avanço de pesquisas e trazer o desenvolvimento para o meio rural e pesqueiro da região.

A variação mensal da temperatura na praia do Sambaqui é apresentada na Figura 32. Nota-se uma queda constante nos valores de temperatura desde janeiro (mês mais quente) até agosto, que apresentou o menor valor (15,42 °C), em seguida um aumento gradativo na temperatura é observado até dezembro.

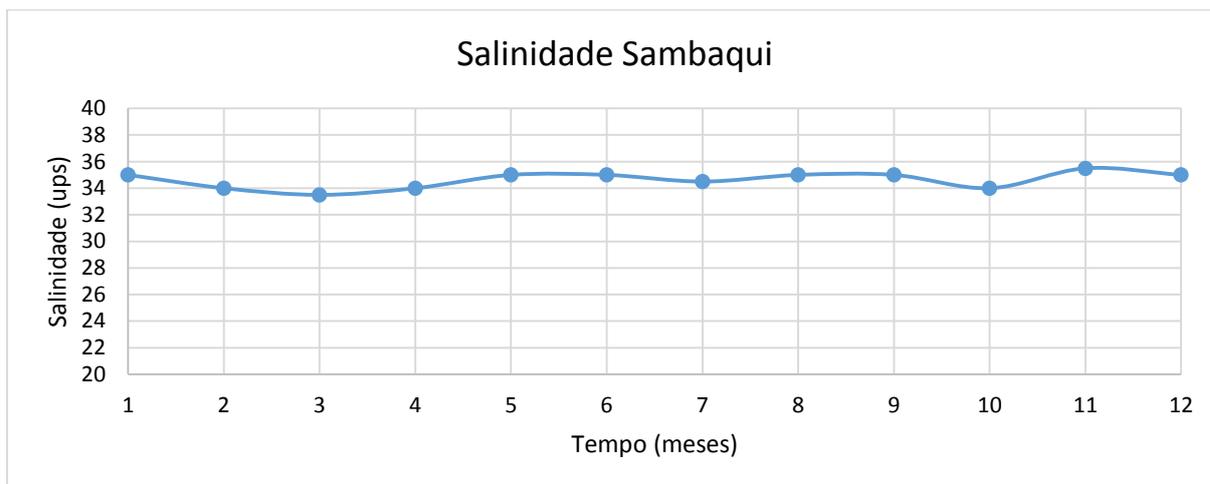
Figura 32: Valores mensais de temperatura registrados na praia do Sambaqui no ano de 2014.



Fonte: Autor (2015)

Os valores de salinidade podem ser visualizados na Figura 33. Neste gráfico é possível analisar a variação mensal deste parâmetro, mesmo que pequena, a qual nos dá uma ideia de como os valores de salinidade são maiores e mais constantes quando monitorados distantes do desemborque de rios. Os valores de salinidade variam entre 33,5 a 35,5 ups.

Figura 33: Valores mensais de salinidade registrados na praia do Sambaqui entre os anos de 2014-2015.



Fonte: Autor (2015)

Completando estes monitoramentos da EPAGRI, foram retirados do trabalho de Nunes (2010), monitoramentos desta mesma região da praia do Sambaqui, realizados por 18 meses durante os anos de 2008 e 2009. Neste trabalho foram analisados 9 parâmetros: amônio, NID, fosfato, clorofila a, feofitina a, OD, temperatura, material particulado e salinidade, obtidos de 7 pontos diferentes da praia do Sambaqui. Dos 7 pontos de monitoramento, foram analisados somente 3, com o intuito de focalizar os dados para regiões da praia que pudessem apresentar maiores diferenças dos valores monitorados. Na Figura 34 podemos visualizar os 3 pontos selecionados: sendo um próximo a praia, um segundo na área de cultivo de moluscos e um terceiro mais afastado do cultivo e da praia.

Destes pontos de monitoramento, a fim de permitir um processo comparativo com os dados do Porto de Itajaí, foram selecionados os seguintes parâmetros: Oxigênio Dissolvido (OD), Nitrito ( $\text{NO}_2$ ) e Nitrato ( $\text{NO}_3$ ), Amônio ( $\text{NH}_4$ ) e Fosfato ( $\text{PO}_4$ ). Estes dados estão expostos em função da estação do ano, sendo distinto dos demais monitoramentos que estão em função dos meses do ano.

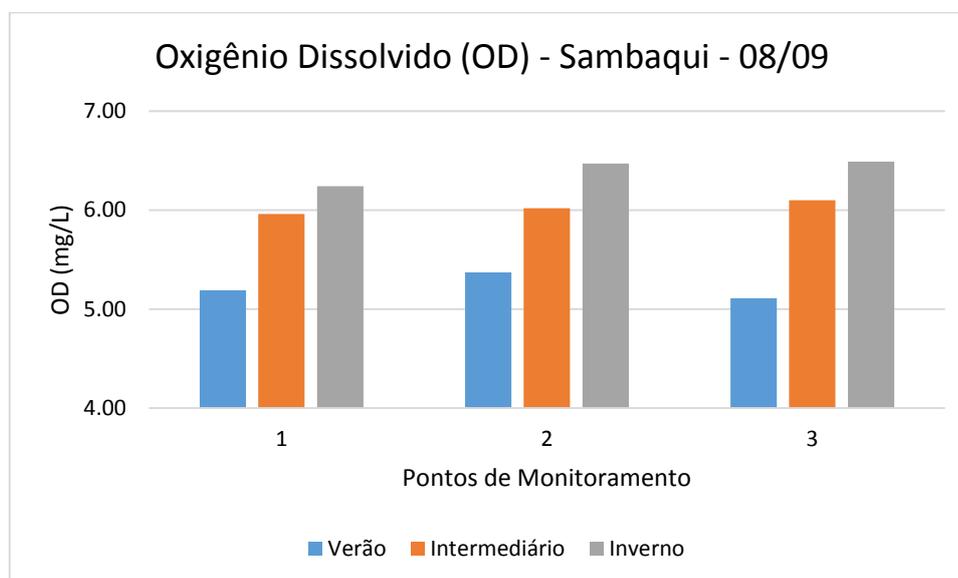
Figura 34: Pontos de monitoramento na praia do Sambaqui.



Autor: Alterado de Nunes (2010)

Em relação aos valores de OD encontrados nos monitoramentos expostos na Figura 35, pode-se observar algumas particularidades entre cada estação. É possível notar o aumento dos valores de OD nos 3 pontos quando monitorados em meses do inverno, evidenciando a relação inversamente proporcional entre temperatura e OD, ou seja, quanto mais frias as águas, maiores os valores de OD, que havia sido apresentada na Figura 11 anteriormente na seção 2.2.1.8. Para uma mesma estação os valores monitorados são próximos entre os 3 pontos de coleta.

Figura 35: Valores de oxigênio dissolvido nos três pontos de monitoramento da praia do Sambaqui em função da estação do ano.



Fonte: Autor (2015)

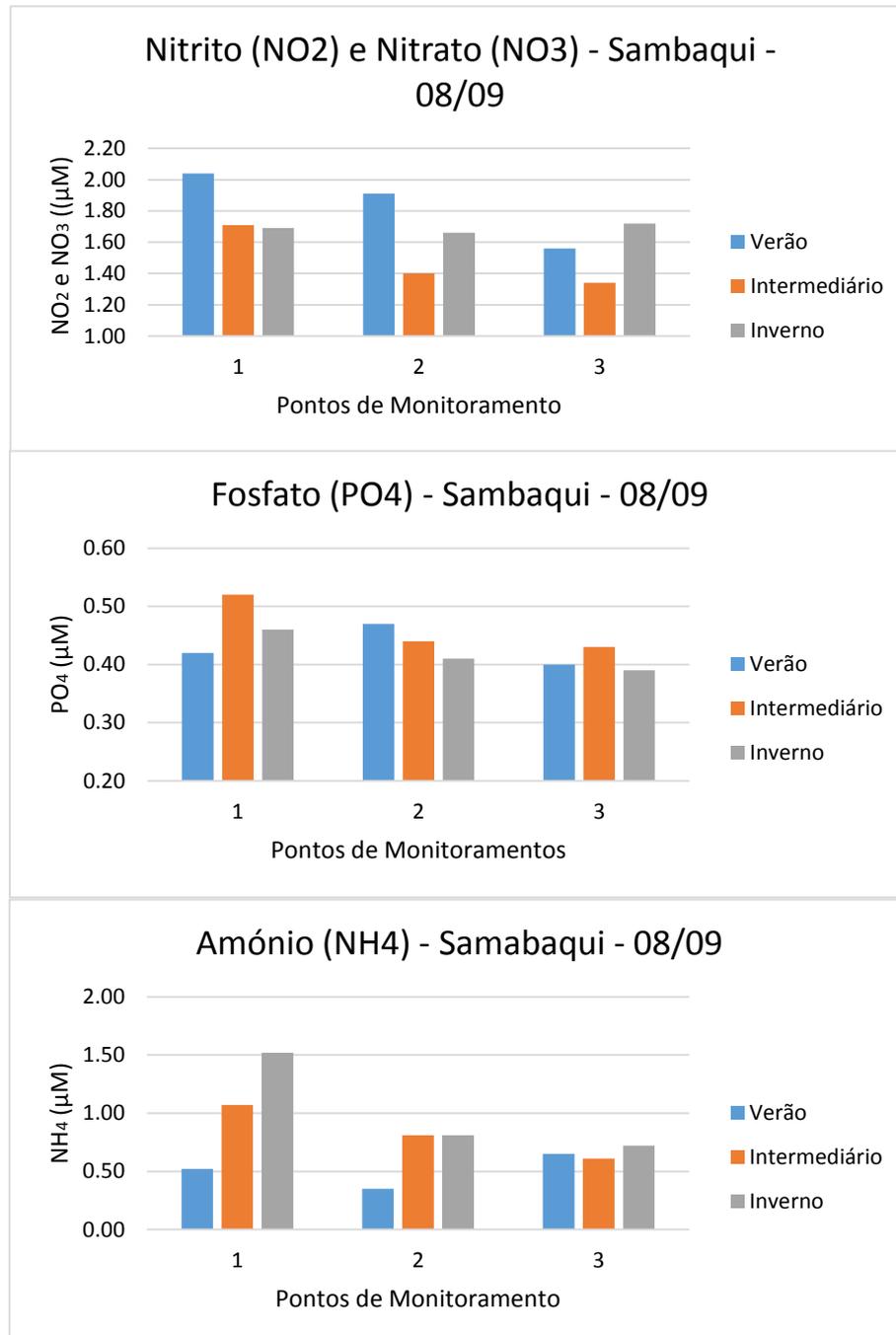
Os monitoramentos de nutrientes nas águas da praia do Sambaqui podem ser visualizados nos gráficos apresentados na Figura 36. Nestes, diferente dos valores de OD, há uma variação de valores entre pontos de monitoramento para mesmas estações do ano. Em geral, os monitoramentos no ponto 1 apresenta maiores concentrações de nutrientes que os demais, o que pode ser relacionado com as afirmações na seção 2.1.2, onde se afirma que águas mais costeiras apresentam maiores concentrações de nutrientes.

Nos valores encontrados de nitrito e nitrato é notável maiores níveis de concentração no verão nos 3 pontos monitorados, chegando a 2,04  $\mu\text{M}$  no verão do ponto 1, e uma gradativa diminuição ao se afastar da praia, com exceção do inverno, que se manteve quase constante entre os pontos (em torno de 1,65  $\mu\text{M}$ ).

Valores de amônio foram encontrados em maiores concentrações no inverno dos pontos três de coleta, chegando a 1,52  $\mu\text{M}$  no inverno do ponto 1. Há uma maior diferença de valores entre estações apenas no ponto 1, nos restantes, a variação é pequena entre as estações do ano (com exceção do verão no ponto 2).

Nas concentrações de fosfato monitoradas, em geral, os valores nas estações intermediárias (outono e primavera) apresentaram níveis maiores, atingindo 0,52  $\mu\text{M}$  no ponto 1. No ponto com menor concentração foi observado no inverno do ponto 3 (0,39  $\mu\text{M}$ ).

Figura 36: Valores de nutrientes ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$  e  $\text{PO}_4$ ) monitorados nos três pontos da praia do Sambaqui em função da estação do ano.



Fonte: Autor (2015)

### 4.3 Análise comparativa entre os dois ambientes

Com o intuito de correlacionar os dois ambientes, para que assim fosse possível ter uma percepção geral dos principais parâmetros físicos e químicos que regem os ambientes marinhos na costa de Santa Catarina, foi realizado um comparativo entre os dados obtidos. Para que isso fosse possível, os dados mensais adquiridos através do Porto de Itajaí e da EPAGRI foram dispostos em função das estações do ano, assim como nos monitoramentos realizados por Nunes (2010) na praia do Sambaqui. Seguindo o padrão dos monitoramentos de Nunes (2010), as estações foram separadas em Verão (dezembro, janeiro e fevereiro), Intermediário (março, abril, maio, setembro, outubro e novembro) e Inverno (junho, julho e agosto), sendo os valores de cada estação uma média aritmética dos meses. Nas tabelas 6 e 7 pode-se observar estes valores agrupados em estações.

Tabela 6: Parâmetros monitorados na Praia do Sambaqui para as três estações do ano.

Praia do Sambaqui			
Estação	Verão	Inter.	Inverno
Temperatura (°C)	26,45	23,14	18,33
Salinidade (ups)	34,67	34,50	34,83
OD (mg/L)	5,22	6,03	6,40
NH <sub>4</sub> (μM)	0,51	0,83	1,02
NO <sub>2</sub> e NO <sub>3</sub> (μM)	1,84	1,48	1,69
PO <sub>4</sub> (μM)	0,43	0,46	0,42

Fonte: Autor (2015).

Tabela 7: Parâmetros monitorados na região do Porto de Itajaí para as três estações do ano.

Porto de Itajaí			
Estação	Verão	Inter.	Inverno
Temperatura (°C)	26,04	23,12	19,78
Salinidade (ups)	30,37	31,31	30,22
OD (mg/L)	5,65	5,65	6,97
pH	8,33	8,12	7,97
Turbidez	3,03	2,24	3,12
NH <sub>4</sub> (μM)	5,13	4,77	5,32
NO <sub>2</sub> e NO <sub>3</sub> (μM)	1,48	1,50	0,92
PO <sub>4</sub> (μM)	0,0155	0,0292	0,0170
Si (mg/L)	0,44	0,98	0,79
Ruído (dB)	103,87	106,43	107,34

Fonte: Autor (2015).

Através destes dados, é possível notar algumas semelhanças e discrepâncias entre os dois ambientes marinhos. Valores similares encontrados nas duas regiões foram dos parâmetros de temperatura, OD, nitrito ( $\text{NO}_2$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3$ ). Já os demais parâmetros (salinidade, amônio e fosfato), apresentaram valores diferentes entre as águas do Porto de Itajaí e a praia do Sambaqui. Estas similaridades e discrepâncias serão comentadas a seguir.

A temperatura apresentou baixa variação entre os dois ambientes, somente no inverno a diferença entre eles chegou a mais de  $1^\circ\text{C}$ , entretanto, entre as estações chega a  $7^\circ\text{C}$ . Esta variação interfere diretamente no desenvolvimento da bioincrustação, sendo que como constado no trabalho, uma diferença de  $5^\circ\text{C}$  pode gerar em um aumento de 80% da camada bioincrustante.

Valores de OD não variam tanto nas regiões estudadas, tendo seus picos de concentração no inverno, onde também se encontra a maior diferença de OD entre os ambientes, chegando a  $0,6 \text{ mg/L}$ . Através destes dados podemos ter uma ideia do tipo de incrustação, maiores concentrações de oxigênio aumentam a taxa de desenvolvimento de organismos aeróbicos e fotossintéticos (GAO et al., 2011).

Nitritos e Nitratos são nutrientes essenciais para organismos produzirem proteínas, RNA e aminoácidos. Tanto a praia do Sambaqui como as águas do Porto de Itajaí apresentam concentrações similares destes nutrientes, entre  $0,92$  e  $1,84 \mu\text{M}$ . Isto mostra que estes nutrientes estão presentes no litoral catarinense, independente da proximidade de estuários e como relatado na seção 2.2.1.6 da Revisão bibliográfica são de grande importância para o desenvolvimento dos microrganismos incrustantes.

Os valores encontrados de salinidade apresentaram diferença entre os ambientes, como esperado. A salinidade das águas do Porto de Itajaí ficou em torno de 30 a 31 ups, enquanto os valores encontrados na praia do Sambaqui foram entre 34 e 35 ups. Esta diferença era esperada pelo fato das águas do Porto de Itajaí terem a influência do estuário do Rio Itajaí-Açu, fazendo com que a salinidade caísse em algumas unidades. Relatos experimentais demonstraram a relação da salinidade com a bioincrustação, como resultados foram observados maior massa de EPS e carboidratos incrustados para maiores níveis de salinidade (JANG et al., 2013). Então, levando em consideração somente este parâmetro, a praia do Sambaqui tende a apresentar maiores níveis de bioincrustação.

Os nutrientes que exibiram maiores diferenças de concentração entre os dois ambientes foram o amônio e fosfato. O Porto de Itajaí apresentou valores em torno de 5 e  $0,02 \mu\text{M}$  para  $\text{NH}_4$  e  $\text{PO}_4$ , respectivamente. Já na praia do Sambaqui, estes valores foram em torno de 0,8 e

0,45  $\mu\text{M}$ . Os dados de concentração de amônio encontrados nas águas do Porto de Itajaí estão próximos a 6X a concentração da encontrada na praia do Sambaqui. Esta diferença está relacionada com a influência do rio Itajaí-Açu, pode-se notar na Figura 29 (gráfico do  $\text{NH}_4$ ) como as concentrações de amônio são maiores nos pontos de coleta mais próximos do rio. Por outro lado, as concentrações do fosfato são maiores na praia do Sambaqui (valores 20 vezes maiores), por este ser um nutriente essencial para o desenvolvimento de algas e diátomos, este ambiente torna-se mais propício para a proliferação de algas e sua incrustação em superfícies submersas (VIRGINIA INSTITUTE OF MARINE SCIENCE, 2015).

#### 4.4 Lista dos equipamentos

Com o objetivo de refinar os equipamentos inicialmente propostos para um reservatório de testes, proposto em trabalhos anteriores, nesta sessão será apresentada brevemente uma lista com os principais equipamentos e produtos que auxiliarão na reprodução e monitoramento dos principais parâmetros estudados no presente trabalho: temperatura, salinidade, pH, nutrientes ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$  e  $\text{NH}_4$ ), oxigênio dissolvido e ruído. Para que os dois ambientes monitorados neste trabalho de conclusão de curso possam ser reproduzidos em um reservatório de testes em laboratório, foram selecionados equipamentos que operem nas faixas de valores encontrados nos monitoramentos para as 3 estações do ano. Levando em consideração um volume de 540l, estipulado inicialmente por Michels (2014), a seleção dos equipamentos foi realizada a fim de controlar cada um dos parâmetros estudado.

##### 4.4.1 Temperatura

Os valores encontrados nos monitoramentos variam entre 18 e 27°C, desta forma, para que se possa simular e manter esta faixa de temperatura durante o período de operação do reservatório selecionou-se 3 equipamentos: um aquecedor com termostato, um resfriador (*chiller*) e um termômetro digital.

Para aquecer a água do reservatório é recomendado o aquecedor com termostato Hobar Termostato Inox SA-323 500 W, apresentado na Figura 37, o qual é recomendado pela Atlântica Aquários para reservatórios em torno de 500 L. Este tem a função de impedir que a temperatura de determinado ambiente decaia além dos limites pré-estabelecidos. É um mecanismo composto por, fundamentalmente, dois elementos: um que indica a variação térmica sofrida

pelo sistema (sensor) e o outro que controla essa variação e corrige os desvios, mantendo a temperatura dentro da faixa desejada.

Figura 37: Foto ilustrativa do Hobar Termostato Inox SA-323 500 W.



Fonte: <http://www.aquaricamp.com.br>.

Para que a água deste ambiente seja reproduzida no inverno, onde as temperaturas atingem 19,78 e 18,33°C, se faz necessário um equipamento que resfrie a água do reservatório. Para esta aplicação o Chiller Hailea Modelo HC 300A foi selecionado, ilustrado na Figura 38. Este é recomendado pela Aquaricamp para aquários de 600 L e possui um display, no qual a temperatura desejada é selecionada, assim mantendo o reservatório em uma temperatura constante e menor que a do ambiente.

Figura 38: Foto ilustrativa do Chiller Hailea Modelo HC 300A.



Fonte: <http://www.aquaricamp.com.br>.

Garantindo que os equipamentos estarão realizando a correção correta da temperatura, estará presente no reservatório um termômetro digital com sensor submersível. É recomendado o termômetro digital da marca SOMA, este possui um alcance entre -23 e 60°C e uma precisão de 0,1°C. Este é ilustrado na Figura 39 abaixo.

Figura 39: Ilustração do termômetro digital SOMA.



Fonte: <http://www.msmarine.com.br/>.

#### 4.4.2 pH

O controle do pH é fundamental para um reservatório, pois permite avaliar a concentração do íon hidrogênio existente na água, sendo que quanto mais hidrogênio presente, mais ácida se torna a água e, conseqüentemente, mais ativa a mesma será para realizar processos de corrosão e bioincrustação.

Visando o controle e monitoramento deste parâmetro químico no reservatório, é recomendado o uso de produtos estabilizadores de pH e de um PHmetro. A faixa encontrada nos monitoramentos foi entre 7,9 e 8,4. Para manter os níveis de pH entre estes valores há no mercado uma mistura de sais de carbonato, o Malawi Victoria Buffer 300g Seachem, ilustrado na Figura 40, que é formulado para acondicionar a água a valores de pH entre 7,8 e 8,4.

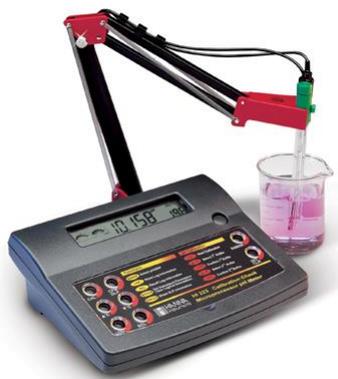
Figura 40: Ilustração do Malawi Victoria Buffer 300g Seachem.



Fonte: <http://www.atlantidaaquarios.com.br>

Para que os níveis de pH sejam monitorados dentro do reservatório, foi selecionado um pHmetro de bancada PH-21. Este monitora em uma faixa de 0 a 14 de pH e possui uma precisão de  $\pm 0,01$  pH, permitindo monitorar com exatidão os valores de pH e está ilustrado na Figura 41.

Figura 41: Ilustração do pHmetro de bancada PH-21.



Fonte: <http://www.splabor.com.br>.

#### 4.4.3 Oxigênio Dissolvido

Segundo ACQUAZOO - empresa especializada em fornecimento de produtos e serviços em aquarofilia marinha, para o volume de água em questão, idealiza-se uma bomba de recalque que desenvolva uma vazão de 5000L/h. Então, para manter os níveis de OD constante por todo o reservatório, a Bomba Wave Maker 5000 l/h - JVP-102B foi selecionada, a qual está ilustrada na Figura 42. Esta terá sua potência controlada para que os valores de OD se mantenham entre 5 e 7 mg/L, os quais foram monitorados na praia do Sambaqui e no Porto de Itajaí.

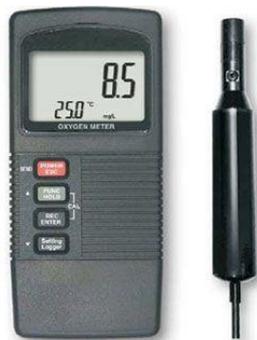
Figura 42: Ilustração da Bomba Wave Maker 5000 l/h - JVP-102B.



Fonte: <http://www.atlantidaaquarios.com.br/loja1/>.

Já para o monitoramento destes valores no reservatório, é recomendado um medidor de oxigênio dissolvido da empresa INSTRUTHERM, apresentado na Figura 43. Este possui um faixa de medição entre 0 e 20 mg/L e uma precisão de 0,1 mg/L.

Figura 43: Ilustração do medidor de oxigênio dissolvido.



Fonte: <http://www.instrutherm.com.br/>.

#### 4.4.4 Salinidade

Verificando os ambientes monitorados neste trabalho, pode-se notar uma grande variação de salinidade entre regiões e estações do ano. Desta forma, para um monitoramento preciso deste parâmetro sugere-se a utilização de um medidor de bancada para salinidade da HANNA instruments (HI 5321), apresentado na Figura 44, o qual possui uma faixa de monitoramento de 0 a 40 ups e uma precisão de 0,01 ups.

Figura 44: Ilustração do HI 5321 - Medidor de bancada para Salinidade.



Fonte: <http://www.hannacom.pt/>.

#### 4.4.5 Nutrientes

Manter este parâmetro é de grande importância, visto que grandes concentrações de um dos nutrientes orgânicos ( $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$  e  $\text{PO}_4$ ) pode gerar um desequilíbrio orgânico no tanque. Um elevado nível de fosfato e nitrato, por exemplo, pode gerar descontrole na formação de algas e assim não reproduzir o ambiente desejado para estudo.

Figura 45: Ilustração do SERA aqua-test box.



Fonte: <https://www.sera.de/pt/>.

Para manter a concentração destes nutrientes no reservatório um kit de testes é recomendado, por exemplo, da marca SERA, o qual é capaz de medir a concentração dos 4 componentes citados e é comercializado com o nome de SERA aqua-test box, ilustrado na Figura 45. Desta forma, é possível manter os valores de nutrientes entre as faixas de concentração encontrados nos monitoramentos realizados no presente estudo.

#### 4.4.6 Ruído

Em adição aos equipamentos já propostos para o reservatório, um equipamento para medição do ruído (decibelímetro) é recomendado. No Capítulo 2 deste trabalho é referenciado um estudo onde é comprovado o efeito do ruído na adesão de organismos em estruturas feitas pelo homem (em tanques com maior nível de ruído verifica-se maior volume de bioincrustação). Então para o reservatório é proposto um decibelímetro, medidor de nível de pressão sonora digital da empresa INSTRUTHERM. Este, opera em uma faixa de 30 a 130 dB com uma precisão de  $\pm 1,5$  dB. Além de atuar na faixa encontrada nos monitoramentos (de 103 a 108 dB), seu sensor atua a partir de vibrações, podendo assim, monitorar o nível de ruído dentro da água do reservatório. Este equipamento pode ser visualizado na Figura 46 abaixo.

Figura 46: Ilustração do decibelímetro - medidor de nível de pressão sonora digital.



Fonte: <http://www.instrutherm.com.br/>.

#### 4.5 Análise das entrevistas

Com a intenção de avaliar a importância do presente trabalho através de uma perspectiva não acadêmica, as perguntas do questionário mencionado na Metodologia foram respondidas por dois entrevistados que trabalham e realizam estudos/monitoramentos nas duas regiões de interesse (águas portuárias de Itajaí e na praia do Sambaqui).

A primeira pergunta teve o intuito de verificar os danos e dificuldades geradas pela bioincrustação nas áreas de atuação dos entrevistados. Albuquerque ressaltou diversos problemas encontrados na Fazenda de Maricultura localizada na Praia do Sambaqui dentre eles: o comprometimento de estruturas de cultivo, risco de ferimentos aos trabalhadores e em relação ao cultivo de moluscos, a competição por alimento e espaço, entre o molusco e os organismos presentes na camada bioincrustante, podendo resultar na morte dos moluscos. Já referente aos terminais portuários de Itajaí, não foi mencionado nenhum problema relacionado diretamente à bioincrustação que resultasse em danos para o porto.

Na sequência questionou-se quais os métodos de combate e prevenção utilizados para minimizar o fenômeno da bioincrustação. Nas fazendas de maricultura da praia do Sambaqui, a limpeza dos animais é realizada manualmente e para as estruturas de cultivo se utiliza hidro jatos. Para a prevenção de danos relacionado a este tema no Porto de Itajaí, Giancomolli diz que monitoramentos, juntamente com a Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI), são realizados, visando controle da qualidade da água, biota aquática e intrusão de espécies marinhas não nativas (NISs) através de tanques de lastro.

A pergunta seguinte abordou a simulação dos ambientes marinhos em laboratório, solicitando a opinião dos entrevistados, referente às vantagens que poderiam vir de tais estudos em ambientes artificiais. Giancomolli ressaltou que a bioincrustação traz prejuízos para embarcações e meio ambiente, salientando a importância de estudos nessa área, e também, que um tanque experimental enriqueceria o conhecimento deste problema, facilitando o alcance de uma solução eficiente. Por outro lado, Albuquerque, não se diz confiante na possibilidade de uma simulação fiel ao ambiente marinho, visto que estes ambientes apresentam uma vasta variedade de nutrientes e organismos, que seriam difíceis de se reproduzir.

A quarta pergunta destina-se a agregar valor ao estudo, referindo-se à importância do desenvolvimento de novos revestimentos que minimizem a formação de bioincrustação. Para a fazenda de maricultura da praia do Sambaqui é de fundamental importância, visto que revestimentos atuais agridem os moluscos, prejudicando o cultivo. Para o Porto de Itajaí, revestimentos mais eficientes no combate da bioincrustação são importantes, pois estes, diminuiriam a taxa de proliferação de espécies não nativas no estuário do Itajaí-Açu, mantendo a integridade do meio ambiente fluvial, a qual é muito prezado pelo porto.

Finalizando o questionário, indagou-se aos entrevistados quanto a sua percepção de quais épocas do ano o fenômeno da bioincrustação se torna mais evidente. Albuquerque, frisa que em todas as épocas do ano a bioincrustação está presente, variando apenas os organismos conforme as estações. Entretanto, em conversa com o entrevistado, foi salientado a discrepância de bioincrustação encontrada entre o inverno e o verão, sendo este segundo o que apresenta normalmente maior presença de bioincrustação. Referente ao Porto de Itajaí, Giancomolli diz não possuir relatos do fenômeno no complexo portuário.

## 5. CONCLUSÃO

Através de ampla pesquisa na área de bioincrustação, concluiu-se que um conhecimento abrangente do fenômeno é essencial para identificar e desenvolver futuras soluções para este problema. Visto sua alta complexidade, este trabalho investigou somente alguns parâmetros físicos e químicos que se mostraram mais influentes no desenvolvimento da bioincrustação, sendo eles: temperatura, salinidade, pH, luminosidade, ruído, nutrientes dissolvidos, substrato (tipo de superfície), oxigênio dissolvido e velocidade do fluido. Com estes parâmetros pesquisados faz-se possível a identificação de ambientes mais propícios ao surgimento de bioincrustação e viabiliza-se opções de acelerar o processo bioincrustante se necessário para fins de testes e pesquisas.

Avaliando a bioincrustação em vários setores da indústria, foi possível notar o quão vasto é este problema e os inúmeros danos que são causados diariamente em tubulações, trocadores de calor, membranas de dessalinização e sensores marítimos. Em específico, na indústria naval, estes danos são muito evidentes, acarretando em prejuízos ambientais e aumentos significativos no consumo de combustível de embarcações. Atualmente não há soluções tão eficientes no combate a bioincrustação, em relação ao revestimento banido em 2008. Isto salienta a importância deste trabalho e de estudos na área, para que novos materiais/revestimentos sejam desenvolvidos, evitando a formação do biofilme sem agredir o meio ambiente.

Ao identificar os parâmetros físico-químicos mais dominantes deste fenômeno, foi possível, através de monitoramentos disponibilizados pelo Porto de Itajaí e EPAGRI, adquirir os valores destes parâmetros para dois ambientes marinhos, os quais apresentam significativa importância econômica e intelectual (fazenda de maricultura é utilizada para pesquisas pela UFSC). Os dados obtidos nos permitem avaliar o comportamento de cada parâmetro em função do tempo analisado e compreender as diferenças de ambos os ambientes marinhos e a influência fluvial em cada um deles.

Com a aquisição dos dados de ambientes próximos a região de Joinville, será possível acondicionar a água no reservatório de testes e simulá-los o mais próximo possível aos ambientes reais. A possibilidade de reproduzir ambientes marinhos em laboratório garantirá um maior controle e segurança para os experimentos. Possuir os dados de ambientes reais, além de possibilitar sua simulação, também auxiliará na validação do próprio reservatório. Esta

validação poderá ser realizada após a construção do reservatório, desenvolvendo dois experimentos paralelos, um no ambiente real e outro no reservatório que simulará o ambiente na estação do ano em que os experimentos estarão sendo realizados.

Com as entrevistas realizadas ficou evidente que uma reprodução fiel de ambientes marinhos em ambientes laboratoriais ainda é pouco explorada no meio acadêmico, por apresentar algumas barreiras no que se refere a parâmetros biológicos de simulação. Entretanto, em ambas as entrevistas foram apresentados problemas que surgem através da bioincrustação e verifica-se a necessidade de maior investimento em pesquisas na área de materiais que possam atuar de forma eficiente para a solução dos problemas citados.

Este trabalho agrupou uma vasta gama de estudos sobre a influência de parâmetros no desenvolvimento da bioincrustação e dos mecanismos que regem sua adesão em estruturas navais. Além disso, inclui também, monitoramentos de dois diferentes ambientes marinhos da região catarinense, possibilitando a simulação e validação destes, no reservatório de testes voltado ao estudo da bioincrustação, o qual está em fase de projeto no Campus da Engenharia da Mobilidade da Universidade de Santa Catarina.

Em linhas gerais, o presente trabalho buscou contribuir com o desenvolvimento de uma promissora linha de pesquisas do Curso de Engenharia Naval do CEM e de fundamental importância para diversos segmentos da indústria em geral.

## REFERÊNCIAS

- ACCURATE MODEL PARTS (Org.). **U-552 - Doing it my way**. Disponível em: <<http://models.rokkt.biz/index.php?topic=58.345>>. Acesso em: 26 abr. 2015.
- AL-JUBOORI, Raed A.; YUSAF, Talal. Biofouling in RO System: Mechanisms, monitoring and controlling. **Desalination**. Toowoomba, Austrália, p. 1-23. jul. 2012.
- ANDREWARTHA, Jessica Maree. **The Effect of Freshwater Biofilms on Turbulent Boundary Layers and the Implications for Hydropower Canals**. 2010. 351 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, School Of Engineering, University Of Tasmania, Hobart, 2010.
- ANTAQ. **Gênercia de estudos e desempenho portuário**. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/sistemas/sig/AreaTrabalho.asp>>. Acessado em 03 de jun. de 2015.
- AZIS, P. K. Abdul; AL-TISAN, Ibrahim; SASIKUMAR, N.. **Biofouling Potential and Environmental Factors of Seawater at a Desalination Plant Intake**. Al-jubail, Arábia Saudita, 2000.
- BAILEY NAVRATIL (Washington). Marine Invertebrate Zoology. **Feeding Behavior of Balanus nubilus**. Disponível em: <<https://invertzoology.wordpress.com/2013/07/16/feeding-behavior-of-balanus-nubilus/>>. Acesso em: 20 maio 2015.
- BARTON, Andrew F.. **Friction, Roughness and Boundary Layer Characteristics of Freshwater Biofilms in Hydraulic Conduits**. 2006. 230 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, School Of Engeneer, University Of Tasmania, Hobart, 2006.
- BERGMANN, C. P. et al. Seleção de Materiais e Revestimentos para o Controle de Incrustações do Mexilhão Dourado na Usina Hidrelétrica de Ibitinga (SP, Brasil). **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 1, p.021-030, jan. 2010. Disponível em: <<http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo11121/>>. Acesso em: 15 maio 2015.
- BEYER, Florian. **Isolation and characterization of microorganism involved in membrane biofouling**. Disponível em: <<https://www.wageningenur.nl/en/show/Isolation-and-characterization-of-microorganism-involved-in-membrane-biofouling-1.htm>>. Acesso em: 20 maio 2015.
- BOTT, T. R.; PINHEIRO, M.M.V.P.S. Biological fouling—velocity and temperature effects. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 55, n. 4, p. 473-474, 1977
- CHEN, M. J.; ZHANG, Z.; BOTT, T. R.. Effects of operating conditions on the adhesive strength of Pseudomonas Fluorescens Biofilms in Tubes. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**. Taiwan, p. 61-71. jun. 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927776505001268>>. Acesso em: 04 fev. 2015.

COMPÈRE, C.; LEHAITRE, M.; DELAUNEY, L. **Biofouling and Underwater Measurements**. Real-time observation systems for ecosystem dynamics and harmful algal blooms: Theory, instrumentation and modelling. Oceanographic Methodology Series. UNESCO, Paris, p. 463-493, 2008.

CULLIMORE, D. R.; MCCANN, Annette E. The identification, cultivation and control of iron bacteria in ground water. **Aquatic Microbiology**, p. 219-261, 1977

DAHLEM, C.; MORAN, P. J.; GRANT, T. R.. Larval Settlement of Marine Sessile Invertebrates on Surfaces of Different Colour and Position. **Ocean Science and Engineering**, Nova Iorque, v. 9, n. 2, p.225-236, 1984

DELAUNEY, Laurent; COMPÈRE, Chantal; LEHAUTRE, Michel. Biofouling Protection for Marine Environmental Sensors. **Ocean Science**. Plouzané, France, p. 503-511. 18 maio 2010.  
DOBRETSOV, S.; THOMASON, J. C.; WILLIAMS, D. N.. **Biofouling Methods**. [S.l.] 2014.

DHANASEKARAN, D. et al. **Screening of biofouling activity in marine bacterial isolated from ship hull**. Bharethaidasan University, Tiruchirappalli, India: Int. J. Environ. Sci. Tech, 2009.

DÜRR, Simone; THOMASON, Jeremy C.. **Biofouling**. Nova Delhi: Blackwell Publishing, 2010. 424 p.

ESTADOS UNIDOS. Ian Davidson. U. S. Coast Guard Research And Development Center. **Preliminary Investigations of Biofouling of Ship's Hulls: Non-Indigenous Species Investigations in the Columbia River**. Groton, Connecticut: Aaa, 2006. 65 p.

FATHON SHIPPING. gCaptain. **Hull fouling control: the era of innovation**. 2013. Disponível em <<http://gcaptain.com/hull-fouling-control-innovation>>. Acessado em 12 de out. de 2014.

FERREIRA, Carlos Gustavo Werner. **Bioincrustação**. 2003. 36 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Aquicultura, Departamento de Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

FLEMMING et al. **Marine and Industrial Biofouling**. Los Angeles. USA: Springer, 2009

FLEMMING, Hans-curt. Microbial Biofouling: Unsolved Problems, Insufficient Approaches, and Possible Solutions. In: FLEMMING, Hans-curt; WINGENDER, Jost; SZEWZYK, Ulrich. **Biofilm Highlight**. Berlim, Alemanha: Springer, 2011. p. 81-110.

GAMA, Bernardo P. A. da; C.PEREIRA, Renato; COUTINHO, Ricardo. Bioincrustação Marinha. In: PEREIRA, Renato C.; COUTINHO, Ricardo. **Biologia Marinha**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2009. Cap. 12. p. 299-318.

GAO, Da-wen et al. Linking Microbial Community Structure to Membrane Biofouling Associated with Varying Dissolved Oxygen Concentrations. **Bioresource Technology**. Harbin, China, p. 5626-5633. maio 2011.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. 1996.

HORIGUCHI, Toshihiro et al. Impact of Tributyltin and Triphenyltin on Ivory Shell (*Babylonia japonica*) Populations. **Environmental Health Perspectives**. Tokyo, Japão, abr. 2006. p. 13-19.

HOUGHTON MIFFLIN HARCOURT. Cliffs Notes (Ed.). **Growth Requirements for Microorganisms**. Disponível em: <<http://www.cliffsnotes.com/sciences/biology/microbiology/microbial-cultivation-and-growth/growth-requirements-for-microorganisms>>. Acesso em: 04 jan. 2015.

HYDREX (Estados Unidos). The Hydrex Group (Org.). Ship Hull Coating Systems Simplified. **Hydrex White Paper**. Clearwater, p. 1-36. nov. 2011.

INTERNATIONAL MARINE COATINGS. **Coatings Technology: What Is Fouling?**. Disponível em: <<http://www.international-marine.com/PaintGuides/WhatIsFouling.pdf>>. Acesso em: 02 abr. 2015.

ITOCHU. **ITOCHU to Establish the First Saudi Production and Distribution Company for Reverse Osmosis Membrane Elements for Desalination**. Disponível em: <[http://www.itochu.co.jp/en/news/2010/100218\\_02.html](http://www.itochu.co.jp/en/news/2010/100218_02.html)>. Acesso em: 20 maio 2015.

KOOP, H. M. et al. Aggregation of 27 Oral Bacteria by Human Whole Saliva: Influence of Culture Medium, Calcium, and Bacteria Cell Concentration, and Interference by Autoaggregation. **Antonie van Leeuwenhoek**. Amsterdam, Holanda, p. 277-290. set. 1989

KUGLER, Henrique. No Silêncio dos Mares: Substância altamente tóxica é usada de forma ilegal na costa brasileira. **Ciência Hoje**. Rio de Janeiro, p. 32-37. fev. 2014.

JACINTO, Valter. **Amphibalanus amphitrite**. Disponível em: <[http://skaphandrus.com/en/underwater-photography/photo/2045-amphibalanus-amphitrite#.VZNyC\\_IVikp](http://skaphandrus.com/en/underwater-photography/photo/2045-amphibalanus-amphitrite#.VZNyC_IVikp)>. Acesso em: 04 maio 2015.

JAMES A. Callow et al. (Uk) (Coord.). **Advanced Nanostructured Surfaces for the Control of Biofouling**. Birmingham: University Of Birmingham, 2010.

JANG, Duksoo et al. Effects of Salinity on the Characteristics of Biomass and Membrane Fouling in Membrane Bioreactors. **Bioresource Technology**. Daejeon, Coreia do Sul, p. 50-56. ago. 2013.

LAY, Winson C. L.; LIO, Yu; FANE, Anthony G.. Impacts of Salinity on the Performance of High Retention Membrane Bioreactors for Water Reclamation: A Review. **Elsevier B. V.** Singapura, p. 21-40. jan. 2010.

LEE, Ho Joo et al. On-line Monitoring and Quantitative Analysis of Biofouling in Low-velocity Cooling Water System. **Korean Journal Of Chemical Engineering**. Ansan, Coréia, p. 71-77. jan. 1998.

LI, Xiao Lin. **Conditions Favouring Growth of Fresh Water Biofouling in Hydraulic Canals and the Impact of Biofouling on Pipe Flows**. 2013. 166 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, University Of Tasmania, Hobart, Australia, 2013.

LOPES, Sônia; ROSSO, Sérgio. **Mexilhão-dourado**: Espécie introduzida por água de lastro no Brasil.. Disponível em: <<http://biologiamais.com.br/ciencia-reportagens/mexilhao-dourado-especie-introduzida-por-agua-de-lastro-no-brasil-194.html>>. Acesso em: 20 maio 2015.

MACK, Richard N. et al. Biotic Invasions: Causes, Epidemiology, Global Consequences, and Control. **Ecological Applications**. Washington, EUA, p. 689-710. 2000.

MAGALHÃES, Juliano. **Ferrobactérias**: um problema com solução!. Disponível em: <[http://www.systemmud.com.br/artigos/ferrobacterias\\_um\\_problema\\_com\\_soluciao.pdf](http://www.systemmud.com.br/artigos/ferrobacterias_um_problema_com_soluciao.pdf)>. Acesso em: 20 jun. 2015.

MARFENIN, N.N.; KOSEVICH, I.A.. **Biology of *Obelia loveni* (Allm.): colony formation, behavior and life cycle of the hydranths, and reproduction**. Departamento de Biologia Vestnik Moscovskogo Universiteta, Russia, 1984.

MARK IGLE (Washington). Nstcenter (Comp.). **Technical Solutions for U.S. Navy Underwater Hull Anti-Fouling Coatings**. Disponível em: <<http://www.nstcenter.biz/writeup.aspx?title=NST+Center+-+Technical+Solutions+for+U.S.+Navy+Underwater+Hull+Anti-fouling+Coatings&page=NavyCommunityTechInitiativesUnderwaterHullAntiFoulingCoatings.html>>. Acesso em: 02 jun. 2015.

MARTINS, T. L.; VARGAS, V. M. F.. Riscos à Biota Aquática Pelo Uso de Tintas Anti-Incrustantes nos Cascos de Embarcações. **Ecotoxicology And Environmental Contamination**. Porto Alegre, Brasil, p. 1-11. 2013.

MCPS LIMITED. Marine and offshore anode manufacture. **Biofouling**. 2013. Disponível em <[http://www.mcpsltd.com/about\\_marine\\_growth\\_prevention.html](http://www.mcpsltd.com/about_marine_growth_prevention.html)>. Acessado em 12 de out. de 2014.

MELO, L. F.; BOTT, T. R.. Biofouling in Water Systems. **Experimental Thermal and Fluid Science**. Nova Iorque, p. 375-381. 1997.

MESSANO, L. V. R. **Biocorrosão marinha: a comunidade macroincrustante e seu efeito na corrosão de aços inoxidáveis especiais de alta liga**. Rio de Janeiro 2007. Tese (Doutorado) – Programa de pós-graduação em ciências em engenharia metalúrgica e materiais, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.

NGUYEN, Thang; RODDICK, Felicity A.; FAN, Linhua. Biofouling of Water Treatment Membranes: A Review of the Underlying Causes, Monitoring Techniques and Control Measures. **Membranes**. Melbourne, Austrália, p. 804-840. nov. 2012.

NIWA (Nova Zelândia). **Ship Sounds act as Magnets to Hull-Fouling Organisms**. 2012. Disponível em: <<http://www.niwa.co.nz/news/ship-sounds-act-as-magnets-to-hull-fouling-organisms>>. Acesso em: 28 nov. 2014.

NUNES, Bratriz Gomes. **Monitoramento do Ambiente do Cultivo Experimental da Alga *Kappaphycus alvarezii* na Praia do Sambaqui, Florianópolis/SC**. 2010. 103 f. Dissertação

(Mestrado) - Curso de Aquicultura, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

OKITA, W. B.; KIRWAN, D. J.. Simulation of Secondary Metabolite Production by Immobilized Living Cells: penicillin production. **Biotechnology Progress**. Charlottesville, p. 83-90. jun. 1986.

PASMORE, Mark et al. Effect of polymer surface properties on the reversibility of attachment of *Pseudomonas aeruginosa* in the early stages of biofilm development. **Biofouling**, v. 18, n. 1, p. 65-71, 2002.

PICKARD, G. L.. **Oceanografia Física Descritiva: Uma Introdução**. In: FEMAR, 2., Rio de Janeiro, 1974.

PIMENTEL, D.; ZINIGA, R.; MORRISON, D. Update on Environmental and Economic Costs of Alien-Invasive Species in the United States. **Ecological Economics**. Vol. 52, p. 273-288. 2005.

PINHEIRO, M. M. et al. Surface Phenomena and Hydrodynamic Effects on the Deposition of *Pseudomonas Fluorescens*. **The Canadian Journal Of Chemical Engineering**. Coimbra, Portugal, p. 63-67. fev. 1988.

PORTO DE ITAJAÍ. **Estatística**. Disponível em: <<http://www.portoitajai.com.br/novo/estatisticas>>. Acesso em: 20 maio 2015.

RAILKIN, Alexander I.. **Marine Biofouling: Colonization Process and Defenses**. Florida, EUA: Crc Press Llc, 2004..

ROSA, Larissa Farina. **A Importância do Porto de Itajaí na Economia Catarinense no Período de 2006 - 2011**. 2012. 56 f. Monografia (Especialização) - Curso de Comércio Exterior, Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2012.

SANTALLA R.P. **Especiação de organoestânicos em matrizes ambientais por extração sorptiva em barra de agitação e análise por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa**. 2008. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Lisboa, Lisboa. 2008.

SHINE, R.; BRISCHOUX, F.; PILE, A. J.. A Seasnake's Colour Affects its Susceptibility to Algal Fouling. **Proceedings Of The Royal Society Of London B: Biological Sciences**. New South Wales, Austrália, p. 1-7. abr. 2010.

SU, Zhenxia et al. The Effect of Different Substrates on Pearl Oyster *Pinctada Martensii* (Dunker) Larvae Settlement. **Aquaculture**. Guangzhou, China, p. 377-383. out. 2007.

VIDELA, Héctor A.. **Biocorrosão, Biofouling e Biodeterioração de Materias**. São Paulo: Edgard Blücher, 2003. 148 p.

VIRGINIA INSTITUTE OF MARINE SCIENCE. **Physical Characteristics: Nutrients**. Disponível em <

[http://web.vims.edu/bio/shallowwater/physical\\_characteristics/nutrients.html](http://web.vims.edu/bio/shallowwater/physical_characteristics/nutrients.html)>. Acessado em 15 de maio de 2015.

XAVIER, J. B. et al. Monitorização e Modelação da Estrutura de Biofilmes. **Biomatemática**. Países Baixos, p. 2-13. fev. 2003.

WAHL, M.. **Marine Apibiosis. I. Fouling and Antifouling: Some Basics Aspects**. Universidade de Kiel, Olshausenstr, Alemanha: Mar. Ecol. Prog. Ser. 1989.

WIKIPÉDIA. **Annual mean sea Surface Salinity from the World Ocean Atlas 2001**. Disponível em: <[http://pt.wikipedia.org/wiki/Salinidade#/media/File:Wiki\\_plot\\_04.png](http://pt.wikipedia.org/wiki/Salinidade#/media/File:Wiki_plot_04.png)>. Acesso em: 16 maio 2015.

WILDISH, D. J.; SAULNIER, A. M.. The Effect of Velocity and Flow Direction on the Growth of Juvenile and Adult Giant Scallops. **Experimental Marine Biology and Ecology**. New Brunswick, Canada, p. 133-143. fev. 1992.

WU, Bing; FANE, Anthony G.. Microbial Relevant Fouling in Membrane Bioreactors: Influencing Factors, Characterization, and Fouling Control. **Membranes**. Singapura, p. 565-584. ago. 2012.

YEBRA, Diego; KIIL, Soren; DAM-JOHANSEN, Kim. Antifouling Technology: Past, Present and Future Steps towards Efficient and Environmentally Friendly Antifouling Coatings. **Progress in Organic Coatings**. [s.l.]: Elsevier, 2004.

YOON, Seong-hoon. Factors Affecting Membrane Performance: Salinity. In: YOON, Seong-hoon. **Membrane Bioreactor Processes: Principles and Applications**. Suécia: Crc Press, 2015. Cap. 5. p. 214-217.

ZEVINA, G. B.. **Biology of Marine Biofouling**. 1994. 135 f. Monografia (Especialização) - Moscow University, Moscow, 1994.

WHOI – Woods Hole Oceanographic Institution. **Marine fouling and its reventions**. U.S. Naval Institute. Annapolis: Iselin, 1952.

APÊNDICE 1 – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS RESPONSÁVEIS PELOS MONITORAMENTOS ADQUIRIDOS REFERENTE A IMPORTÂNCIA DO ESTUDO REALIZADO

PERGUNTAS

QUAIS OS PROBLEMAS VOCÊ VERIFICA, EM SUA ÁREA DE ESTUDOS/TRABALHO RELACIONADOS COM O FENÔMENO DA BIOINCRUSTAÇÃO?

COMO É REALIZADO O COMBATE/PREVENÇÃO DO FENÔMENO DE BIOINCRUSTAÇÃO EM SUA ÁREA DE ATUAÇÃO?

NA SUA PERCEPÇÃO, QUAIS AS VANTAGENS E IMPORTÂNCIA DA REALIZAÇÃO DE ESTUDOS DE SOLUÇÃO ANTI-INCRUSTANTES EM LABORATÓRIO SIMULANDO O AMBIENTE MARINHO?

QUAL A IMPORTÂNCIA DO DESENVOLVIMENTO DE NOVOS REVESTIMENTO ANTI-INCRUSTANTES?

QUAIS SÃO OS AMBINETES E ÉPOCAS DO ANO EM QUE A FORMAÇÃO DE BIOINCRUSTAÇÃO SE TORNA MAIS EVIDENTE?

Nome do entrevistado: Marcos Caivano Pedroso de Albuquerque

- Esta palavra "fenômeno" me desagrada. Não é adequada visto que é algo natural. Problemas são de comprometimento das estruturas de cultivo, quebra (principalmente por peso); risco de ferimentos aos trabalhadores; com relação ao cultivo de moluscos há competição por alimento, espaço; predação. Bioincrustação é responsável por morte dos moluscos por recobrimento das valvas em diferentes fases de cultivo.
- Com remoção mecânica e limpeza de animais e estruturas com hidro jato.
- Com relação ao laboratório simular o ambiente marinho acredito que seja uma tarefa impossível. Pense no número de organismos que incrustam e como vc faria a reprodução destes em laboratório.
- Fundamentais, mas precisamos de um produto que não prejudique os animais cultivados.
- Temos incrustação em todas épocas do ano, mas os organismos variam com as estações.

Nome do entrevistado: Mauricio Angelo Giacomolli

- Até o momento nenhum problema foi verificado por este terminal com respeito a este fenômeno de bioincrustação.
- Alguns monitoramentos são realizados em parceria com a Universidade do Vale do Itajaí - UNIVALI na área do Porto de Itajaí, monitoramentos estes como o Monitoramento da Qualidade da Água, Monitoramento da Biota Aquática, Monitoramento das Condições hidrodinâmicas, Monitoramento da Pesca artesanal, Monitoramento da Intrusão de Espécies Exóticas – Água de Lastro entre outros, porém nenhum específico com relação a este fenômeno de bioincrustação.
- A bioincrustação pode trazer prejuízos as embarcações e alterações do ambiente local marinho, o desenvolvimento de estudos com respeito a soluções a este fenômeno enriquecem o conhecimento deste problema, auxiliando na tomada de decisão em uma possível intervenção.
- Evitar a proliferação destes ambientes bioincrustados e assim contribuir na mitigação de prejuízos para várias áreas da indústria.
- Não temos relatos com respeito a este fenômeno aqui no Porto de Itajaí.