

PROJETO CONCEITUAL DE UM RESERVATÓRIO PARA AVALIAÇÃO DOS FENÔMENOS DA BIOINCRUSTAÇÃO EM ESTRUTURAS NAVAIS

Ronan Michels E-mail: ronanmichels@hotmail.com

Resumo: Bioincrustação é um termo associado aos seres que se estabelecem em superfícies artificiais, uma vez que toda estrutura artificial submersa em água sofre acumulação de material biológico. O crescimento de microrganismos é conhecido por promover mudanças superficiais em estruturas expostas a ambientes agressivos, tendo impacto negativo em várias atividades do setor naval. Danos em equipamentos, aumento no consumo de combustível e problemas ambientais são alguns dos transtornos. Frente aos problemas, verifica-se uma grande necessidade da compreensão dos processos de bioincrustação para a minimização deste impacto nas embarcações. Desta forma, o desenvolvimento de equipamentos que sejam capazes de simular o ambiente marinho e possibilitar o entendimento dos mecanismos que regem este fenômeno é incontestável. Além da aplicação de tintas especiais, procedimentos de docagens devem ser realizados com mais frequência para a completa remoção da bioincrustação e para o tratamento do casco. Dado o exposto, no presente artigo objetivou-se, através de pesquisa bibliográfica e entrevista com profissionais da área naval, avaliar os principais parâmetros para a elaboração de um ambiente de laboratório similar ao natural no qual os processos de bioincrustação ocorrem. Foram definidos equipamentos que se fazem necessários em um reservatório de testes para iniciar os estudos do processo de bioincrustação em laboratório com um maior controle dos parâmetros relevantes na simulação do ambiente marinho. Além disso, fez-se uma proposição dos principais parâmetros a serem considerados no projeto do reservatório e elaborou-se em programa computacional (SolidWorks®) um esquema no qual é possível verificar a distribuição dos mesmos no projeto.

Palavras-chave: Bioincrustação, reservatório, ambiente marinho.

CONCEPTUAL DESIGN OF A RESERVOIR FOR EVALUATION OF BIOFOULING PHENOMENA IN NAVAL STRUCTURES

Abstract: Biofouling or biological fouling is associated with the accumulation of microorganisms in wetted artificial surfaces. These growths result in changes in the surface of structures exposed to several environments, having negative impact on several areas of the naval sector. Damage of equipments and malfunction, increase in friction resulting in hydrodynamics issues, increase in fuel consumption and environmental hazard are some of the problems related to biofouling. Due to these problems, it is of great importance the study and complete understanding of the processes related to biofouling to better prevent it and minimize its effects on the naval field. Therefore the need of creating equipment that simulates a marine environment is undoubted. Currently the main tool to prevent most of the development of biological growths is the antifouling coating. Furthermore, dockage procedures must be done regularly for hull maintenance and cleaning, removing any growth from the ship surface. Based on the presented problem, this study proposes an analysis of the more important parameters to be considered when building an artificial environment that simulates real conditions in which these biological foulings will occur. To this effect, research and interview with professionals related to the field were vital to verify the equipment needed in the artificial reservoir, therefore allowing study of the biofouling process in lab with better control of the parameters relevant to a complete simulation of given environment. Besides, a proposition of the parameters to be considered in the laboratory project was elaborated, and also a CAD model, which exposures the disposal and the different parts of the apparatus designed to characterize the biological fouling processes in naval structures.

Keywords: Biofouling, Reservoir, Marine environment.

1. Introdução

O crescimento de microrganismos é conhecido por promover mudanças superficiais em estruturas expostas aos ambientes agressivos, que tem impacto negativo em várias atividades do setor naval. O entendimento e compreensão dos mecanismos que regem o processo de

bioincrustação são de fundamental importância para a minimização deste problema em embarcações, tubulações, dutos e plataformas, por exemplo. Estudos mostram que a bioincrustação modifica a superfície dos cascos de navios, ampliando o arrasto hidrodinâmico, podendo aumentar em até 50% o consumo de combustível. (WHOI, 1952) Custos sobressalentes estão envolvidos com a manutenção das embarcações, desde o tempo e preço elevados para o atracamento nos portos para limpeza até a remoção e repintura dos cascos. A bioincrustação aumenta o peso e reduz a flutuabilidade de estruturas navais, é responsável pelo entupimento de tubulações, promove a corrosão de estruturas, como plataformas de petróleo, torna cabos submarinhos quebradiços. Além das avarias causadas aos materiais, as embarcações transportam estes microrganismos causando danos irreversíveis ao ambiente marinho (WHOI, 1952; GOMES, 2004).

A aplicação de tintas tem sido realizada para combater a bioincrustação, no entanto, estas tintas apresentam comportamento biocida que promovem a liberação de substâncias tóxicas, provocando alterações na fauna e flora do local. O tributil estanho (TBT) foi utilizado por longo período como base antibioincrustante nas tintas, que formam uma película ao redor do casco impedindo a fixação de microrganismos. Em função da agressividade ao ambiente marinho, o Comitê de Proteção do Ambiente Marinho (MEPC) tornou-o proibido desde 2006. Além disso, a quantidade elevada de micro-organismos diferenciados praticamente impossibilita o desenvolvimento de um material que seja eficiente em todo o ambiente ao qual o material será exposto (BORGES,1997; DOBSON, CABRIDENC 1990).

Neste contexto, busca-se realizar um levantamento dos parâmetros e equipamentos necessários a um reservatório que seja capaz de simular os fenômenos de bioincrustação em estruturas navais. De modo geral, deseja-se iniciar o estudo do desenvolvimento de uma metodologia simples capaz de ser empregada em centros universitários/laboratórios contribuindo para soluções na indústria naval. Com isso, ampliar os conhecimentos dos problemas que permeiam a indústria naval e propor soluções para tais problemas, atendendo e minimizando os processos de bioincrustação em diferentes materiais.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Bioincrustação

Segundo Ferreira *et al* (2002), todos os metais estão sujeitos à corrosão e deterioram-se com o uso ou à exposição a ambientes oxidantes ou corrosivos. O termo bioincrustação é associado aos seres que se estabelecem em superfícies artificiais, uma vez que toda estrutura artificial submersa em água, sofre acumulação de material biológico - microrganismos e macrorganismos (FLEMMING, 2009). A bioincrustação é um dos maiores problemas atuais enfrentados pela tecnologia marinha, não sendo ainda perfeitamente definida. O conjunto de organismos a serem encontrados em uma estrutura depende das espécies presentes no local de exposição e da sua capacidade para se fixar e crescer na superfície, resistindo à ação de ondas e de correntes (ABARZUA, JAKUBOWSKI, 1995; MENASHA, 1952).

Os biofilmes correspondem a primeira forma de vida registrada na Terra, que datam de aproximadamente 3,5 bilhões de anos (SCHOPF, HAYES, WALTER, 1983), existindo até os dias atuais. São encontrados até mesmo em ambientes extremos, como as paredes das geleiras, nas saídas de calor, sob pressão de 1000 bar no fundo do oceano, em água ultrapura, bem como soluções altamente salgadas ou em ambientes radioativos, como usinas de energia nuclear. (EHRlich, 2002).

Em diversas áreas da indústria, os problemas de bioincrustação originam da mesma causa: biofilmes microbianos. O processo de formação do biofilme inicia-se com a formação de uma fina película de 20-80 nm de espessura, com alto poder de adesão, podendo atingir a ordem de centímetros, como crescimento dos tapetes de algas. Os biofilmes podem alterar as

cargas eletrostáticas e a superfície do material, facilitando o crescimento microbiano e aumentando o processo corrosivo. Os biofilmes seguem leis naturais importantes que precisam ser melhores entendidas para o desenvolvimento de soluções mais eficazes de combate. Basicamente, os microrganismos colonizam superfícies, sequestram nutrientes da água e converte-os em metabolismo e biomassa. (FLEMMING, 2009; BEECH, SUNNER, HIRAOKA, 2005; XAVIER et al., 2003).

O estabelecimento das bioincrustações depende principalmente da temperatura da água do mar, que determina os períodos de reprodução e taxas de crescimento dos organismos, salinidade e a quantidade de radiação solar (WHOI, 1952). Gentil (1996) afirma que a formação da incrustação no verão é muito mais intensa que no inverno, por isso ocorre um constante crescimento na região tropical da Terra. As águas costeiras, ricas em nutrientes, apresentam um risco mais elevado do que as águas de mar aberto, enquanto as espécies incrustantes são muito menos abundantes nas águas profundas escuras em comparação com a superfície do mar (YEBRA; KIIL; DAM-JOHANSEN, 2004).

Os balanídeos, comumente conhecidos por cracas, apresentados na Figura 1, possuem eficaz adaptação à fixação e à vida bentônica. Por ser um dos principais grupos provedores da bioincrustação, leva os estudiosos da tecnologia marinha a buscarem soluções para combater o seu desenvolvimento (RITSCHOFF *et al.*, 1992). Estão presentes em vários sistemas que utilizam a água do mar, por exemplo, casco de embarcações, caixas de mar, trocadores de calor, sistemas de refrigeração e plataformas de petróleo (GOLLASCH, 2002; STACHOWITZ *et al.*, 2002; THIYAGARAJAN *et al.*, 1999).



Figura 1 – Foto ilustrativa de balanídeos, comumente conhecidos por cracas.

2.2. Bioincrustação na área naval

São diversos os aspectos negativos do fenômeno da bioincrustação na área naval. A deposição dessas substâncias biológicas tem grande influência nesses processos que acarretam, por exemplo, perdas energéticas. Seus efeitos adversos são bem conhecidos e podem ser econômicos, ambientais ou relacionados com a segurança.

A fixação de cracas, algas e mexilhões provenientes da bioincrustação causam um considerável aumento no peso da embarcação e gera aumento na rugosidade da mesma, levando a uma maior resistência por atrito, sendo que o incremento no deslocamento de água diminui a flutuabilidade. Além disso, embarcações que apresentam aumento de carga sofrem acréscimo no consumo de combustível (KIIL *et al.*, 2007).

Ainda, o fenômeno da bioincrustação pode causar entupimento, alterações no escoamento do fluxo no costado do navio e maximização do desgaste pela erosão em tubulações marítimas, e também pode deixar os cabos submarinos quebradiços, reduzindo sua durabilidade (WHOI, 1952).

Além de todos os prejuízos no setor naval, há uma problemática relacionada com questões ecológicas. Na Figura 2 é apresentada a entrada de água no casco da embarcação para as caixas de mar. Esta figura representa o antes e depois do procedimento de manutenção periódica realizado em embarcações. Na Figura 2(a), a aquisição de água é parcialmente obstruída. Após procedimentos de raspagem, lavagem jateamento e pintura, têm-se o resultado mostrado na direita, Figura 2(b).

A água de lastro, embarcada através das caixas de mar, tem papel fundamental na estabilidade da embarcação, no combate a incêndios, em sistemas sanitários e resfriamento de sistemas propulsores e condensadores. Muitos organismos, mesmo após longos períodos de viagens, sobrevivem na água de lastro. Com a liberação desta água no novo ecossistema, pode haver uma colonização desses seres (JURAS, 2003). O transporte de uma região para outra pode causar desequilíbrio ambiental, relacionado à competição, predação e sucessão dos microrganismos.



Figura 2 - Bioincrustação na entrada da caixa de mar de um navio.

Segundo Gentil (1996), essa deposição de substâncias biológicas influencia também no desempenho de sonares dos navios devido à redução da sensibilidade e transmissão do sinal sonoro. Além disso, prejudica o desempenho dos navios, aumentando a frequência do procedimento de docagem para a raspagem e limpeza dos cascos. A docagem, além de agregar um elevado custo ao processo, retira a embarcação de operação, o que implica na elevação das despesas.

2.3. Caracterização dos processos de bioincrustação

Para a melhor representação em laboratório dos processos que regem o crescimento de biofilmes faz-se necessário um conjunto de parâmetros, sendo um tópico ativo de pesquisa atualmente. Nguyen, Roddick e Fan (2012) trazem em um artigo sobre bioincrustação em sistemas de osmose reversa, os principais fatores que influenciam na adesão de bactérias e no crescimento do biofilme na superfície, ilustrados na Tabela 1.

Nesta tabela, os fatores relacionados ao crescimento do biofilme estão listados separadamente levando em consideração àqueles relacionados com os microrganismos, com a superfície e com a água analisada. Dentre os parâmetros listados, verifica-se que a temperatura, o pH, a velocidade do fluido e a quantidade de nutrientes são fundamentais para o crescimento e também para a compreensão dos mecanismos que regem o processo de formação do biofilme.

| Fatores que afetam a adesão de microrganismos em superfícies das membranas | | |
|--|---------------------|-------------------------------|
| Microrganismo | Superfície | Água |
| Espécies | Composição química | Temperatura |
| Composição da população | Carga da superfície | pH |
| Densidade populacional | Tensão superficial | Matéria orgânica dissolvida |
| Fase de crescimento | Hidrofobicidade | Matéria inorgânica dissolvida |
| Quantidade de nutrientes | Filme condicionante | Matéria suspensa |
| Hidrofobicidade | Rugosidade | Viscosidade |
| Cargas | Porosidade | Forças cisalhantes |
| Respostas fisiológicas | - | Condições de contorno |
| - | - | Fluxo |

Tabela 1 - Tabela apresentando os principais fatores que afetam à adesão de microorganismos.

A temperatura é uma variável muito significativa no crescimento do biofilme, ou seja, pequenas variações manifestam uma enorme diferença no desenvolvimento dos microrganismos. Algumas pesquisas apresentam estudos nos quais a temperatura do ambiente é alterada e, como consequência, verifica-se um espessamento do biofilme aproximadamente 80% maior ao elevar a temperatura de 30 a 35°C. Estudos mostram que para muitas bactérias encontradas na biota marinha, a temperatura de máximo crescimento de biofilme é por volta de 40°C (MELO; BOTT, 1997).

Em estudos conduzidos por Melo e Bott (1997) verifica-se que, mantendo as propriedades físicas da água constantes, a velocidade foi variada para analisar o crescimento do biofilme. Foram feitos experimentos considerando o número de Reynolds em torno de 11000. Como resultado, para uma velocidade do fluido de 0,54 m/s, a espessura do filme, após 15 dias, tornou-se 10 vezes mais espessa que o biofilme formado com uma velocidade de 2 m/s. Fica evidenciado que a velocidade, além de variar a espessura do filme, altera a densidade do mesmo. Outro resultado, em um diferente experimento, com a bactéria *Pseudomonas fluorescens* mostra que, com um aumento na velocidade de 0,13 m/s para 0,54 m/s, a densidade do biofilme seco aumenta de 26 kg/m³ para 76 kg/m³.

Outro fator de extrema importância para o crescimento do biofilme é a quantidade de nutrientes na água. Estudos mostram que, quanto mais nutrientes na água, maior a taxa de crescimento do biofilme (MELO; BOTT, 1997). Em um dado experimento num tubo com velocidade de 1,2 m/s verifica-se que o aumento do nível de nutriente (baseado em glicose), de 4 mg/L para 10 mg/L, influencia em aumento maior que 400% na espessura do biofilme.

Finkel, Kraigsley e Ronney (2003) analisaram o crescimento do biofilme já formado. Seu estudo evidencia que o crescimento do filme é mais efetivo em um fluxo de água com nutrientes do que com nutrientes e bactérias. Conclui-se, com este estudo, que o biofilme não aumenta por "recrutamento" de novas bactérias e sim por desenvolvimento das próprias colônias. Com isso, é necessário que o reservatório apresente uma solução capaz de controlar os nutrientes da água e, assim, favorecer o crescimento do processo de bioincrustação.

3. Metodologia

Considerando que o tema em estudo está fortemente relacionado com a engenharia naval e que ainda necessita de grande entendimento dos conceitos relacionados ao processo de bioincrustação de forma a possibilitar a sugestão de alguma solução para o problema, verifica-se a necessidade de aportar-se dos conceitos relativos ao tema. Desta forma, o presente artigo apresenta, como uma importante parte do seu desenvolvimento, uma extensa revisão bibliográfica, tendo sido baseada em artigos, patentes, teses e outros documentos para o domínio do assunto e aquisição do conhecimento necessário para embasar o projeto do

reservatório proposto. Além disso, para apoiar tecnicamente a pesquisa realizada, fez-se uma entrevista com profissionais da área de Engenharia Naval. Ainda, fez-se um levantamento dos principais equipamentos e suas respectivas funções no projeto.

3.1. Entrevista direcionada

Para uma melhor compreensão dos problemas relacionados com o tema de estudo, realizou-se uma entrevista direcionada com dois profissionais da área naval para avaliar suas percepções quanto à importância do estudo desenvolvido neste artigo. No questionário, buscou-se abranger assuntos. A opinião de um técnico é confrontada com a de um usuário comercial, sendo possível notar os problemas que ambas as partes (fabricante e consumidor) enfrentam na ausência de uma solução definitiva ao processo de bioincrustação. O questionário entregue aos entrevistados é apresentado no Anexo 1.

Giovani Pivatto Filho, representante técnico da International Paint com mais de dez anos de experiência como inspetor de qualidade na área de revestimentos marinhos desta fabricante, foi um dos entrevistados. Além disso, Rafael da Silva, atualmente gerente de produção do Estaleiro Navship – Navegantes, com mais de 20 anos de experiência com pintura e preparação de superfícies em diversos estaleiros da região, também foi ouvido.

3.2. Seleção dos equipamentos

O reservatório a ser proposto necessita de alguns equipamentos essenciais para a simulação mais autêntica do ambiente marinho. Alguns parâmetros necessitam ser bem controlados a fim de não comprometer a confiabilidade do experimento e a avaliação das formas de caracterização utilizadas por outros grupos de pesquisa a nível nacional e mundial também foram consideradas.

Com o embasamento teórico, buscou-se a definição de parâmetros característicos do reservatório. Patentes, artigos, teses de mestrado e doutorado, fóruns de adeptos ao aquarismo foram fontes de informações. A definição dos equipamentos possibilitou o projeto conceitual em software de simulação SolidWorks® que é apresentado como sugestão inicial para o projeto construtivo.

4. Resultados e discussões

4.1. Análise das entrevistas

Ambos os entrevistados concluíram que a adesão dos microrganismos prejudica o desempenho das embarcações devido ao aumento da resistência ao avanço, portanto, um maior consumo de combustível é requerido. Silva ainda ressaltou problemas como a obstrução das caixas de mar, diminuição da dissipação de calor dos trocadores de calor.

As vantagens de um reservatório que possibilite o estudo em laboratórios são questionadas na segunda pergunta. O depoimento de Silva reforça a importância do presente estudo. O entrevistado destacou a possibilidade da variação de alguns parâmetros do reservatório para a simulação do ambiente de operação da embarcação. Além disso, a facilidade na coleta de dados e a segurança das amostras são outras vantagens. A preservação das amostras é necessária, visto que um experimento em campo realizado por Messano (2007), na sua tese de doutorado, resultou na perda de alguns corpos de prova, fato que poderia ter prejudicado a pesquisa. Pivatto resalta a importância dos testes para que os fabricantes tenham conhecimento do desempenho do produto antes de disponibilizá-lo ao mercado.

Pivatto concorda com o caminho atual da tecnologia anti-incrustante para um futuro ecologicamente correto, ainda destaca as tintas à base de silicone, sem agentes químicos, que

tendem a ser mais utilizadas devido à preservação do meio ambiente. Silva exemplifica a criação de tintas 100% sólidas, livre de solventes agressores ao ambiente marinho.

4.2. Equipamentos e componentes do reservatório

4.2.1. Material do reservatório

Reservatórios que possuem um maior volume de água são menos suscetíveis às mudanças referentes à temperatura e concentrações do que os menores, e são mais fáceis de serem mantidos. Com maior quantidade de água teremos uma menor oscilação de temperatura, bem como, uma menor relação de matéria orgânica por litro de água. Opta-se por um reservatório de 540 litros.

4.2.2. Obtenção da água

A água utilizada nos experimentos será inicialmente obtida de diferentes localidades. Com a aquisição da água do mar, faz-se, também, a aquisição de microrganismos bioincrustantes. Entretanto, com o desenvolvimento do presente artigo pretende-se possibilitar uma metodologia de captação e posterior análise com cultivo e alocação de diferentes microrganismos no reservatório.

4.2.3. Skimmer

Skimmer, comumente encontrado em piscinas, permite eliminar os resíduos superficiais através da aspiração. Este equipamento é instalado, também, com o objetivo de controlar o nível da água, evitando transbordamentos acidentais. Contudo, desempenha função de remover compostos orgânicos de um reservatório antes de se transformarem em fosfatos e nitratos - substâncias que diminuem a qualidade da água. Este equipamento também auxilia na aeração do reservatório.

4.2.4. Resfriadores (*Chillers*)

Os resfriadores de água, comumente conhecidos por *chillers*, mantêm a temperatura desejada nos ambientes instalados. O uso deste equipamento será indispensável nos experimentos feitos simulando regiões que possuem águas geladas e para evitar que a temperatura se eleve pelo calor gerado nos equipamentos como, por exemplo, lâmpadas e bombas.

4.2.5. Aquecedor com termostato

Será responsável por elevar a temperatura da água se a temperatura ambiente for menor que a temperatura desejada. O termostato tem a função de impedir que a temperatura de determinado ambiente varie além dos limites pré-estabelecidos. Como já discutido anteriormente, é ideal que seja utilizado um aquecedor para aumentar a temperatura da água e, conseqüentemente, acelerar o processo de bioincrustação.

4.2.6. *Sump*

O *Sump* consiste de um recipiente utilizado para armazenar alguns equipamentos, possibilitando uma melhor organização dos mesmos. As principais vantagens do uso de um sistema *sump* recaem em: aumento do volume total de água no sistema; conservação da temperatura no reservatório; melhor circulação da água no retorno ao reservatório; aumento da oxigenação.

4.2.7. Bomba de recalque

As bombas de recalque são utilizadas no sump com objetivo de bombear a água presente no mesmo para o reservatório.

4.2.8. Bombas de circulação interna (*wave makers*)

As bombas de circulação interna se caracterizam por apresentarem menores potências se comparadas as de recalque. Têm função de simular o movimento natural das ondas permitindo evitar pontos de não circulação de água. Alguns modelos destas bombas apresentam um controlador de velocidade da rotação da bomba.

4.2.9. Iluminação com diferentes comprimentos de onda

Os corais vivem em simbiose com as algas unicelulares denominadas *zooxanthellae* (<http://www.oceanario.pt/cms/1297>). Simbiose é uma inter-relação entre espécie que oferece vantagens para ambos. Nesse caso, a alga se deposita no tecido dos corais. Os corais excretam fosfatos, compostos nitrogenados e gás carbônico que são nutrientes que favorecem a realização da fotossíntese pelas algas. As algas, assim, fornecem aos corais nutrientes derivados da fotossíntese e auxiliam na formação do esqueleto dos corais pela secreção de cálcio. Todavia, as algas não são capazes de realizar a fotossíntese somente com os nutrientes oferecidos pelos corais. O elemento mais importante para a realização desse processo é a luz. No ambiente marinho a luz do sol supre essa necessidade das algas. Em um aquário marinho é necessária uma iluminação capaz de reproduzir em vários aspectos a luz solar.

A utilização de lâmpadas com comprimentos de onda similares ao da radiação visível faz-se necessária a fim de ampliar as possibilidades de estudo. A escolha do tipo de lâmpada mais adequada depende de fatores como intensidade da luz e temperatura de cor. A distância da iluminação da superfície da água deve ser menor que 30 cm para ter uma incidência luminosa dentro da água. O fotoperíodo deve ser em média de 12h por dia e sempre durante as mesmas horas para que os organismos presentes no aquário sintam-se mesmo em um ambiente marinho e que a profundidade do aquário não deve ser maior que 60 cm, já que a luz não incidiria de maneira eficaz no fundo.

4.2.10. Temporizador

A utilização de um temporizador tem como função controlar a sequência de um processo. Geralmente, é adicionado para automatizar sistemas por um período de tempo, sendo capaz de designar diversas funções. Com este mecanismo, é possível, por exemplo, programar a iluminação do tanque para ficar acesa durante um intervalo de tempo do dia e, assim, simular a luz proveniente do sol.

4.2.11. Batedor de ondas

O ambiente marinho apresenta grandes variações de maré e presença de correntes de água em função das diferenças de temperatura e ventos. Todos estes fatores promovem o surgimento de ondas, que podem interferir no processo de crescimento do biofilme. A simulação deste tipo de situação em um reservatório é fundamental e, para isso, faz-se uso de um equipamento como bater de ondas.

Trindade (2008), na sua dissertação de mestrado, apresenta o bater de ondas do tipo *plunger*. É composto de um êmbolo que executa movimentos verticais de entrada e saída na água, forçando a geração da onda, conforme ilustrado na Figura 3. Este bater é capaz de alterar os parâmetros de geração de ondas através da variação da velocidade vertical.

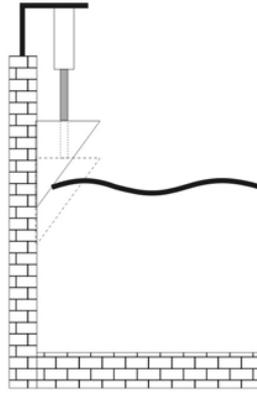


Figura 31 - Ilustração de um gerador de ondas do tipo *plunger*.

4.2.12. Simulação de vento

Este sistema é composto por algumas ventoinhas e um controlador com a finalidade de simulação da brisa marinha. Com a base ajustável, é possível optar por direcionar o sentido do vento.

4.2.13. Termômetro

O termômetro é um aparelho utilizado para medir a temperatura em uma determinada escala. Será importante para obter um controle mais preciso da temperatura da água do tanque.

4.2.14. Refratômetro

O refratômetro para medição de salinidade é um equipamento destinado a medir a concentração de água salgada em uma solução. No presente projeto este equipamento é fundamental para simular as condições de salinidade de um dado ambiente marinho em estudo que deseja avaliar o processo de bioincrustação.

4.2.15. PHmetro

O pH é a abreviação de Potencial Hidrogeniônico, ou seja, é a concentração do íon hidrogênio existente na água. Quanto mais hidrogênio presente, mais ácida se torna a água e, conseqüentemente, mais ativa a mesma será para realizar processos de corrosão e bioincrustação. Há uma escala numérica para a classificação do pH, com valores entre 0 e 14, o pH da água do mar é da ordem de 7 a 9.

4.3. Proposição dos pré-requisitos

A utilização dos equipamentos citados e descritos na sessão anterior visa um monitoramento preciso dos parâmetros necessários ao estudo do processo de bioincrustação e, também viabiliza que diversos estudos na área de corrosão, por exemplo, sejam desenvolvidos.

Após pesquisa bibliográfica sobre o estudo dos processos de bioincrustação, verifica-se que em poucos lugares existe um ambiente no qual seja possível simular com confiabilidade as condições marinhas. Na verdade, o maior problema relacionado com os processos de bioincrustação recai nas diferentes condições dos ambientes aos quais os materiais/soluções desenvolvidos são expostos. Neste contexto, o presente artigo visou desenvolver um projeto conceitual de um reservatório para o estudo da bioincrustação em estruturas navais e que possa ser utilizado para promover um maior conhecimento dos princípios físicos e biológicos que regem este processo e favoreçam o desenvolvimento de soluções para o mesmo.

Segundo a INTERNATIONAL (2008), navios com grande risco de bioincrustação são aqueles que navegam a menos de 10 nós, passam mais de 50% do seu tempo parados e que naveguem em águas tropicais perto da costa. Estas condições precisam ser simuladas em

laboratório de forma a possibilitar uma maior confiabilidade nos estudos e devem ser levados em consideração para a definição das condições de operação do reservatório.

4.3.1. Salinidade

A definição das condições de operação deste reservatório deverá ser realizada de acordo com o ambiente que pretende simular. A salinidade da água é praticamente constante em oceanos distintos, mas apresenta grande variação em mares interiores. O litoral brasileiro é banhado pelo Oceano Atlântico, sua salinidade média é de 3,7%, apresentando os maiores valores em regiões afastadas de rios.

4.3.2. pH e oxigênio dissolvido

Messano (2007) realizou experimentos nas proximidades da Ilha de Cabo Frio, RJ, em ambiente marinho. Com quase 300 dias de experimento, O pH médio da água do mar foi de 8,1; concordando com Gentil (1996) que apresenta, para esta mesma região, valores de pH médio entre 7,2 e 8,6.

Um ambiente oxidante apresenta valores em oxigênio acima de 2mL/L, valores abaixo deste patamar correspondem a um ambiente disóxido (BEST et al apud MESSANO, 2007). O comportamento dos materiais metálicos depende da concentração de oxigênio no meio. Ainda tratando do experimento realizado por Messano (2007), a média do teor de oxigênio dissolvido durante o período foi de 5,34 mL/L. Considerando o exposto, o reservatório a ser elaborado deverá possuir um valor de pH da ordem de 8,0 e variações nos teores de oxigênio que se aproximem das condições acima descritas.

4.3.3. Velocidade do escoamento

A fixação de organismos marinhos é dificultada em objetos que estão em movimentos, A faixa de velocidade que impede a fixação dos organismos parece estar entre 0,83 e 1,81 m/s (CLAPP apud GENTIL, 1996) e é influenciada pela rugosidade da superfície. Neste sentido, o reservatório proposto deverá simular ondas e correntes marítimas que atinjam as velocidades nas quais verificam-se maior formação dos processos de bioincrustação. De forma geral, os equipamentos instalados no reservatório deverão permitir que sejam simuladas correntes de água de 0 (zero) até valores usuais de navegação das embarcações que frequentemente apresentam bioincrustação, da ordem de 5m/s. Dentre os equipamentos selecionados para compor o presente reservatório, alguns são capazes de auxiliar no controle da velocidade do escoamento, dentre eles o circulador interno, que será o principal responsável pela movimentação da água e o batedor de ondas.

De fato, tem-se o interesse da simulação das correntes marítimas visto que o fenômeno da bioincrustação tem maior taxa de adesão quando a embarcação encontra-se fora de operação. Com estes aparatos, uma simulação do comportamento da bioincrustação pode ser estudada, verificando, por exemplo a eficiência de tintas anti-incrustantes quando ocorre variação na velocidade da embarcação.

4.3.4. Temperatura e iluminação

De um modo geral o aumento da temperatura acelera a corrosão. Além disso, um grande número de organismos formadores de bioincrustação é afetado pela luz, sendo que a maioria ocorre em superfícies escuras ou sombreadas. Entretanto, as algas verdes se desenvolvem melhor sob ação da luz (GENTIL, 1996). Com a iluminação definida para o reservatório e

programando o temporizador para simular a luz natural, tem-se uma combinação de luz favorável para o processo de bioincrustação.

4.4. Projeto em Solidworks do reservatório

Após avaliação dos equipamentos e pré-requisitos necessários, realizou-se uma sugestão inicial para o processo construtivo do reservatório de testes. Este projeto foi elaborado utilizando-se um software computacional SolidWorks®.

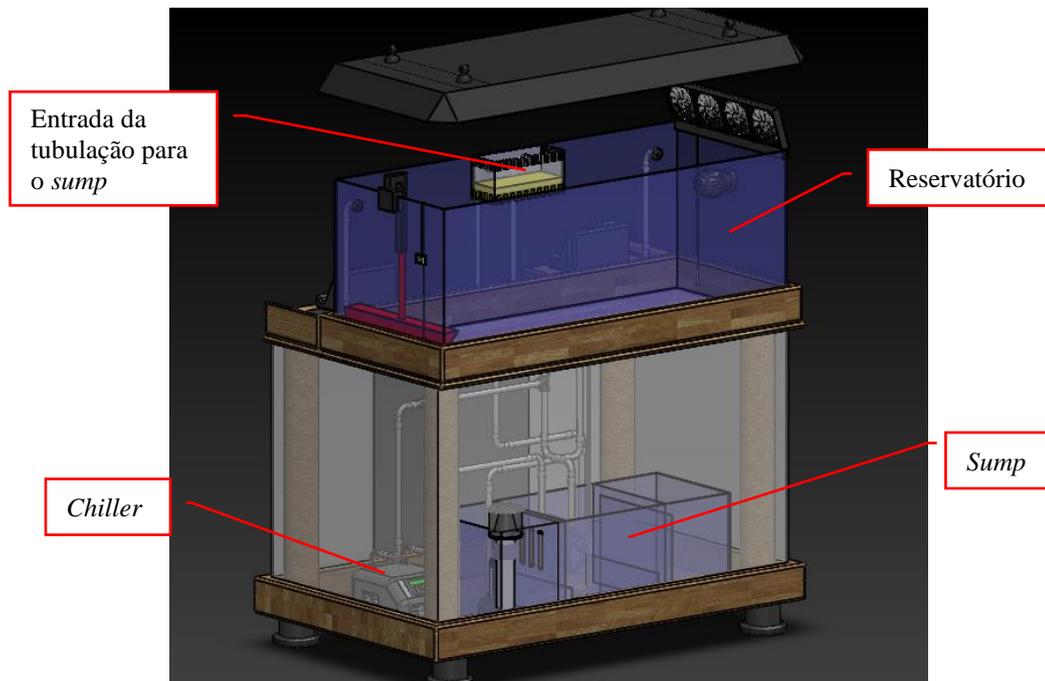


Figura 4 - Vista geral do reservatório 1.

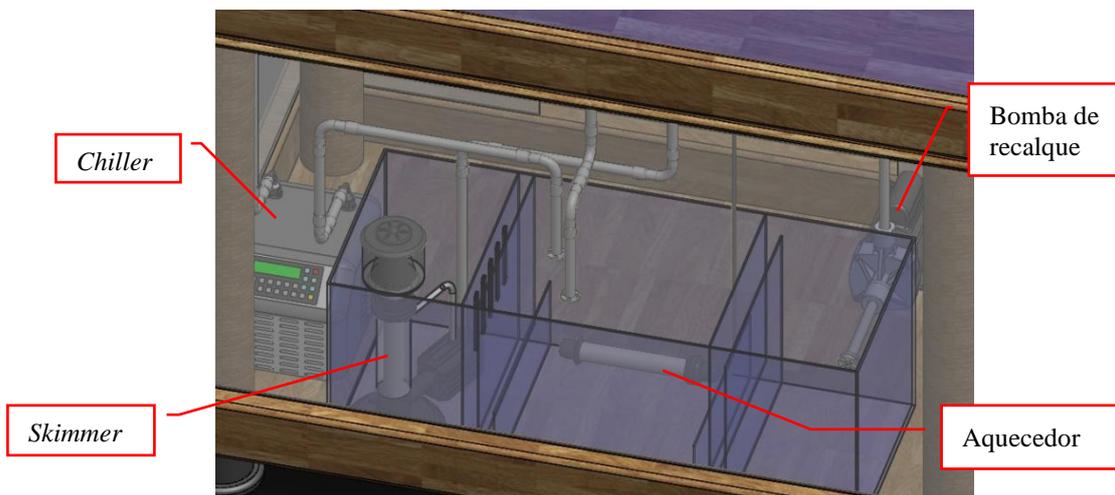


Figura 5 - Vista do sump e os equipamentos nele presentes

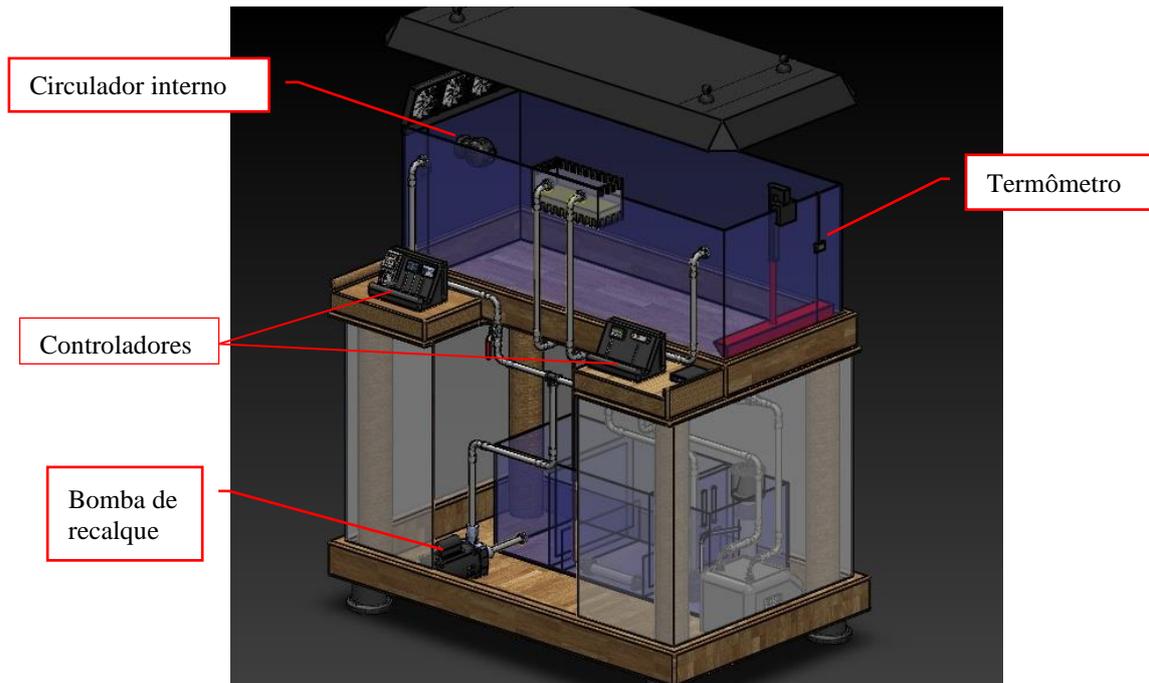


Figura 6 - Vista geral do reservatório 2.

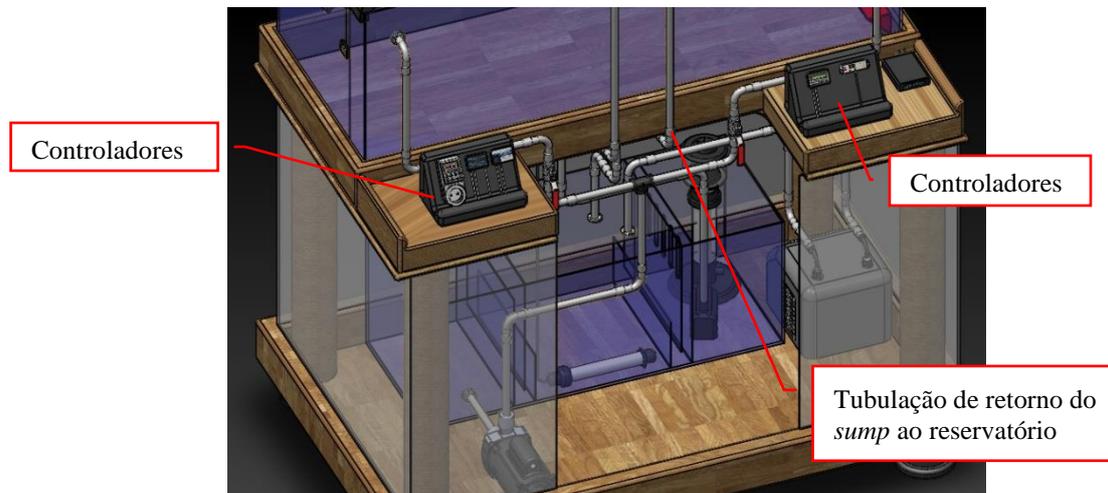
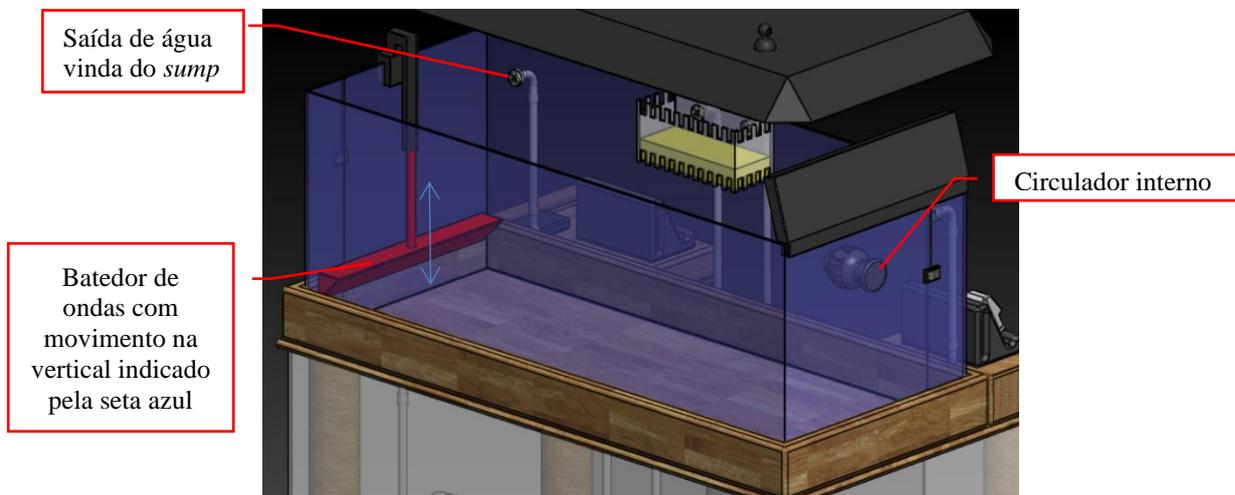


Figura 7 - Bancadas de controle e tubulações.



Figura 8 - Vista da iluminação, ventoinhas e termômetros.

Figura 9 - Batedor de ondas do tipo *plunger*.

5. Conclusão

O estudo da bioincrustação é fundamental devido, principalmente, aos inúmeros problemas causados por este fenômeno em diversos segmentos da indústria, especialmente na indústria naval, e por não apresentar uma solução amplamente eficiente para o seu controle. A revisão bibliográfica realizada permitiu compreender melhor as causas e efeitos deste fenômeno tendo sido muito importante para a realização de todas as etapas, em específico para a determinação dos parâmetros de operação do reservatório.

Com a análise das entrevistas, ficou evidente que a seleção de uma tinta anti-incrustante é uma tarefa que exige a consideração de diversos fatores para se obter uma solução adequada. A entrevista direcionada fortaleceu a importância deste tema na área naval e permitiu concluir que as soluções, até então utilizadas, são custosas e obrigam paradas de operação das embarcações para processos de manutenção e prevenção.

O levantamento dos possíveis equipamentos a serem utilizados no reservatório contou com a possibilidade de emprego de aparatos amplamente comercializados, exceto o batedor de ondas, que exige a execução de projeto à parte. Isto permite concluir que a construção do reservatório é viável de ser realizada e sua execução poderá contribuir significativamente com

os estudos em laboratório, principalmente no que tange os processos de bioincrustação e corrosão em estruturas navais.

Com a proposta de projeto elaborada em SolidWorks®, buscou-se o melhor posicionamento de todos os equipamentos e seus controladores.

De forma geral, no presente artigo, buscou-se elaborar um projeto conceitual de um reservatório para a simulação do ambiente marinho, que fosse capaz de auxiliar na avaliação dos fenômenos da bioincrustação em estruturas navais. Após a realização do trabalho pode-se concluir que a execução do projeto não é trivial devido ao ambiente marinho ser eventualmente diferente em cada região de operação das embarcações. Apesar de toda a revisão bibliográfica realizada, o tema carece de informações precisas para a caracterização deste fenômeno e para a proposição mais concreta de todas as condições necessárias para a real operação do reservatório.

Referências

- ABARZUA, S., JAKUBOWSKI, S.** *Biotechnological investigation for the prevention of biofouling. I. Biofouling and biochemical principles for the prevention of biofouling.* Marine Ecology Progress Series, v.123, 1995.
- BEECH, I. B.; SUNNER, J. A.; HIRAOKA, K.** *Microbe-surface interactions in biofouling and biocorrosion processes.* International Microbiology, [s.l.], v. 8, n. 3, p. 157-168, Sept. 2005.
- BOOT, T. R.; MELO, L. F.** *Biofouling in Water Systems.* ELSEVIER Science, New York, 14, p. 375-381,1997.
- CHARACKLIS, W. G.** *Fouling biofilm Development: a process analysis.* Biotechnology and Bioengineering, New York, v. 23, n. 9, p. 1923-1960, Sept. 1981.
- COMPÈRE, C. et al.** *Kinetics of conditioning layer formation on stainless steel immersed in seawater.* Biofouling, Chur, v. 17, n. 2, p. 129-145, 2001.
- DOBSON, S.; CABRIDENC, R.** *Tributyltin Compounds.* Environmental Health Criteria; 116, International Programme on Chemical Safety. Gênova, 1990.
- DURR, Simone; THOMASON, Jeremy.** *Biofouling.* Iowa, USA: Blackwell Publishing. 2010.
- EHRlich, H. L.** *Geomicrobiology,* 4 ed. New York: Marcel Dekker, 2002.
- FERREIRA et al.** *Curso de Formação de Operadores de Refinaria: Química Aplicada – Corrosão.* Curitiba: PETROBRÁS : UnicenP, 2002.
- FINKEL, S. E; KRAIGSLY, A.; RONNEY, P. D.** *Hydrodynamic influences on biofilm formation and growth.* Los Angeles, 2003.
- FLEMMING et al.** *Marine and Industrial Biofouling.* Los Angeles. USA: Springer, 2009
- GAMA, B. A. P. da; PEREIRA, R. C.; COUTINHO, R. A.** *A bioincrustação marinha.* In: PEREIRA, R. C.; SOARES-GOMES, A (Orgs.). *Biologia Marinha.* 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência. 2009. P. 299-318.
- GENTIL, Vicente.** *Corrosão.* 3. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. 1996.
- GOLLASCH, S.** *The importance of ship hull fouling as a vector species introductions into the North Sea.* Biofouling, v. 18, n. 2, p. 105-121, 2002.
- GOMES, Ana Paula Almeida.** *Água de Lastro.* Santos: Diretoria de Portos e Costas, 2004.
- INTERNATIONAL PAINT, Akzo Nobel Ltda.** *Catálogo Marítimo.* Versão 5.0. Rio de Janeiro, International Paint, 2008.
- JURAS, Ildia da A. G. M.** *Problemas causados pela água de lastro.* Brasília: [s.n.]. 2003
- MENASHA, W. I.** *Marine fouling and its prevention.* Woods Hole Oceanographic Institute, Annapolis, n 580, p. 1-5, Sept,1952.

- MESSANO, L. V. R. et al.** *Biocorrosão marinha: interface entre a bioincrustação, processos eletroquímicos e ciência dos materiais*. Revista Pesqueira Naval, Brasília, v. 21, p. 32-43, 2008.
- NATISHAN, P. M. et al.** *Corrosion behavior of some transition metals and 4340 steel metals exposed to sulphate-reduction bacteria*. Corrosion, Houston, v. 55, n. 1, p. 1062-1068, 1999.
- NGUYEN, T.; Roddick, F.; FAN, L.** *Biofouling of water treatment membranes: A review of the underlying causes, monitoring techniques and control measures*. Membranes, 2, p. 804-840, 2012.
- RADULOVIC et al.** *Biofouling resistance and practical constraints of titanium dioxide nanoparticulate silane/siloxane exterior façade treatments*. ELSEVIER, p. 150-158, 2013.
- RAILKIN, Alexander.** *Marine Biofouling: Colonization Processes and Defenses*. Florida: CRC Press, 2004.
- RITTSCHOF, Dan.** *Natural Product Antifoulants and Coatings Development*. Marine Chemical Ecology. Boca Raton FLA: CRC Press, 543-557, 2001.
- SCHOPF, J. W.; HAYES, J. M.; WALTER, M. R.** *Evolution on earth's earliest ecosystems: recent progress and unsolved problems*. In: Schopf JW (ed.) Earth's earliest biosphere. Princeton University Press, New Jersey, p. 361 – 384, 1983.
- STACHOWITZ et al.** *Offshore oil platforms and fouling communities in the southern Arabian Gulf (Abu Dhabi)*. Marine Pollution Bulletin, v.44, p. 853-860, 2002.
- THIYAGARAJAN et al.** *Fouling barnacles: Larval development, settlement behavior and control technology*. Journal of the Indian Institute of Science (India), v. 79, n. 5, pp. 399-414, 1999.
- TRINDADE, Marcela R. G. da.** *Implementação de um servo-controlador utilizando comunicação óptica sercos para o controle de um batedor de ondas tipo flap*. Rio de Janeiro: COPPER/UFRJ, 2008.
- WHOI – Woods Hole Oceanographic Institution.** *Marine fouling and its preventions*. U.S. Naval Institute. Annapolis: Iselin, 1952.
- XAVIER, J. B. et al.** *Monitorização e Modelação da Estrutura de Biofilmes*. Portugal: Boletim de Biotecnologia, 2003
- 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.

ANEXO

QUESTIONÁRIO APLICADO A PROFISSIONAIS DO SEGMENTO NAVAL SOBRE A IMPORTÂNCIA DO ESTUDO REALIZADO

Quais os problemas que você observa na ausência de um anti-incrustante totalmente eficiente para cascos dos navios?

Que vantagens você nota na realização de experimentos de tintas anti-incrustantes em laboratórios simulando o ambiente marinho?

Qual tipo de anti-incrustante é mais adequado para aplicação em embarcações de aço? Por quê?

Qual a sua opinião a respeito da composição química das tintas anti-incrustantes em relação ao impacto ambiental que ela pode causar no meio ambiente?

Nome do entrevistado: Rafael da Silva

- Os anti-incrustantes têm por finalidade impedir a impregnação de microrganismos. A escolha de um bom anti-incrustante deve ser bem avaliada, pois a este sistema deve ser levado em conta o tipo de navegação e o local de operação da embarcação. Caso o sistema não funcione corretamente, verificam-se vários problemas como: obstrução de caixas de mar, trocadores de calor (grid cooler), quilha de refrigeração, incrustação em eixo propulsor, hélice, dentre outros acessórios anexos ao casco. O problema principal é a perda de rendimento causado pelo atrito excessivo entre o casco e a água.
- Estudos de caso realizados no ambiente real possibilitam um estudo mais preciso do problema, porém as amostras podem ser submetidas às avarias como: ação de vândalos e perda de amostra. A necessidade de ir até o local de estudo dificulta a coleta do material. E, imagina-se que com um tanque em laboratório, alguns desses problemas possam ser resolvidos, além de permitir a simulação de ambientes de outras regiões a qual a embarcação irá operar.
- Devido as embarcações de aço ficarem boa parte de seu tempo atracadas e serem embarcações com velocidade médias de 8 nós ($\approx 16\text{km/h}$) o anti-incrustante mais apropriado seria um anti-incrustante SPC do tipo de auto polimento e livre de estanho, pois ocorre uma dissolução química controlada do filme de tinta na água do mar, tendo como resultado o polimento e alisamento do filme de tinta em serviço.
- As empresas fornecedoras de tinta vêm se preocupando cada vez mais com a agressão dos seus produtos ao meio ambiente, modificando suas composições químicas, um exemplo bem claro são as tintas com 100% de sólidos, livre de solventes que são os maiores agressores ao meio ambiente devido à concentração de Xileno.

Nome do entrevistado: Giovane Pivatto Filho

- No caso da utilização de um anti-incrustante inadequado ou ineficiente na embarcação, o excesso de incrustação nas áreas abaixo da linha da água será inevitável. Neste caso, problemas como diminuição da velocidade de navegação e aumento no consumo de combustível surgirão e gastos com docagens não programadas e paradas da embarcação serão necessários
- Os testes de produtos anti-incrustantes em ambientes simulados são de extrema importância para que fabricantes possam conhecer o potencial de seus produtos antes de colocá-los a disposição no mercado. Desta maneira é possível que o fabricante especifique o anti-incrustante mais adequado e que atenda a expectativa de desempenho dos futuros clientes.
- Existem diferentes sistemas anti-incrustantes fornecidos por diferentes fabricantes. Na International Paint, fatores como: tipo de embarcação, ambiente/clima onde a embarcação vai operar e atividade náutica da embarcação, são levados em consideração antes de gerar uma especificação. Portanto, o anti-incrustante mais adequado é o que melhor desempenho apresentar em suas futuras condições de operação. O melhor a fazer na hora de especificar o anti-incrustante para uma embarcação é consultar o fabricante de tinta.
- Atualmente as tecnologias anti-incrustantes da Akzo Nobel são produzidas em conformidade com entidades regulamentadoras que limitam e até proíbem a utilização de alguns elementos químicos na composição das tintas (ex. chumbo). No entanto, ainda existem fabricantes fornecendo anti-incrustantes com composições químicas agressivas ao meio. Na minha opinião, as tecnologias anti-incrustantes estão caminhando para um futuro ecologicamente correto, sendo que tecnologias como produtos à base de silicone, sem agentes químicos estão chegando ao mercado e tendem a ser cada vez mais utilizadas devido à necessidade mundial de preservação do meio ambiente.