

**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE  
CENTRO DE ESTUDOS GERAIS  
INSTITUTO DE BIOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA MARINHA**

**LUCIANA VICENTE RESENDE DE BRITO**

**EFEITOS DA INCRUSTAÇÃO DE MACROORGANISMOS  
NA CORROSÃO DE PAINÉIS DE AÇO CARBONO**

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Marinha do Instituto de Biologia da Universidade Federal Fluminense, como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Biologia Marinha.

**ORIENTADOR**

**Prof. Dr. RICARDO COUTINHO**

**CO-ORIENTADOR**

**Dr. EDUARDO H. de S. CAVALCANTI**

**NITERÓI, RJ - ABRIL DE 2003**

**Este trabalho foi desenvolvido no  
Laboratório de Bioincrustação do  
Instituto de Estudos do Mar  
Almirante Paulo Moreira (IEAPM) e  
financiado por este Instituto, em  
parceria com o Instituto Nacional de  
Tecnologia (INT).**

**FICHA CATALOGRÁFICA****BRITO, LUCIANA VICENTE RESENDE DE****EFEITOS DA INCRUSTAÇÃO DE MACROORGANISMOS NA CORROSÃO DE PAINÉIS DE AÇO CARBONO**

Niterói, RJ – Universidade Federal Fluminense – UFF, Instituto de Biologia, Departamento de Biologia Marinha, 2003.

Dissertação: Mestrado em Biologia Marinha

- |                    |                    |
|--------------------|--------------------|
| 1. Bioincrustação  | 2. Corrosão        |
| 3. Macroorganismos | 4. Arraial do Cabo |

I. Universidade Federal Fluminense – Instituto de Biologia – Departamento de Biologia Marinha

II. Título

**Luciana Vicente Resende de Brito**

**EFEITOS DA INCRUSTAÇÃO DE MACROORGANISMOS NA  
CORROSÃO DE PAINÉIS DE AÇO CARBONO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Marinha do Departamento de Biologia Marinha, Instituto de Biologia da Universidade Federal Fluminense, como requisito final para obtenção do grau de Mestre em Biologia Marinha.

**APROVADO EM 29 DE ABRIL DE 2003, PELA BANCA EXAMINADORA:**

---

**Prof. Dr. Ricardo Coutinho**

(ORIENTADOR)

Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira – IEAPM

---

**Dr. Eduardo H. de S. Cavalcanti**

(CO-ORIENTADOR)

Instituto Nacional de Tecnologia - INT

---

**Prof. Dr. Vicente Gentil**

Universidade Federal do Rio de Janeiro - Escola de Química

---

**Prof. Dr. Roberto Campos Villaça**

Universidade Federal Fluminense – Instituto de Biologia  
Departamento de Biologia Marinha

---

**Prof. Dr. Renato Crespo Pereira**

(SUPLENTE)

Universidade Federal Fluminense – Instituto de Biologia  
Departamento de Biologia Marinha

*“Seja o que for que faça, se você o faz com alegria, se o faz com amor, se o seu ato não é meramente econômico, então ele é criativo. Se algo cresce em seu íntimo como consequência, se isso lhe traz desenvolvimento, então é espiritual, é divino, é criativo.  
Ame o que você faz”*

*Osho*

## SUMÁRIO

	<b>Pág</b>
AGRADECIMENTOS	vii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE FIGURAS	xi
1- INTRODUÇÃO	01
2- OBJETIVOS	10
2.1 - Objetivo Geral	10
2.2 – Objetivos Específicos	10
3- HIPÓTESES	11
4- MATERIAL E MÉTODOS	12
4.1 – Local de Realização do Experimento	12
4.2 – Desenho Experimental	12
4.2.1 – Material utilizado	12
4.2.2 – Montagem das estruturas	13
4.3 – Tratamentos Aplicados	16
4.4 – Desenho Amostral	18
4.4.1 – Análise de Cobertura das Comunidades Incrustantes	19
4.4.2 – Estudos de Corrosão	21
4.4.2.1. - Medidas Eletroquímicas do Potencial de Corrosão	21
4.4.2.2. - Caracterização da intensidade e grau do ataque corrosivo	22
– Limpeza dos painéis	22
– Pesagem e Cálculo da Taxa de Corrosão Uniforme	23
– Observação dos Ataques Localizados	23
4.5 – Tratamento Estatístico dos Dados	24
4.6 – Dados Abióticos	24
5- RESULTADOS	25
5.1 – Dados Abióticos	25
5.2 – Sinopse dos táxons registrados	26
5.3 – Tratamento Controle	29
5.3.1. - Observações sobre a superfície dos painéis	29
5.3.2. - Medidas Eletroquímicas do Potencial de Corrosão	29
5.3.3. - Caracterização da intensidade e grau do ataque corrosivo	30
5.4 – Tratamento Comunidade	31
5.4.1. - Análise da Cobertura da Comunidade Incrustante	32
5.4.2. - Medidas Eletroquímicas do Potencial de Corrosão	36
5.4.3. - Caracterização da intensidade e grau do ataque corrosivo	36
5.5 – Tratamento Cirripédios	37
5.5.1. - Análise da Cobertura de Cirripédios	37
5.5.2. - Medidas Eletroquímicas do Potencial de Corrosão	38
5.5.3. - Caracterização da intensidade e grau do ataque corrosivo	39
6- DISCUSSÃO	40
7- CONCLUSÃO	50
8- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
ANEXOS	

## AGRADECIMENTOS

- ✓ Ao meu orientador, Prof. Dr. Ricardo Coutinho pela confiança, compreensão e apoio nos bons e nos maus momentos que aconteceram no decorrer da execução da dissertação. Obrigada pelo incentivo, pela chance, e pela indicação para bolsista do projeto da FENORTE (você sabe o quanto foi importante esta bolsa para mim !!).
- ✓ Ao meu co-orientador Dr. Eduardo Cavalcanti pela atenção, ajuda e pela disponibilização do Laboratório de Corrosão da Divisão de Corrosão e Proteção do INT e de pessoal para este estudo.
- ✓ Ao biólogo Msc. José Eduardo Gonçalves, pelas idéias e dicas na montagem no experimento, pelo apoio "técnico- operacional" e pela ajuda na identificação das macroalgas. Aproveito também para agradecer aqui à família Bola, Adriana e Bruna, que com sua amizade, tornaram este período em Arraial do Cabo bem mais divertido.
- ✓ À bióloga Maria Soledad Lopez, minha companheira de intercâmbios culturais, pela incansável ajuda no decorrer do experimento, pela amizade, pela companhia, pela força, e pelas fofocas nos trabalhos de campo. Sem você tudo teria sido muito mais difícil !! Muito obrigado!!
- ✓ À bióloga Luciana Granthom Costa, minha companheira de casa, pela ajuda inestimável no primeiro experimento, pela amizade, pelo apoio, pelos papos, e pela identificação dos organismos incrustantes.
- ✓ A todos que me ajudaram nos trabalhos de campo: Luciana Granthom, Luciana Lage, Henrique Júnior, Layana, Diego, Fabián e Cláudio, que tiveram paciência de sobra com o meu experimento.
- ✓ A toda equipe da embarcação, que sempre foi paciente e atenciosa.
- ✓ A todo o pessoal do Laboratório de Bioincrustação, em especial, Venina, Fábio, Cadu, pelas fotos, e Jaílton, pela ajuda com o pacote estatístico.
- ✓ A todos do IEAPM que contribuíram para a execução deste trabalho: o pessoal das compras: Sgto Célia, Cabo Gama, Cabo Tarcísio; o pessoal da Biologia: Jorge e os estagiários Sávio e Henrique Júnior pela ajuda na montagem; o pessoal da eletrônica e todos os outros que de alguma forma colaboraram com o experimento.
- ✓ A todo o pessoal da Divisão de Corrosão e Proteção do INT: o técnico Zezinho e as bolsistas Ana Lucia e Nelita pela disposição e ajuda no trabalho de campo; a técnica Catarina Piquet pelo procedimento da decapagem e a bolsista Florentina de Mello, pela observação visual dos painéis. Às pesquisadoras Olga Ferraz e

Sonia Coelho, pela atenção e ajuda. Agradeço também à Carla e a Landa e ao técnico Franklin, pela paciência e disponibilidade.

- ✓ A CAPES, pelo apoio aos alunos de Mestrado ao conceder bolsas em cotas de 24 meses para dedicação exclusiva à dissertação. Ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Marinha da UFF, por me permitir utilizar 18 meses desta cota. E principalmente à FENORTE, pela concessão da bolsa que permitiu a finalização do experimento e a redação da dissertação nestes últimos seis meses. Aproveito aqui para agradecer também à professora Marlene Benchimol, por me incluir no projeto sob sua coordenação.
- ✓ Aos colegas da minha turma do Mestrado, Valéria, Cláudio, Suzane, Bruno e agregados do 2º semestre de 2001, Policarpo, Gustavo e Léo, pelos papos e brincadeiras nas horas de intervalo e pelo apoio nas horas difíceis, o que com certeza fizeram com que este período fosse bem mais agradável e fácil de levar.
- ✓ À professora Dra. Maria Teresa Széchy, pelo apoio, ajuda e revisão do texto.
- ✓ À minha mãe, que sempre me apoiou nesta minha escolha pela ciência, por tudo e também pelo fato, de mesmo com poucas condições, ter conseguido me dar apoio financeiro nos meses em que eu estive sem bolsa. À minha irmã, pela força e pelos trabalhos temporários que me ajudaram muito e a todos da minha família, pela torcida e apoio moral.
- ✓ À Viviane, amiga de todas as horas e em todos os processos, por tudo. Às minhas outras companheiras de processo, Valéria e Ana Margarida (inclusive pelo empréstimo do zipdriver e pelo tratamento das fotos), e outras amigas mais distantes, porém não menos queridas, Ana Cristina, Mônica, Patrícia Santos e Fabiana Maranhão, pela ajuda, torcida e apoio.
- ✓ Ao Fabián, que apesar de ter chegado num período tão conturbado, fez dele um dos melhores da minha vida. Agradeço também ao seu irmão, Carlos, pelo empréstimo do computador nas minhas "férias".
- ✓ Ao meu anjo da guarda, pela força, coragem e determinação e por me fazer entender de uma vez por todas que não existe mal que não venha para o bem.
- ✓ E a Deus, entre tantas outras coisas, por ter enchido dois terços deste planeta de água salgada.



## RESUMO

A água do mar é um meio corrosivo complexo, onde fatores, incluindo o desenvolvimento da bioincrustação, influenciam na corrosão. A primeira descrição detalhada da influência da bioincrustação, em nível macroscópico, foi feita nos anos 50, e com o passar do tempo, alguns estudos foram realizados, no entanto sem a devida preocupação com os dados ecológicos. O presente estudo teve por objetivo verificar a mudança na tendência à corrosão, a intensidade e o percentual de ataques localizados em painéis de aço carbono causados pela comunidade macroincrustante como um todo e por cirripédios, sempre comparando com o observado na superfície dos painéis de controle, durante 6 meses. Para tal, foi elaborado um desenho experimental direcionado para este estudo, realizado nas proximidades da Ilha de Cabo Frio. Foram utilizados 48 painéis de aço carbono de 150x200x2 mm do tipo API 5L X-65, distribuídos em 8 estruturas de alumínio. Em cada estrutura, foram colocados 6 painéis com contato elétrico, e estas foram colocadas em 4 balsas na ilha. Foram fornecidos tratamentos diferenciados aos painéis. Neste estudo foram abordados três: o tratamento controle, onde os painéis foram cobertos com telas isolando da macroincrustação, o tratamento comunidade, onde a comunidade incrustante foi avaliada como um todo e o tratamento cirripédios, onde foi feita a exclusão com pinças e escovas de outros organismos que não fossem as cracas. Semanalmente foi feita análise da cobertura dos organismos nos tratamentos comunidade e cirripédios, com auxílio de um quadrado de 10x10 cm com 30 pontos de interseção aleatórios, e a medição do potencial de corrosão com um multímetro e um eletrodo de referência Ag/AgCl. Após vinte e quatro semanas nas balsas, as estruturas foram retiradas e em laboratório foi obtida a perda em massa antes e após a limpeza química para o cálculo da taxa de corrosão uniforme e a observação visual dos ataques localizados em cada tratamento. Foram registrados durante o estudo, 28 táxons, 17 de macroalgas e 11 da macrofauna, divididos em 7 grupos ou tipos morfo-funcionais. No tratamento comunidade, os organismos dominantes foram as macroalgas filamentosas (23,73%), os cirripédios (17,51%), os hidrozoários (16,96%) e os briozoários incrustantes (9,85%). No tratamento cirripédios, a cobertura das cracas variou entre 39,38% a 62,50%. O potencial de corrosão variou entre -665,75 mV(Ag/AgCl) e -517,50 mV(Ag/AgCl), no entanto, não houveram alterações no potencial que pudessem ser relacionadas ao desenvolvimento da comunidade incrustante, nem à dominada por cirripédios. A maior taxa de corrosão uniforme foi observada no tratamento controle, o que pode sugerir que a bioincrustação protege as superfícies da perda em massa. O maior percentual de ataques localizados foi observado no tratamento comunidade, o que indica que outros componentes da comunidade incrustante, que não somente os cirripédios, como descrito na literatura, induzem a corrosão localizada. A metodologia empregada neste estudo e o tempo de observação foram apropriados e responderam as principais questões propostas.

## ABSTRACT

Seawater is a complex corrosive system, where the biofouling is one of the aspects that influence the corrosion process. The first detailed description about the influence of fouling community at a macrolevel in corrosive process was done in the 50<sup>th</sup>, and until now, some studies were done, although they don't concern about the accuracy of ecological results. The present study aimed to verify the change in corrosion tendency, corrosion intensity and the percent of localised attacks in carbon steel panels associated with the macrofouling and barnacles, in comparison to the results obtained in the control panels, along 6 months. In this way, an experimental design were created exclusively to this study, that was developed near the Cabo Frio Island. Forty eight (48) carbon steel API 5L X-65 panels (150x200x20mm), were distributed in eight aluminium structures. In each structure were placed 6 panels with electric contact, and the structures were suspended in four rafts. Different treatment were provided for the panels. Three of them were included in this study: the control treatment, in which the panels were covered with *nylon* screens; the community treatment, in which the fouling community were analysed and the barnacle treatment, where other organisms were excluded with brushes and pincers. Weekly, the cover of the organisms in the community and barnacle treatment was estimated using a 10x10 cm quadrat with 30 intersection point, and the corrosion potential was monitored with a multimeter and a electrode Ag/AgCl. After twenty four weeks the structures were taken and brought to laboratory to calculate the uniform corrosion rate and to do visual observation of the localised attacks in each treatment. Variance analysis were applied in all data obtained. During the study were registered 28 taxa, 17 of macroalgae and 11 of macrofauna, classified in 7 functional groups. In the community treatment the dominant were filamentous macroalgae (23,73%), barnacles (17,51%), hydrozoans (16,96%) and incrusting bryozoans (9,58%). In the barnacle treatment, the cover ranged between 39,38% and 62,50%. The corrosion potential ranged to -665,75 mV(Ag/AgCl) to -517, 50 mV (Ag/ AgCl), thus any changes in the potential could be related to the fouling community development. The highest corrosion rate were found in the control treatment and this can suggest that biofouling provide a protection against mass loss. The highest percent of localised attack were found in the community treatment. This may indicate that other organisms induces localised corrosion, and not only barnacles, how is reported in the literature. The methodology utilised in this study and the observation period were appropriated and answered the questions proposed at first.

## LISTA DE TABELAS

	<b>Pág.</b>
Tabela 1 : Composição nominal do aço API X-65.....	13
Tabela 2: Sinopse taxonômica e os tipos morfo-funcionais e/ou grupos em que foram incluídas as espécies registradas. ....	26
Tabela 3: Cálculo do taxa de corrosão uniforme e percentual de área afetada por ataques localizados. ....	39

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1: Vista aérea da Ilha de Cabo Frio, onde foi realizado o experimento .....	12
Figura 2: Detalhe do painel utilizado no experimento com escala.....	13
Figura 3: Detalhe do painel preparado para o experimento.....	14
Figura 4: Detalhe do terminal de emenda e dos lacres com a numeração. ....	14
Figura 5: Vista das oito estruturas utilizadas no experimento.....	15
Figura 6: Detalhe de uma balsa do campo de provas do IEAPM.....	16
Figura 7: Foto subaquática mostrando uma estrutura e os painéis presos a uma das balsas.....	16
Figura 8: Detalhe de um painel do tratamento controle coberto com as telas. ....	18
Figura 9: Detalhe do quadrado e sua utilização na análise de cobertura .....	19
Figura 10: Detalhe do multímetro e do eletrodo de referência e sua utilização em campo .....	21
Figura 11: Variação da temperatura durante o período de estudo.....	25
Figura 12: Variação da salinidade durante o período de estudo.....	25
Figura 13: Variação do teor de oxigênio durante o período de estudo.....	25
Figura 14: Aspecto de um painel controle após a retirada das telas.....	29
Figura 15: Variação semanal do potencial do tratamento controle.....	30
Figura 16: Foto subaquática de um painel após uma semana de imersão .....	31
Figura 17: Foto subaquática de um painel do tratamento comunidade antes da retirada. ....	32
Figura 18: Variação do percentual de cobertura dos grupos e espécies de incrustantes, espaço vazio e ferrugem, nas 24 semanas....	35
Figura 19: Variação semanal do potencial do tratamento comunidade ...	36
Figura 20: Foto subaquática de um painel do tratamento cirripédios antes da retirada. ....	37
Figura 21: Variação da cobertura do tratamento cirripédios durante as semanas de estudo. ....	38
Figura 22: Variação semanal do potencial no tratamento cirripédios.....	39

Corrosão é definida como a deterioração de um material, em geral metálico, por ação química ou eletroquímica do ambiente. É um processo espontâneo, que transforma os materiais metálicos, diminuindo sua durabilidade e seu desempenho, podendo causar danos irreparáveis. Os problemas com corrosão são freqüentes e ocorrem nas mais variadas atividades como, por exemplo, nas indústrias navais, petrolíferas, petroquímicas e no transporte marítimo (Gentil, 1996).

O processo de corrosão é uma reação de oxidação que se passa na superfície de contato do metal com o meio corrosivo, de natureza essencialmente eletroquímica. A corrosão acontece na área anódica, onde ocorre a reação de dissolução, quando o metal cede elétrons para área catódica em presença de um eletrólito (líquido condutor de corrente elétrica, ou seja, o meio corrosivo). Logo, a corrosão é um modo de destruição do metal, onde a progressiva perda de elétrons causa perda em espessura e/ou superfície do material metálico (Gentil, 1996).

A água do mar é um meio corrosivo complexo. A principal variável é a salinidade, que aumenta a condutividade da água, acelerando o processo de corrosão eletroquímica. No entanto, a ação corrosiva em água do mar não se restringe à ação da dissolução de sais. Fatores como a temperatura, a matéria orgânica dissolvida e particulada, o pH, a velocidade das correntes, e o desenvolvimento da bioincrustação também influenciam o processo corrosivo (Gentil, *op. cit.*). O termo bioincrustação é utilizado para diferenciar os organismos bentônicos incrustantes que se desenvolvem sobre substratos artificiais, dos que se desenvolvem em substratos naturais, e

freqüentemente é empregado para delimitar situações onde o crescimento dos organismos é considerado prejudicial (Woods Hole Oceanographic Institution, 1952).

O processo corrosivo ocorre sob diferentes formas, que são classificadas em função da morfologia e dos mecanismos que levam à corrosão. Em termos de morfologia, no caso de aço carbono em água do mar, o processo corrosivo pode ser do tipo uniforme (ataque em toda a extensão da superfície com perda generalizada de espessura, com formação intensa de produto de corrosão, composto de hidróxido de ferro (ferrugem)) e do tipo localizado (ataques de natureza perfurante, em pontos ou áreas preferenciais), que ocorre principalmente em função da presença da bioincrustação (Gentil, 1996).

A influência da bioincrustação nos processos corrosivos localizados pode se dar através da mudança significativa nas condições eletroquímicas entre a interface metal/solução, reforçando as alterações localizadas nas estruturas metálicas, mudando assim os níveis de concentração de íons, de pH e de oxigênio (Videla, 1993; 2002). Estas alterações ocorrem em função da excreção de metabólitos intermediários; produtos finais como exoenzimas, ácidos orgânicos e compostos nitrogenados (Sanda, 1997), além de produtos da decomposição de matéria orgânica (Eashwar *et.al.*, 1992).

Com a presença da bioincrustação, as áreas sob os organismos funcionam como áreas anódicas devido ao menor teor de oxigênio ou concentração de íons, encontrando-se, então uma condição de corrosão sob depósito (Rogers, 1968) e é onde ocorrem os ataques localizados. Estes ataques podem ser de dois tipos, que são denominados de pites ou alvéolos. Ambos produzem sulcos no material. Os alvéolos tem o fundo mais arredondado e profundidade menor que o seu diâmetro.

Os pites apresentam o fundo anguloso e profundidade geralmente maior que o seu diâmetro (Gentil, 1996).

O monitoramento dos processos corrosivos é uma forma sistemática de medição da corrosão, onde são utilizadas técnicas capazes de detectar as alterações no comportamento dos materiais e componentes frente à corrosão. As informações obtidas podem servir para amparar decisões a serem adotadas por equipes de manutenção das unidades de produção, principalmente as que requerem um nível de controle elevado. A estimativa do processo corrosivo uniforme é feito pela perda de peso do material. No caso de experimentos, calcula-se a perda de peso dos corpos de prova, antes e depois dos ensaios. Por outro lado, os processos localizados são avaliados por observação visual e/ou análise microscópica dos ataques. Outra técnica utilizada é a do monitoramento eletroquímico. Bastante eficiente em acompanhamentos *in situ*, este método antecipa a condição de estado termodinâmico do metal, através da medição do potencial de corrosão, caracterizando o estado eletroquímico do material, ou seja, se o metal encontra-se ativo (corroendo), passivo (protegido por um filme passivo) ou imune ao processo. Embora seja um método que possibilite a detecção de alterações sensíveis na cinética da corrosão (Gentil, 1996), não leva em consideração as variáveis envolvidas no processo de forma independente; no caso da água do mar: a temperatura, o teor de oxigênio e o desenvolvimento da bioincrustação, por exemplo. A utilização conjunta das técnicas de monitoramento é que permite uma avaliação quantitativa mais completa do processo corrosivo (Gentil, *op. cit.*).

O processo de bioincrustação consiste na colonização inicial de uma superfície livre por espécies pioneiras, no caso bactérias e outros microorganismos que formam

um filme sobre a superfície (Wahl, 1989). As bactérias formam uma matriz gelatinosa de material polissacarídico com 95% de água e detritos inorgânicos variados, denominado biofilme (Geesey, 1982; Videla & Characklis, 1992). As reações de oxidação com os metabólitos produzidos ocorrem sob ou dentro deste biofilme (Viera *et. al.*, 1999). Esses metabólitos podem ser substâncias agressivas, como o ácido sulfúrico, produzido pelo gênero *Thiobacillus* ou ainda sulfetos, produzidos pelo gênero *Desulfovibrio*, que são bactérias anaeróbicas e associadas aos processos de incrustação (Videla, 1993).

A corrosão microbiana é bem estudada. Na maioria dos casos, a corrosão ocorre devido à presença de bactérias (Gentil, 1996), porém já foi verificada corrosão por fungos em cabos de aço (Little *et al.*, 2001) e em tanques de combustível (Bento & Gaylarde, 2001), e devido à microalgas em testes de laboratório (Terry & Edyvean, 1981).

A corrosão causada pelo biofilme marinho foi estudada em sistemas que utilizam água do mar, como por exemplo, os sistemas de refrigeração (Magalhães *et al.*, 1996a; Viera *et al.*, 1999); oleodutos (Magalhães *et al.*, 1996b) e membranas de desalinização (Al-Ahmad *et al.* 2000; Abdul Aleem *et. al.*, 1998). Para melhor compreender os efeitos da corrosão bacteriana em água do mar, já foram realizados experimentos de campo (Dexter & Gao, 1988; Videla, *et al.*, 1988) e de laboratório (Scotto *et. al.* 1985; Mollica *et. al.*, 1989; Zhang & Dexter, 1995), onde foi comprovada a corrosão de aços inoxidáveis (resistentes em água salina) em função da colonização da superfície por bactérias. A corrosão microbiana em aço carbono foi verificada em experimento realizado em laboratório e na Ilha de Cabo Frio, Arraial do Cabo por Costa (1998), onde foi medido o potencial de corrosão e feita a análise da

comunidade presente no biofilme, durante 90 dias, em painéis de 10x20 cm com e sem o revestimento de tintas antiincrustantes e anticorrosivas.

Por sua vez, o biofilme fornece uma fonte de nutrientes e torna o substrato favorável à colonização de determinados macroorganismos. O processo de bioincrustação reflete uma seqüência temporal de desenvolvimento da comunidade incrustante, controlada por processos biológicos (facilitação, competição, predação) (Wahl, 1989), denominada de sucessão ecológica. A comunidade incrustante é uma complexa camada de organismos, incluindo, além de bactérias e protozoários, micro e macroalgas, esponjas, cnidários, bivalves, poliquetos tubícolas, cirripédios, briozoários e tunicados, que pode ocorrer em qualquer superfície submersa em água do mar (WHOI, 1952).

Os primeiros estudos e descrições de incrustação de macroorganismos foram feitos em estruturas como bóias e cascos de navios (Kirchenpauer, 1827; Hentschel, 1923; Visscher, 1927 *apud* WHOI, 1952) e vem sendo utilizados para o estudos destes organismos com sucesso (Fletcher, 1980). No entanto, estruturas em forma de painéis, montados exclusivamente para estudar o desenvolvimento da bioincrustação são as que melhor se aplicam a estudos com enfoque ecológico (Nassar, 1994).

Estudos ecológicos sobre a comunidade incrustante já foram realizados em painéis de vários materiais que não aço ou outras ligas metálicas, como madeira (Silva *et. al.* 1985; Skinner, 1997; Falcão, 1999; Omena & Souza, 1999); PVC (Absalão, 1993; Nassar & Silva, 1999); granito (Chasilew, 1998), ardósia (Osman, 1978), cerâmica (Sutherland & Karlson, 1977; Sutherland, 1978; Rocha, 1991) e amianto (Field, 1982). Estudos como os de Gonçalves (comunicação pessoal) e Silva



(comunicação pessoal), utilizaram painéis de aço carbono para análise da sucessão da comunidade incrustante, porém não fizeram considerações sobre o processo corrosivo nos painéis.

A primeira descrição mais detalhada da incrustação em nível macroscópico e seu efeito na corrosão foi feita por Clapp em 1948. Desde então, é reportado na literatura que as interações entre fatores biológicos e eletroquímicos, não recebem atenção suficiente (LaQue, 1982). Dexter & Gao (1988) relatam que a tendência sempre foi de estudar os processos eletroquímicos e biológicos de forma independente, e que só mais recentemente foi considerado o impacto da bioincrustação na corrosão.

A presença de incrustantes e sua associação com processos corrosivos tem sido objetivo de alguns estudos. Efird (1976) e Chandler (1979) utilizaram três tipos de painéis de teste metálicos (metal ativo; metal passivo e metal tóxico) para observar as diferenças no desenvolvimento de organismos incrustantes nos três tipos. Nestes trabalhos, os incrustantes foram relacionados por grandes grupos e registrados por presença ou ausência durante os estudos. Eashwar *et. al.* (1990) realizaram o mesmo tipo de experimento que os autores anteriores, porém complementaram, estimando a corrosão pela perda em massa dos painéis. Kirk & Pikull (1990) e Neville & Hodgkiess (1998) relatam o crescimento dos organismos em painéis de ligas metálicas diferentes, estimando a corrosão por perda em massa e medidas eletroquímicas, respectivamente. Luo & Lee (2001) estimaram a corrosão em painéis de aço carbono, na presença de organismos incrustantes, também através de medições eletroquímicas. Estes trabalhos, porém, não fornecem maiores detalhes sobre a comunidade incrustante nos painéis.

No Brasil, Lacombe (1965) realizou estudos preliminares sobre a corrosão causada por macroorganismos, abordando aspectos quali-quantitativos sobre a comunidade incrustante em painéis de aço de 30 X 15 cm, pintados e não pintados, colocados na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro. Leite (1999) avaliou a corrosão de painéis de titânio e cobre, materiais utilizados em sistemas de refrigeração da Usina Nuclear de Angra dos Reis, em presença de organismos incrustantes. O experimento foi realizado em laboratório, para observação do comportamento eletroquímico do material na presença de larvas de cirripédios (cracas), e na Ilha de Cabo Frio, Arraial do Cabo, onde foram expostos painéis de 10X5 cm, durante 25 dias, para avaliar a variação da medição eletroquímica, assim como a bioincrustação durante o período.

A literatura atual contém estudos que detalham as interações entre a bioincrustação e a corrosão, mas a maioria objetiva o estudo do filme bacteriano (Neville & Hodgkiess, 1998), sendo escassos os estudos sobre a relação entre a "macroincrustação" e a corrosão (Luo & Lee, 2001).

Desta forma, torna-se fundamental o conhecimento sobre o desenvolvimento de comunidades incrustantes em superfícies metálicas e seu efeito na corrosão, principalmente em nível macroscópico, área esta ainda muito pouco estudada. Com estas informações, será possível aprimorar a estimativa da vida útil dos materiais e equipamentos expostos em água do mar, e planejar melhor os custos associados à remediação dos problemas causados pela incrustação das comunidades bentônicas.

Neste estudo, procurou-se responder as seguintes questões: 1) Se, de alguma forma, a substituição temporal das espécies dominantes modificou a tendência à corrosão dos painéis, alterando o potencial de corrosão; 2) Se a presença de macroorganismos incrustantes serviu para reduzir ou aumentar a taxa de corrosão

uniforme do aço carbono observada na água do mar e/ou induzida pelo biofilme (a ser determinada nos painéis de controle); e 3) Se prevaleceu a maior incidência de processos corrosivos localizados, em função da presença do biofilme, da comunidade incrustante ou da dominância de cirripédios.

Os cirripédios foram enfocados neste trabalho, por serem componentes dominantes nas incrustações biológicas (Anil *et. al.*, 1995), inclusive em cascos de navios, onde representam 95% das incrustações (Ferreira & Coutinho, 2002), além de serem importantes estruturadores das comunidades bentônicas de substrato consolidado (Underwood, 2000) e apontados como os principais causadores da biocorrosão (Rowlands, 1976; Eashwar *et. al.*, 1992).

A abordagem da fauna da comunidade incrustante em nível de grandes grupos, baseado na morfologia, no plano corporal, na organização funcional e na forma de crescimento e dominância ao longo do tempo, define a forma de utilização do espaço disponível no substrato pelos organismos, e vem sendo sugerida e utilizada há bastante tempo (Jackson, 1977; Sutherland, 1978). Como no caso dos cirripédios, esta abordagem foi considerada neste estudo, por ser de alta relevância a relação dos organismos com o substrato para o estudo da biocorrosão. A mesma abordagem foi feita em relação à flora. Steneck & Dethier (1994) salientam que comunidades de macroalgas, quando examinadas em nível de tipos morfo-funcionais, parecem ser mais previsíveis e estáveis no tempo, do que quando examinadas em nível de espécies, já que representantes do mesmo tipo morfo-funcional apresentam características (taxas de produtividade, longevidade e altura do talo) que os levam a se comportar de modo similar.

Visando contribuir para o preenchimento das lacunas existentes na literatura acerca do tema, foi elaborado, um experimento para avaliar o efeito da macroincrustação na corrosão de painéis de aço carbono, por 6 meses, tempo que a comunidade incrustante da região leva para atingir a estabilidade (Coutinho & Costa, 1997). O experimento foi realizado no campo de provas da Marinha do Brasil na Ilha de Cabo Frio. Para tal, foi utilizado um desenho original, direcionado para este estudo, onde foi elaborado um artefato experimental que fornecesse dados acurados tanto sobre a comunidade incrustante quanto sobre o processo corrosivo, um enfoque que até em então, não havia sido abordado na literatura.

### **2.1 – Objetivo Geral**

Este estudo tem por objetivo, verificar o efeito de comunidades incrustantes (em nível macroscópico) na corrosão de painéis de aço carbono, através do acompanhamento do desenvolvimento da comunidade incrustante e, em especial, de cirripédios nos painéis, bem como da caracterização da intensidade do ataque uniforme, do grau do ataque corrosivo localizado e do monitoramento do potencial de corrosão em relação ao controle.

### **2.2 – Objetivos específicos**

- 1- Descrever a comunidade macroincrustante, e em especial de cirripédios, em termos de cobertura, ao longo de 24 semanas;
- 2- Monitorar a tendência à corrosão e a evolução do processo corrosivo nos painéis através de medidas semanais do potencial de corrosão, ao longo de 24 semanas;
- 3- Caracterizar o efeito dos organismos sobre a corrosão, ou seja a taxa de corrosão uniforme e o percentual do ataque localizado induzido pela ausência (controle) ou presença da comunidade incrustante e de cirripédios.

$H_0$  : O desenvolvimento da comunidade incrustante não modifica o processo corrosivo, ou seja não influencia o potencial de corrosão, nem a taxa de corrosão uniforme e o percentual de ataques localizados.

$H_1$  : O desenvolvimento da comunidade incrustante modifica o processo corrosivo, influenciando o potencial de corrosão, a taxa de corrosão uniforme e o percentual de ataques localizados.

## 4- MATERIAIS E MÉTODOS

---

### 4.1 – Local de realização do experimento

O trabalho experimental foi desenvolvido nas proximidades da Ilha de Cabo Frio, Arraial do Cabo, Rio de Janeiro (42°W; 23°01'S) (Figura 1). A região é considerada o centro de ocorrência do fenômeno da ressurgência na costa brasileira (Stevenson, *et. al.* 1989), o que aumenta a diversidade de sua flora e fauna marinha (Yoneshigue, 1985; Coutinho & Valentin, 1988; Castro *et.al.* 1995; Guimaraens & Coutinho, 1996).



Figura 1 – Vista aérea da praia da Ilha de Cabo Frio, onde foi realizado o experimento.

### 4.2 – Desenho Experimental

#### 4.2.1 – Material utilizado

Os painéis utilizados foram confeccionados em aço carbono tipo API 5L X65 (Tabela 1). Trata-se de um aço usado em construções mecânicas na indústria petrolífera, como em plataformas, dutos, umbilicais e "raisers". Foram

confeccionados quarenta e oito (48) painéis, com as a dimensões de 150X200X2 mm (Figura 2).

Tabela 1- Composição nominal do aço carbono API 5L X65 \*

Aço	Composição (% em peso)			
	Carbono	Manganês	Fósforo	Enxofre
API 5L X65	0,26	1,40	0,04	0,05

\* Aço acalmado com silício e alumínio



Figura 2 – Detalhe do painel utilizado no experimento com escala.

#### 4.2.2- Montagem das estruturas

Inicialmente, os painéis receberam dois furos: um na parte superior para apoio, coberto com fita "silvertape", e outro na parte lateral, para o contato elétrico. Para garantir o contato, essencial para as medições eletroquímicas, foi fixado com massa epóxi, um fio rígido de cobre revestido de 2,5 mm, com tamanhos de 2,0m; 1,7m e 1,4 m, de acordo com a posição em que o painel foi colocado na estrutura. Na outra ponta do fio, foi encaixado um terminal de emenda, para proteger a ponta e facilitar as medições eletroquímicas fora da água (Figura 3).





Figura 3 – Detalhe do painel preparado para o experimento.

Os painéis foram numerados com lacres de segurança, colocados junto ao terminal de emenda (Figura 4). Os painéis foram, então, pesados em balança de precisão de duas casas decimais para o acompanhamento da perda de massa.

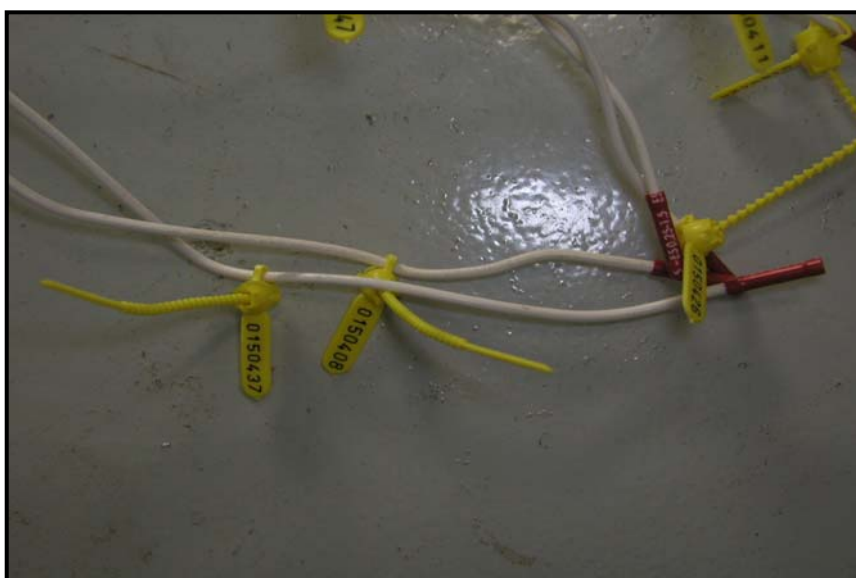


Figura 4 – Detalhe do terminal de emenda e dos lacres com a numeração.

Para o apoio dos painéis, foram utilizadas oito (8) varas de alumínio em forma de "U" de 2000X25X13 mm. Em cada uma das oito varas, foram parafusados 6 painéis, a uma distância de 15 cm entre eles, utilizando parafusos plásticos. Para

evitar que o movimento dos painéis desgastasse os parafusos, foram encaixadas varas de madeira junto aos painéis.

Para a sustentação das estruturas, foram feitos outros dois furos nas varas, onde foram transpassados cabos de "nylon", envoltos em mangueiras de borracha para evitar o seu desgaste. Os cabos foram presos com ganchos plásticos para facilitar a remoção das estruturas quando necessário. Os painéis receberam ainda outros lacres numerados, para reforçar e facilitar a identificação subaquática.

As oito estruturas, constituídas pelas varas de alumínio e os painéis (Figura 5), foram, então, colocadas em balsas fundeadas a 40 metros da Praia do Farol, duas a duas, uma de frente para a outra, a aproximadamente 1,5 metro de distância entre elas e a 30 cm de profundidade (Figura 6 e 7).

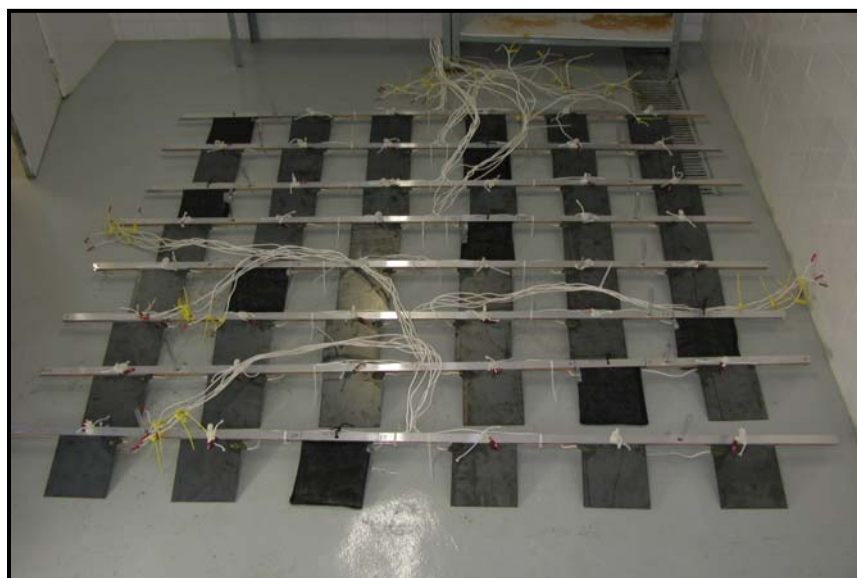


Figura 5 – Vista das oito estruturas utilizadas no experimento.



Figura 6 – Detalhe de uma balsa no campo de provas do IEAPM.

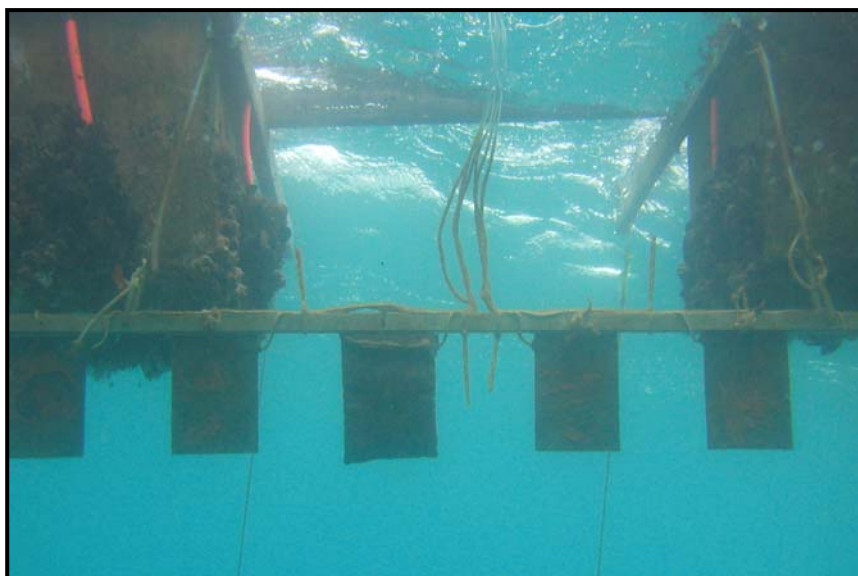


Figura 7 – Foto subaquática mostrando uma estrutura e os painéis presos a uma das balsas.

### **4.3- Tratamentos Aplicados**

Foram estabelecidos seis tratamentos diferenciados aos painéis colocados nas balsas. Cada estrutura recebeu um painel de cada tratamento. Os painéis de cada tratamento foram escolhidos ao acaso e distribuídos de modo que ficassem em diferentes posições nas oito estruturas. Os 48 painéis colocados, corresponderam a

seis (6) tratamentos diferentes com oito (8) réplicas cada, separados pela numeração dos lacres, e foram acompanhados por 24 semanas.

1º tratamento – As oito (8) réplicas deste tratamento foram cobertas com duas telas, de aproximadamente 800 $\mu$ m e outra de 500  $\mu$ m, para dificultar e/ou impedir a fixação de larvas da comunidade incrustante. Foi o tratamento denominado **controle**, onde foi observada apenas a presença do biofilme (Figura 8).

2º tratamento – As oito (8) réplicas deste tratamento foram expostas sem qualquer manipulação, e foi feita a análise da **comunidade** incrustante .

3º tratamento – As oito (8) réplicas deste tratamento foram manipulados a fim de que houvesse a dominância de **cirripédios**, em termos de cobertura, durante o período de estudo. Semanalmente, outros organismos foram excluídos com auxílio de pinças e escovas.

4º tratamento – As oito (8) réplicas deste tratamento foram manipuladas a fim de que houvesse a dominância de ***Perna perna***, em termos de cobertura, durante o período de estudo. Semanalmente, outros organismos foram excluídos com auxílio de pinças e escovas.

5º tratamento – As oito (8) réplicas deste tratamento foram manipuladas a fim de que houvesse a dominância de organismos **crostosos**, em termos de cobertura, durante o período de estudo. Semanalmente, outros organismos foram excluídos com auxílio de pinças e escovas.

6º tratamento – As oito (8) réplicas deste tratamento foram manipuladas a fim de que houvesse a dominância de organismos **arborescentes**, em

termos de cobertura, durante o período de estudo.

Semanalmente, outros organismos foram excluídos com auxílio de pinças e escovas.

No entanto, no decorrer do estudo, as manipulações referentes aos 4º, 5º e 6º tratamentos não funcionaram, por causa da intensa perda do produto de corrosão, o que não permitiu a retirada seletiva dos organismos, com exceção dos cirripédios, já que todos acabavam por serem removidos dos painéis. A manipulação que foi incluída, neste estudo, então, foi a dos cirripédios (3º tratamento).



Figura 8- Detalhe de um painel do tratamento controle coberto com as telas.

#### 4.4- Desenho Amostral

O experimento teve início no dia 27/6/2002. A partir desta data, foram feitas visitas semanais às balsas para realizar a leitura da cobertura dos organismos e as medições eletroquímicas. Após 24 (vinte e quatro) semanas, no dia 11/12/2002, os 24 (vinte e quatro) painéis, correspondentes aos 3 tratamentos bem sucedidos, foram retirados das balsas para pesagem e análise dos painéis no Laboratório de Corrosão e Proteção do Instituto Nacional de Tecnologia .

#### 4.4.1 – Análise da Cobertura das Comunidades Incrustantes

Foi realizado o estudo da abundância relativa dos organismos nos painéis com base na cobertura. A análise da cobertura é um método não destrutivo, que permite uma leitura rápida no campo (Littler & Littler, 1985).

A cobertura dos organismos foi estimada semanalmente nos tratamentos comunidade e cirripédios com um quadrado de 10X10cm, dos dois lados de cada painel. Nos quadrados, foi aplicada a técnica de pontos de interseção (Foster *et al.*, 1991). Para tal, o quadrado foi subdividido, por fios de "nylon", em 100 sub-quadrados de 1x1 cm. Foram marcados 30 pontos com o auxílio da tabela de números aleatórios. A cobertura foi obtida colocando-se uma ponteira perpendicular ao quadrado, junto aos pontos de interseção marcados, sendo registrado o primeiro organismo tocado (Figura 9).

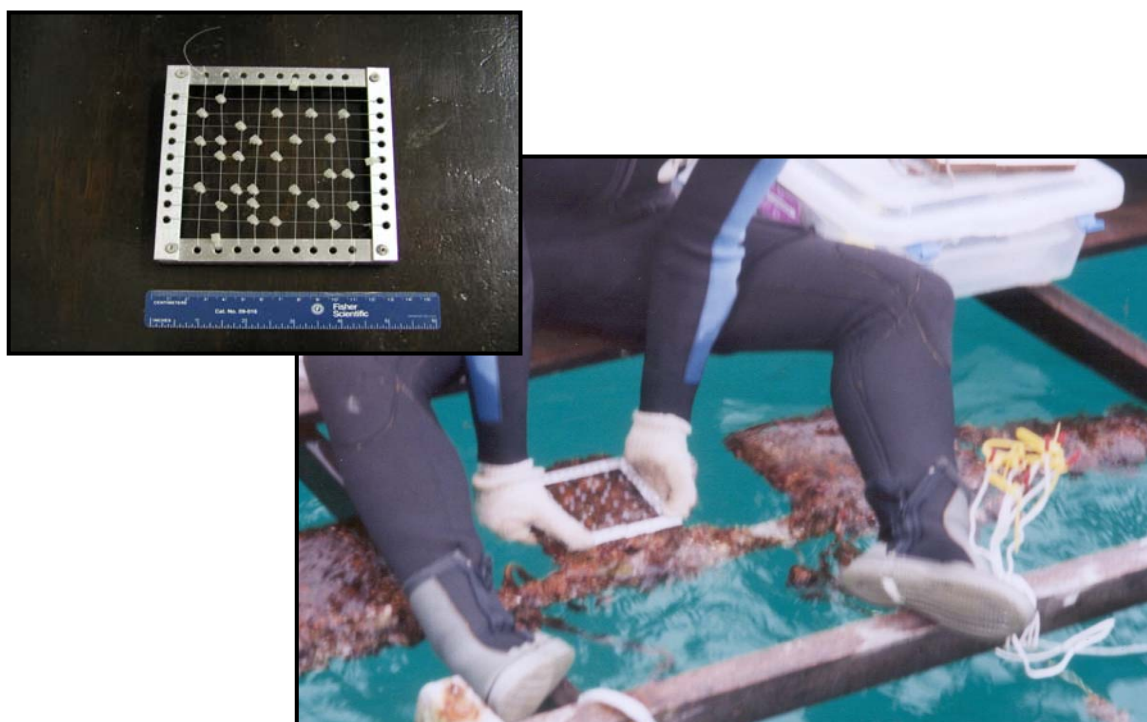


Figura 9 – Detalhe do quadrado e sua utilização na análise de cobertura.

O registro em campo foi feito de acordo com o menor nível taxonômico possível, tanto para as macroalgas quanto para os invertebrados. As macroalgas foram agregadas segundo seu tipo morfo-funcional (filamentosas, foliáceas e macrófitas corticadas). A classificação quanto ao tipo morfo-funcional seguiu Széchy & Paula (1997). Já os invertebrados foram registrados em grandes grupos (cirripédios, serpulídeos, hidrozoários, briozoários incrustantes) ou em nível de espécies. Os organismos foram trazidos em frascos separados para identificação em laboratório, quando não foi possível fazê-la em campo. Para identificação taxonômica das macroalgas, foram utilizadas chaves dicotômicas artificiais elaboradas por Joly (1965) e Yoneshigue (1985), e o tratamento nomenclatural foi retirado de Wynne (1998). O tratamento nomenclatural para os invertebrados seguiu o proposto pelo "*Integrated Taxonomic Information System*" (<http://www.itis.usda.gov>).

Os resultados foram expressos em porcentagem (0 a 100%). Foram calculadas as médias aritméticas entre os lados de cada painel e posteriormente entre as oito réplicas de cada tratamento e os respectivos erros padrões da média ( $\sqrt{\text{desvio padrão/número de réplicas} - 1}$ ).

Os dados resultantes da cobertura (valores médios) foram plotados em uma matriz de cobertura, para cada uma das 24 semanas de observação. Cabe ressaltar que as coletas referentes à oitava e décima nona semanas não puderam ser realizadas.

## 4. 4. 2- Estudos de Corrosão

### 4.4.2.1.- Medidas Eletroquímicas do Potencial de Corrosão

Em todos os painéis, foram realizadas medições semanais do potencial eletroquímico a circuito aberto (denominado de potencial de corrosão), em função do tempo, utilizando-se um multímetro portátil de alta impedância de entrada e um eletrodo de referência de prata/cloreto de prata (Ag/AgCl), comumente utilizado em estudos em água do mar (Figura 10). O potencial é determinado através da medição da diferença de potencial (ddp) entre o material em estudo, imerso no meio corrosivo, e o eletrodo de referência (Gentil, 1996). Os valores foram expressos em milivolts em relação ao eletrodo (mV(Ag/AgCl)). Foram realizadas medições do potencial logo após os primeiros 15 minutos (15') de imersão dos painéis e 24 horas (24 h) depois da colocação do experimento, afim de obter um valor base para o monitoramento do potencial.

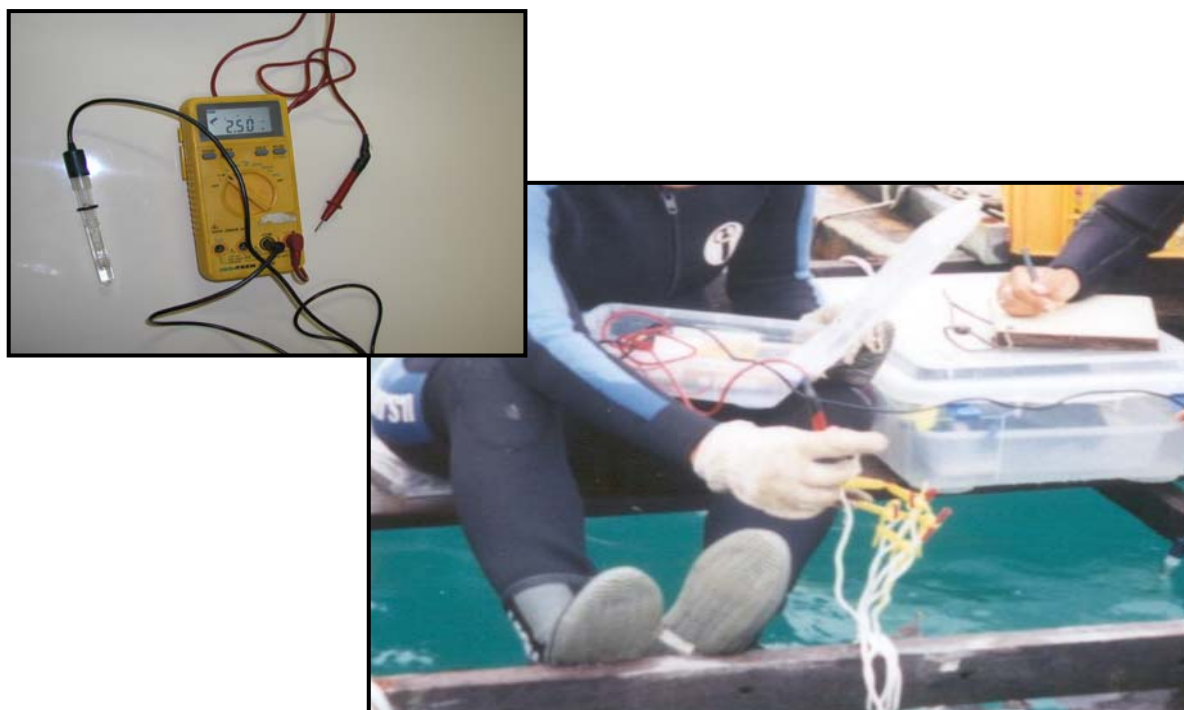


Figura 10 – Detalhe do multímetro e do eletrodo de referência e sua utilização em campo.



Foram calculadas as médias aritméticas dos valores de potencial entre as réplicas de cada um dos três tratamentos entre as semanas de observação, e os respectivos erros padrões da média ( $\sqrt{\text{desvio padrão/número de réplicas} - 1}$ ). Cabe ressaltar que as medições referentes à oitava e décima nona semanas não puderam ser obtidas.

#### **4.4.2.2.– Caracterização da intensidade e grau do ataque corrosivo**

##### **- Limpeza dos painéis**

Após as 24 semanas, os painéis foram retirados das balsas e os organismos removidos com escovas e espátulas. Os painéis foram, então, trazidos para o Laboratório da Divisão de Corrosão e Proteção (INT), onde foi feita análise visual e registro fotográfico, antes de submetê-los à limpeza ácida. Nesse procedimento foi utilizada a solução de limpeza de Clark (1l ácido clorídrico (HCl); 20g de trióxido de antimônio ( $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ) e 50g de cloreto estanhoso ( $\text{SnCl}_2$ )). Os painéis foram imersos nesta solução por um tempo determinado a partir do primeiro painel tratado, até que todo o produto de corrosão fosse removido do painel. Os tempos de imersão foram de 2 minutos e meio para os tratamentos comunidade e cirripédios e 5 minutos para o tratamento controle. Foram decapados, ainda, quatro painéis pré-pesados não expostos ao ambiente, dois para cada tempo de imersão para serem o branco, onde foi descontada a eventual perda em massa dos painéis devido ao procedimento.

Após a imersão, os painéis foram escovados em água corrente, lavados com álcool e acetona, expostos a um secador para acelerar a secagem e mantidos em um dessecador para a pesagem.

## - Pesagem dos painéis e Cálculo da Taxa de Corrosão Uniforme

Os painéis de cada tratamento e os brancos foram pesados em balança de precisão de duas casas decimais, procurando-se desta forma determinar a perda de massa por corrosão observada no período em questão (6 meses).

$$\Delta M_c = \text{Massa final} - \text{Massa inicial} - \text{Diferença de massa do branco}$$

Onde:  $\Delta M_c$  = perda em massa por corrosão

Cada painel teve sua intensidade do processo corrosivo (taxa de corrosão uniforme) expressa em mm/ano, determinada através da seguinte fórmula:

$$T_c = C \times \frac{\Delta M_c}{A \times t \times \rho}$$

Onde:

$T_c$  = taxa de corrosão (mm/ano)       $\rho$  = massa específica aço carbono (7,86 g/cm<sup>3</sup>)

$C$  = fator de conversão (8,76 x 10<sup>4</sup>)       $\Delta M_c$  = perda em massa por corrosão (g)

$t$  = tempo de exposição (horas)       $A$  = área do painel (cm<sup>2</sup>)

## - Observação dos ataques localizados

Após a pesagem, todos os painéis foram observados a olho nú ou com auxílio de lupa, a fim de determinar a presença de ataques localizados. Foi também determinado o percentual de área com incidência de ataque localizado conforme estabelecido na Norma D 1654 da American Society for Testing and Materials (ASTM) (ASTM, 2001). De acordo com a norma, é designado um grau para o aspecto da superfície, em uma escala de 0 a 10, que é posteriormente convertido em percentual de área atacada.

#### **4.5- Tratamento Estatístico dos Dados**

Foram realizadas análises de variância – ANOVA para comparar as variações das comunidades dos painéis, em termos de cobertura; bem como os valores de potencial de corrosão e de perda em massa, durante o experimento. Em todas as análises foi utilizado um nível de significância de 5% ( $\alpha=0,05$ ).

#### **4. 6 – Dados Abióticos**

Foram coletados dados abióticos semanalmente durante o período do experimento na região da Praia do Farol. Foram mensurados os parâmetros: temperatura superficial da água, com um termômetro de mercúrio, salinidade, com um condutivímetro, e o teor de oxigênio, estimado pelo Método de Winkler (Grasshoff, 1983). Todas as análises foram realizadas pela Divisão de Oceanografia Química do IEAPM.

### 5.1- Dados Abióticos

Ao longo do estudo, a temperatura da água apresentou média de 21,8°C. O menor valor foi de 19,2 °C na 14ª e o maior de 24,3°C na 22ª semana (Figura 11).

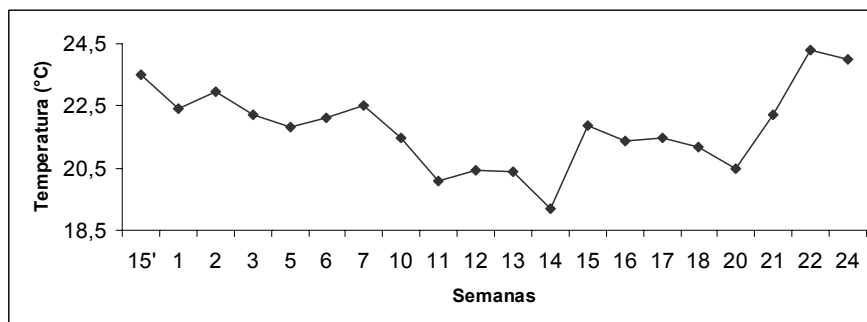


Figura 11 – Variação da temperatura da água durante o período de estudo.

A salinidade apresentou média de 35,56 ups. O menor valor de salinidade foi de 34,90 ups na 6ª e a maior, 36,43 ups na 22ª semana (Figura 12).

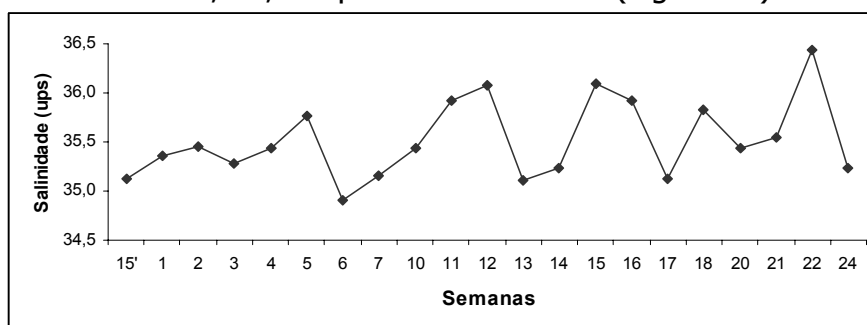


Figura 12 – Variação da salinidade durante o período de estudo.

Quanto ao teor de oxigênio, a média foi de 5,28 ml/l. O menor teor de oxigênio foi de 4,50 ml/l na 7ª e a maior 5,92 ml/l na 20ª semana (Figura 13).

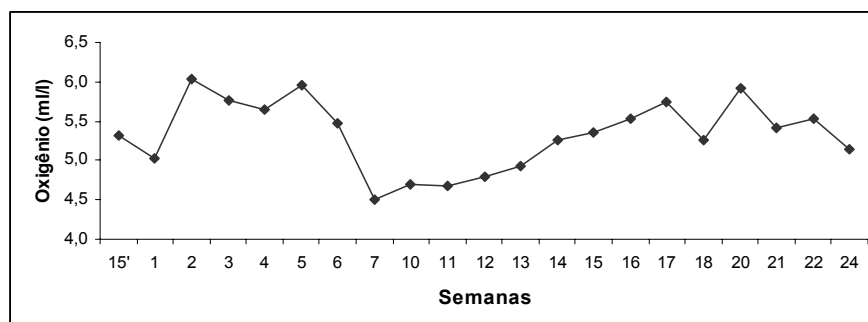


Figura 13 – Variação do teor de oxigênio durante o período de estudo.

## 5.2 – Sinopse dos táxons registrados

Durante as análises de cobertura dos painéis, foram identificados 17 táxons infragenéricos de macroalgas, incluídos em três tipos morfo funcionais (filamentosas, foliáceas e macrófitas corticadas). Dentre os animais, foram identificados 11 táxons, distribuídos em 4 grandes grupos (hidrozoários, serpulídeos, cirripédios e briozoários incrustantes), e 4 organismos que foram registrados em nível de espécie. As espécies identificadas e o tipo morfo-funcional ou grupo a que estas foram atribuídas estão relacionadas na Tabela 2.

Tabela 2: Sinopse taxonômica e os tipos morfo-funcionais e/ou grupos em que foram incluídas as espécies registradas.

Sinopse taxonômica	Tipo morfo-funcional/ Grupos
Reino Plantae	
Divisão Chlorophyta Classe Chlorophyceae Ordem Ulvales Família Ulvaceae <i>Enteromorpha</i> spp. <i>Ulva fasciata</i> Delile	Foliácea
Ordem Cladophorales Família Cladophoraceae <i>Cladophora</i> sp.	Filamentosa
Ordem Bryopsidae Família Codiaceae <i>Codium spongiosum</i> Harv.	Macrófita corticada
Divisão Phaeophyta Classe Phaeophyceae Ordem Ectocarpales Família Ectocarpaceae <i>Feldmania irregularis</i> (Kütz.) Hamel <i>Hincksia mitchelliae</i> (Harv.) P. C. Silva	Filamentosa
Ordem Scytosiphonales Família Scytosiphonaceae <i>Colpomenia sinuosa</i> (Roth) Derbès & Solier	Macrófita corticada
Ordem Dictyotales Família Dictyotaceae <i>Dictyota</i> sp. <i>Padina</i> sp.	Foliácea corticada
Continua	

Divisão Rhodophyta Classe Florideophycidae Ordem Gelidiales Família Gelidiaceae <i>Gelidium pusillum</i> (Stackh.) Le Jolis	Macrófita corticada
Ordem Bonnemaisoniales Família Bonnemaisoniaceae <i>Asparagopsis taxiformis</i> (Delile) Trevis.	Filamentosa
Ordem Gigartinales Família Hypneaceae <i>Hypnea musciformis</i> (Wulfen in Jacqu.) J. V. Lamour	Macrófita corticada
Ordem Ceramiales Família Ceramiaceae <i>Centroceras clavulatum</i> (C. Agardh in Kunth) Mont. in Durieu de Maisonneuve <i>Ceramium dawsonii</i> A. B. Joly <i>Ceramium</i> spp. <i>Spyridia hypnoides</i> (Bory in Belanger) Papenf. Família Rhodomelaceae <i>Polysiphonia subtilissima</i> Mont.	Filamentosa
Reino Animalia	
Filo Porifera Classe Calcarea Subclasse Calcinea Ordem Clathrinida Família Clathrinidae <i>Clathrina ascandroides</i> (Borojevic, 1971)	
Filo Cnidaria Classe Hydrozoa Ordem Hydroida Subordem Leptomedusae Família Campanulariidae <i>Obelia dichotoma</i> (Linnaeus, 1758) Hydrozoa sp1. Outros hidróides	Hidrozoários
Filo Annelida Classe Polychaeta Subclasse Palpata Ordem Canalipalpata Subordem Sabellida Família Serpulidae	Serpulídeos

Continua ...

<p>Filo Mollusca  Classe Bivalvia  Subclasse Pteriomorpha  Ordem Mytiloidea  Família Mytilidae  <i>Perna perna</i> (Linnaeus, 1758)</p>	
<p>Filo Arthropoda  Subfilo Crustacea  Subclasse Cirripedia  Ordem Thoracica  Subordem Balanomorpha  Família Balanidae  <i>Megabalanus tintinnabulum</i> (Linnaeus, 1758)  <i>Balanus trigonus</i></p>	Cirripédios
<p>Filo Ectoprocta  Classe Gymnolemata  Ordem Cheilostomata  Subordem Anasca  Família Bugulidae  <i>Bugula neritina</i> (Linnaeus, 1758)</p>	
<p>Família Membraniporidae  <i>Membranipora membranacea</i> (Linnaeus, 1767)  Subordem Ascophora  Família Schizoporellidae  <i>Schizoporella errata</i> (Johnston, 1847)</p>	Briozoários incrustantes
<p>Filo Chordata  Subfilo Tunicata  Classe Ascidiacea  Ordem Stolidobranchia  Família Styelidae  <i>Botrylloides nigrum</i> (Herdman, 1886)</p>	

## 5.3 – Tratamento Controle

---

### 5.3.1 – Observações sobre a superfície dos painéis

A colocação das telas de 800  $\mu\text{m}$  e 500  $\mu\text{m}$  sobre os painéis do tratamento controle mostrou-se eficiente e praticamente não foram observadas incrustações de organismos na superfície dos painéis deste tratamento, à exceção de alguns poucos recrutas de cirripédios e serpulídeos (Figura 14).



Figura 14 – Aspecto de um painel controle após a retirada das telas.

### 5.3.2. – Medidas Eletroquímicas do Potencial de Corrosão

O potencial de corrosão no tratamento controle variou entre  $-663,86$  mV(Ag/AgCl) (2ª semana) a  $-589,88$  mV(Ag/AgCl) (6ª semana). Na 7ª semana, o valor médio aumentou significativamente para  $-523,50$  mV(Ag/AgCl). Da 10ª a 16ª semana, os valores diminuíram e se mantiveram estáveis entre  $-649,17$  mV(Ag/AgCl) (15ª semana) a  $-598,60$  mV(Ag/AgCl) (14ª semana). Nas 17ª, 18ª, 20ª, os valores aumentaram de forma significativa e foram de  $-530,50$  mV(Ag/AgCl);  $-518,40$  mV(Ag/AgCl);  $-539,60$  mV(Ag/AgCl), respectivamente. Nas duas últimas semanas, o



potencial voltou a diminuir, atingindo o valor de  $-589,20$  mV(Ag/AgCl) na 22<sup>a</sup> semana e de  $-655,40$  mV(Ag/AgCl) na 24<sup>a</sup> semana.

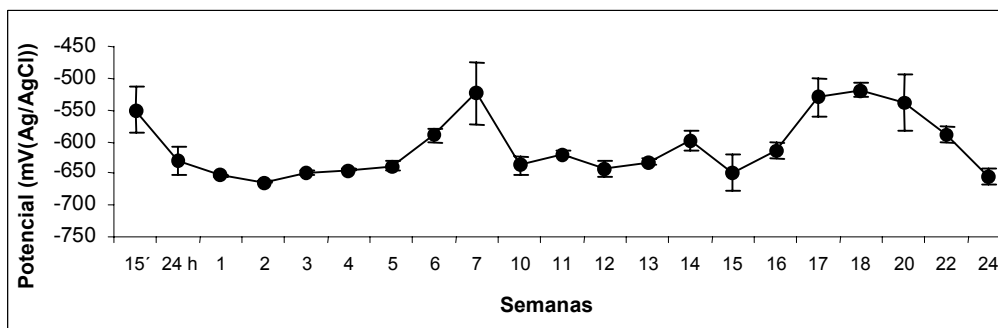


Figura 15 – Variação semanal do potencial de corrosão no tratamento controle.

### 5.3.3– Caracterização da intensidade e grau do ataque corrosivo

A perda média de massa no tratamento controle foi a maior observada entre os três tratamentos, com o valor de  $40,039 \pm 0,3845$  g. A taxa de corrosão uniforme média calculada para este tratamento foi de  $0.17175 \pm 0.0258$  mm/ano. Quanto ao grau de ataque localizado, o percentual de área afetada da superfície dos painéis foi menor que 1%. Este foi o menor percentual observado dentre os tratamentos (Tabela 3).

## 5.4 – Tratamento Comunidade

---

Nas duas primeiras semanas do experimento não foram registrados organismos macroscópicos sobre os painéis, sendo observado apenas a presença do biofilme e de ferrugem (Figura 16). Cabe ressaltar aqui, que durante o experimento foi observada a presença de organismos vágeis e outros associados, como o ouriço *Echinometra lucunter*, o crustáceo *Pachygrapsus* sp., crustáceos anfípodos, poliquetos errantes e peixes blenídeos. O possível efeito destes organismos sobre a comunidade incrustante estudada, em função de competição, herbivoria ou predação, foi considerado como sendo o mesmo nas réplicas do tratamento, não afetando os resultados obtidos (Figura 17).



Figura 16 – Foto subaquática de um painel após uma semana de imersão.

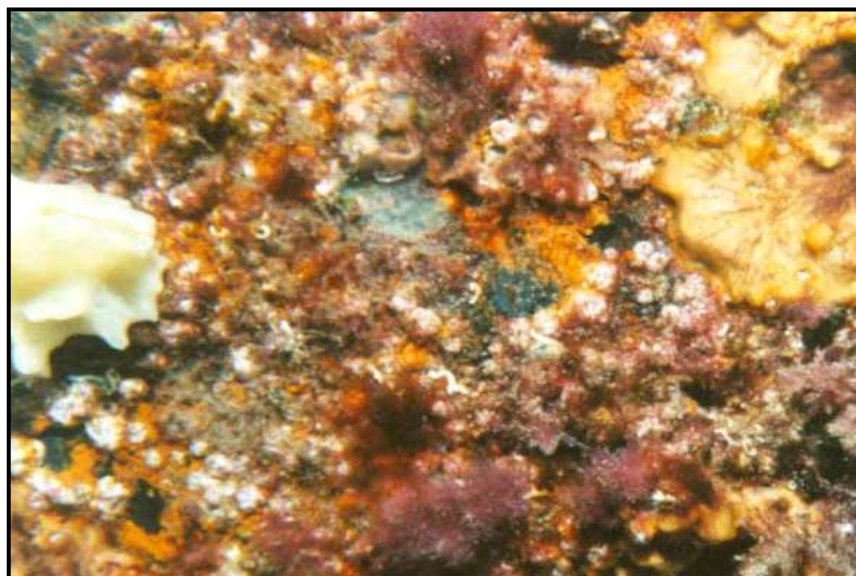


Figura 17 – Foto subaquática de um painel do tratamento comunidade antes da retirada.

#### 5.4.1 – Análise da cobertura da Comunidade Incrustante

Os organismos incrustantes observados foram analisados em termos de cobertura, distribuídos em 10 grupos ou táxons descritos anteriormente, além de terem sido registrados os percentuais de cobertura do espaço vazio (pontos sem organismos e sem ferrugem) e de ferrugem. Os grupos mais representativos na comunidade incrustante estudada, com os maiores percentuais de cobertura médios em todo o período de estudo, foram as macroalgas filamentosas (23,73%), os cirripédios (17,51%), os hidrozoários (16,96%) e os briozoários incrustantes (9,85%). Os grupos serpulídeos, macrófitas corticadas e foliáceas, e as espécies *C. ascandroides*, *P. perna*, *B. nigrum* apresentaram percentuais médios de cobertura inferiores a 5,00 %. O briozoário *B. neritina* foi registrado, mas não foi considerado nas análises por apresentar cobertura média inferior a 0,1%.

Como pode ser observado na figura 18, o percentual de cobertura dos cirripédios variou significativamente de um máximo de 33,75 % na 4ª semana a um

mínimo de 6,25% na 9ª semana. Foi observada uma diminuição na cobertura de cirripédios entre a 6ª a 11ª semana, quando o percentual voltou a subir, se mantendo em média em torno dos 20,0% nas demais semanas sem diferenças significativas (Figura 18).

O percentual de cobertura dos hidrozoários foi registrado desde o início do experimento principalmente em função da colonização de *Obelia dichotoma* nos espaços vazios. O percentual chegou a um máximo de 31,04% na 10ª semana, mostrando uma diminuição durante o estudo, até atingir uma média de 8,00 % nas últimas 3 semanas (Figura 18).

Os briozoários incrustantes (*M. membranacea* e *S. errata*) apresentaram percentual de cobertura crescente, com mínimo de 1,04% na 6ª semana, atingindo um máximo de 27,08 % na última semana, principalmente em função da presença de *S. errata*, organismo dominante nas últimas semanas do experimento. Os valores de cobertura da 16ª semana em diante apresentaram diferenças significativas para os valores da 6ª a 12ª semanas (Figura 18).

Quanto às macroalgas, as do tipo morfo-funcional filamentosas foram as dominantes, presentes em todas as semanas, com percentual de cobertura sempre acima dos 14,00%. Do início do experimento até a 12ª semana, foram dominantes filamentosas como *H. mitchelliae*, *F. irregularis*, *Ceramium* spp., *C. clavulatum* e *Cladophora* sp., chegando a 32,50 % de cobertura. A partir da 18ª semana, ocorreu um aumento no percentual de cobertura de filamentosas em função do crescimento de *S. hypnoides* e *A. taxiformis* fase gametofítica nos painéis, que se mantiveram até o final do experimento. As foliáceas foram presentes a partir da 5ª semana, porém com baixos valores de cobertura (de 0,24% a 1,88%). As macrófitas

corticadas foram registradas a partir da 9ª semana, em função da colonização de *C. sinuosa*. A partir da 13ª semana, foi registrada a cobertura de *C. spongiosum*. Ao final do estudo, foram registradas outras macrófitas corticadas como *G. pusillum* e *H. musciformis*. No geral, o percentual de cobertura das macroalgas corticadas variou entre 1,46% e 6,04 % (Figura 18). Nenhum dos tipos morfo-funcionais de macroalgas apresentou diferença significativa entre as semanas do estudo.

Outros incrustantes como os poliquetos serpulídeos foram registrados em todo o período de estudo com valores de cobertura entre 0,83% e 10,21%, máximo atingido na 11ª semana, quando apresentou diferença significativa para as demais semanas. O tunicado colonial *B. nigrum* foi registrado a partir da 9ª semana com 0,21% de cobertura e esteve presente em todas as semanas até o fim do experimento, com pico de cobertura de 5,00% na 23ª semana. Os organismos *C. ascandroides* (porífero) e *P. perna* (bivalvo) apresentaram valores de cobertura inferiores a 3,5 % e foram registrados a partir das últimas semanas (Figura 18).

A cobertura por produto de corrosão (ferrugem) apresentou maiores valores de cobertura no início do experimento, quando alcançou o valor de 35,63%, diminuindo significativamente para últimas semanas, quando a cobertura não passou dos 9,00%. O espaço vazio se manteve durante o estudo, com o percentual de cobertura inferior a 8,00%, com uma diminuição acentuada entre a 12ª e a 14ª semanas (Figura 18).

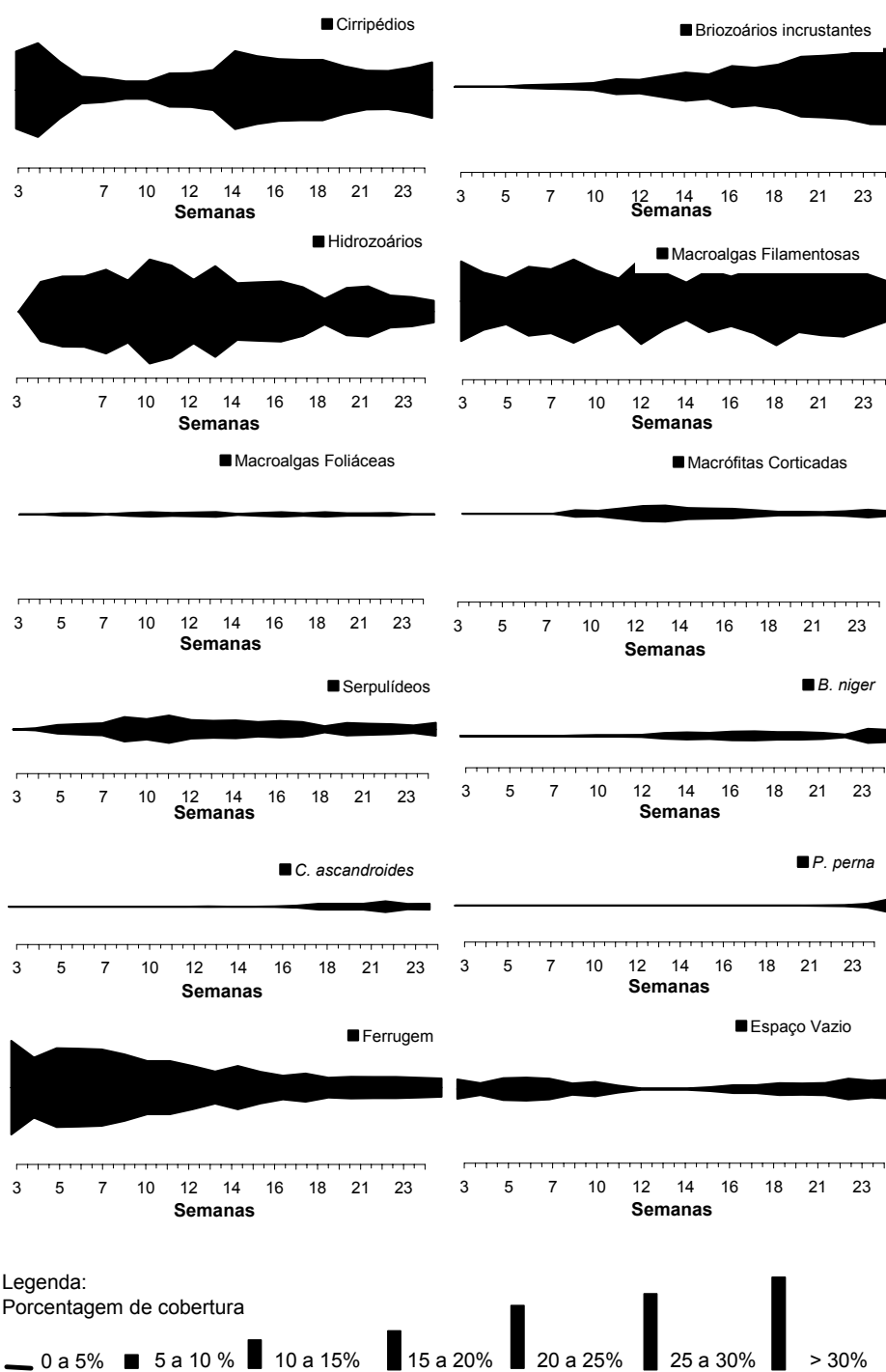


Figura 18- Variação do percentual de cobertura dos grupos e espécies de incrustantes, espaço vazio e ferrugem, ao longo das 24 semanas.

#### 5.4.2. – Medidas Eletroquímicas do Potencial de Corrosão

O potencial de corrosão no tratamento comunidade, da 1ª à 5ª semana, os valores de potencial variaram entre  $-649,50$  mV(Ag/AgCl) (2ª semana) a  $-598,13$  mV(Ag/AgCl) (6ª semana). Na 7ª semana, o valor médio aumentou significativamente para  $-533,00$  mV(Ag/AgCl). Da 10ª a 16ª semana, os valores diminuíram e se mativeram estáveis entre  $-665,75$  mV(Ag/AgCl) (15ª semana) a  $-622,38$  mV(Ag/AgCl) (11ª semana). Nas 17ª, 18ª, 20ª semanas, os valores aumentaram de forma significativa e foram de  $-542,13$  mV(Ag/AgCl);  $-565,00$  mV(Ag/AgCl) e  $-539,38$  mV(Ag/AgCl), respectivamente. Nas duas últimas semanas, o potencial voltou a diminuir, atingindo o valor de  $-647,88$  na 22ª semana e  $-596,25$

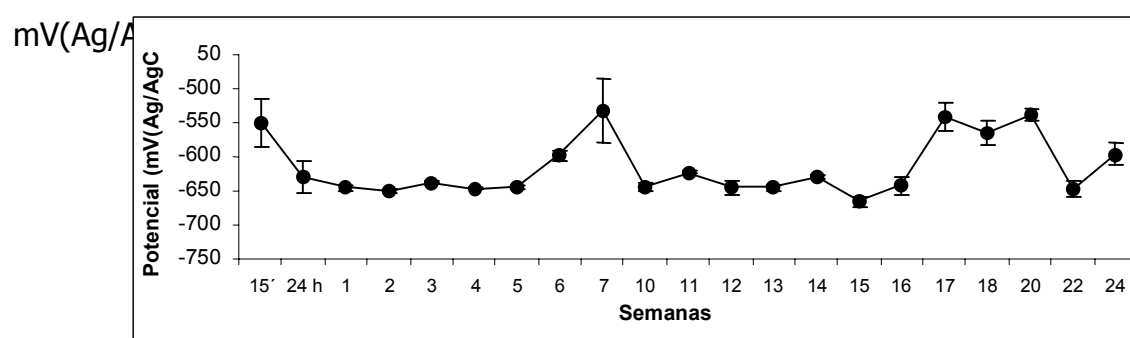


Figura 19 - Variação semanal do potencial do tratamento comunidade

#### 5.4.3– Caracterização da intensidade e grau do ataque corrosivo

A perda média de massa das réplicas foi de  $31,196 \pm 0,3292$  g. A taxa de corrosão uniforme média calculada para este tratamento foi de  $0,15696 \pm 0,0162$  mm/ano. Quanto ao grau de ataque localizado, o percentual de área afetada da superfície dos painéis foi entre 4 e 6 %. Este foi o maior percentual observado dentre os tratamentos (Tabela 3).

## 5.5 – Tratamento Cirripédios

---

As manipulações realizadas para a exclusão de outros incrustantes, atingiram o objetivo principal, ou seja, a comunidade foi de fato dominada por cirripédios. Duas das réplicas chegaram a apresentar 100% de cobertura de cirripédios, mas apenas de um dos lados do painel (Figura 20). Cabe ressaltar, que foi observada a presença de um bivalvo ostreídeo, somente nos painéis deste tratamento e devido ao seu modo de fixação alguns deles não puderam ser removidos. No entanto, a cobertura destes organismos foi muito inferior a de cirripédios e seu efeito foi desconsiderado.

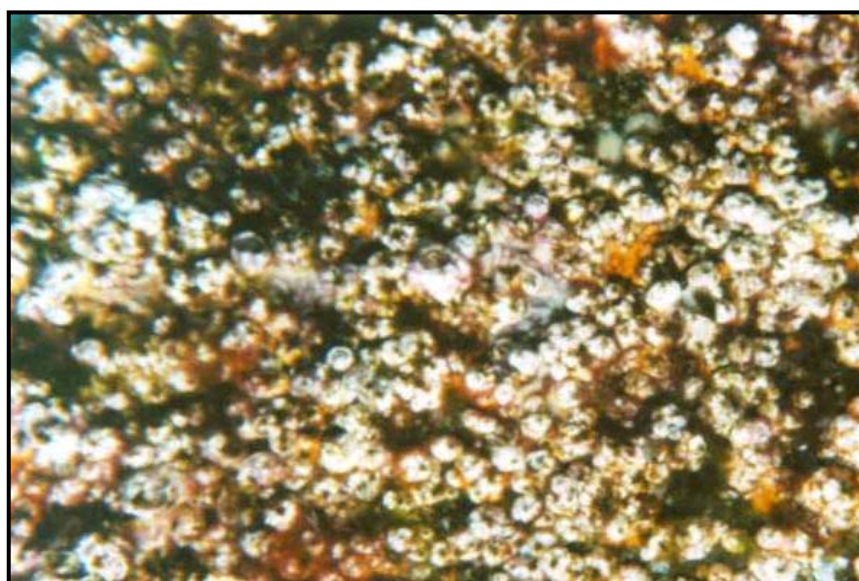


Figura 20 – Foto subaquática de um painel do tratamento cirripédios antes da retirada.

### 5.5.1 – Análise da cobertura de Cirripédios

Os painéis manipulados para a dominância de cirripédios apresentaram percentual de cobertura variando de 39,38% a 62,50%, sem diferenças significativas. O percentual de espaço vazio, variou de 25,00% a 52,71% e os maiores valores foram observados no início do experimento, sendo, à exceção da 1ª



semana, sempre bem maiores que o de ferrugem, que variou entre 4,38% a 22,08 % da segunda semana em diante (Figura 21).

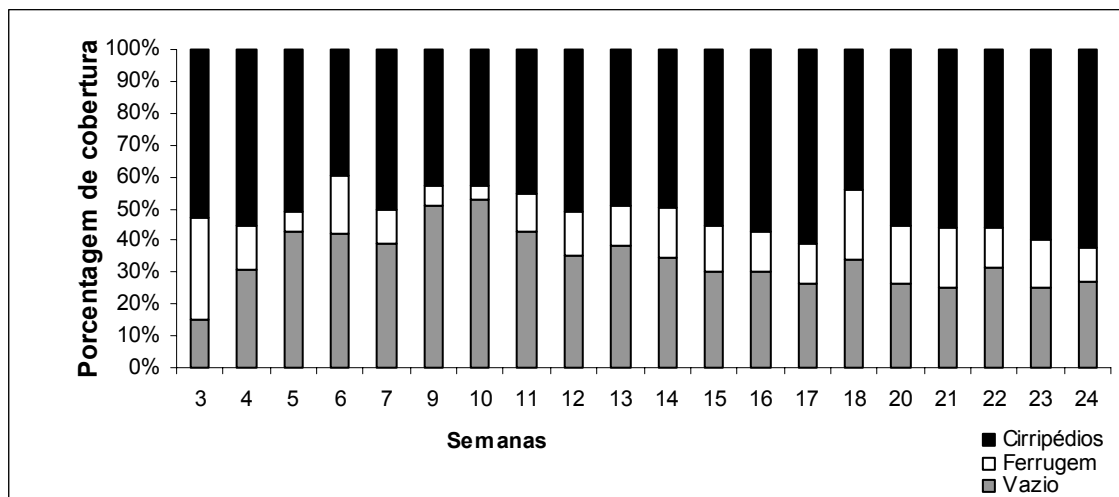


Figura 21 – Variação da cobertura do tratamento cirripédios durante as semanas de estudo.

### 5.5.2 – Medidas Eletroquímicas do Potencial de Corrosão

O potencial de corrosão no tratamento cirripédio, variou entre  $-652,75$  mV(Ag/AgCl) (1ª semana) a  $-562,75$  mV(Ag/AgCl) (6ª semana). Na 7ª semana, o valor médio aumentou significativamente e foi  $-517,50$  mV(Ag/AgCl). Da 10ª a 16ª semana, os valores diminuíram e variaram de  $-653,57$  mV(Ag/AgCl) (15ª semana) a  $-593,75$  mV(Ag/AgCl) (12ª semana). Nas 17ª, 18ª, 20ª semanas, os valores aumentaram de forma significativa e foram de  $-552,71$  mV(Ag/AgCl);  $-585,14$  mV(Ag/AgCl) e  $-537,71$  mV(Ag/AgCl), respectivamente. Nas duas últimas semanas, o potencial voltou a diminuir, atingindo o valor de  $-606,71$  na 22ª semana e  $-674,60$  mV(Ag/AgCl) na 24ª semana.

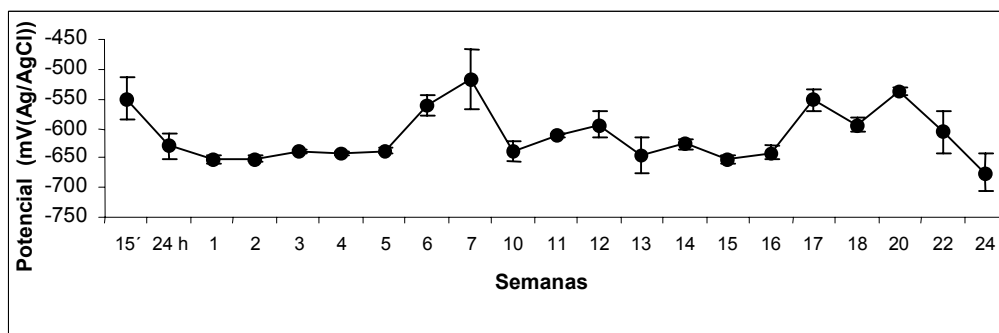


Figura 22 – Variação semanal do potencial no tratamento cirripédios.

### 5.5.3– Caracterização da intensidade e grau do ataque corrosivo

A perda média de massa das réplicas foi de  $28.027 \pm 0,3262$  g, a menor perda observada. A taxa de corrosão uniforme média calculada este tratamento foi de  $0,1179 \pm 0,0222$  mm/ano. Quanto ao grau de ataque localizado, o percentual de área afetada da superfície dos painéis deste tratamento foi entre 2 e 3 % (Tabela 3).

Tabela 3- Cálculo do taxa de corrosão uniforme e percentual de área afetada por ataques localizados.

Tratamentos	Taxa de Corrosão Uniforme		Ataques Localizados
	média	erro padrão	% área afetada
Controle	<b>0,1717 mm/ano</b>	0,0258	<1%
Comunidade	0,1570 mm/ano	0,0163	<b>4 a 6%</b>
Cirripédios	0,1179 mm/ano	0,0223	2 a 3 %

Os métodos utilizados neste estudo foram elaborados exclusivamente para este experimento, pois os estudos sobre o processo corrosivo na presença de incrustantes realizados até então, não objetivaram a obtenção de resultados ecológicos. Aspectos quali-quantitativos da comunidade presente no biofilme são enfocados na literatura sobre corrosão microbiana. No entanto, para a macroincrustação, os trabalhos empregam métodos de avaliação qualitativos para a comunidade (presença ou ausência) (Efird, 1976; Chandler, 1979), e/ou utilizam painéis pequenos e com pouca distância entre eles, ou ainda não fazem qualquer consideração a respeito da comunidade, enfocando somente a geração de dados sobre o processo corrosivo (Kirk & Pikull, 1990; Neville & Hodgkiess, 1998; Luo & Lee 2001).

A metodologia empregada neste experimento tentou minimizar as possíveis interferências causadas pelo artefato experimental, com um tamanho de painel adequado, preservando a independência das réplicas e anulando efeitos como o de borda e do posicionamento do painel na estrutura, para garantir um bom resultado ecológico. Ao mesmo tempo, o artefato teve de evitar o contato elétrico entre os painéis, e entre o alumínio e os painéis, além de possibilitar as medições eletroquímicas fora da água. Criar uma metodologia experimental não é simples, principalmente para testar hipóteses inéditas, onde não há nem sugestões nem comparações a serem feitas com o descrito na literatura. Acreditamos que o desenho experimental utilizado tenha sido apropriado para o objetivo do estudo.

Optou-se por fazer observações durante 6 meses, que é o período compatível com a estabilidade da comunidade incrustante na região do Arraial do Cabo.

Coutinho & Costa (1997) e Coutinho (dados não publicados) em observações por períodos de até 4 anos, definiram o tempo de estabilidade da comunidade incrustante da região como sendo de 6 meses. Embora este estudo tenha sido a curto prazo, principalmente se comparado com estudos que abordam o processo corrosivo e a comunidade incrustante, como Efirid (1976) e Chandler (1979), que fizeram 5 anos de observação, e Kirk & Pikull (1990) que trabalharam por 3 anos, este experimento forneceu resultados satisfatórios: foi observada uma perda em massa dos painéis que variou de 5 a 10 % do peso inicial e foi possível também, observar uma estabilidade na comunidade incrustante ao final do experimento, como já era esperado.

Os grupos e tipos morfo-funcionais de organismos dominantes na comunidade incrustante estudada, macroalgas filamentosas, cirripédios, hidrozoários, briozoários incrustantes e serpulídeos, assim como os demais grupos e espécies, o porífero *C. ascandroides*, o tunicado *B. nigrum* e as macroalgas foliáceas e corticadas, já foram descritos por outros autores em trabalhos sobre incrustação em painéis, tanto em áreas temperadas (Sutherland & Karlson, 1977; Field, 1982) quanto no Brasil (Zalmon, 1988; Absalão, 1993; Chasilew, 1998; Nassar & Silva, 1999).

Como o objetivo deste estudo foi associar o desenvolvimento da comunidade incrustante com o processo corrosivo nos painéis, foi realizada uma abordagem em nível de tipos morfo-funcionais, que se mostrou bastante adequada. A organização dos organismos em grupos funcionais inclui o aspecto da fixação dos organismos e sua relação com o substrato (Sutherland, 1978; Field, 1982), o que é bastante relevante para este estudo e já foi utilizado em outros estudos sobre sucessão ecológica (Field, 1982; Absalão, 1993; Nassar & Silva, 1999; Omena & Souza, 1999).

Uma abordagem mais geral foi proposta por Jackson (1977). O autor sugere que na interpretação dos processos da comunidade, os organismos da comunidade incrustante sejam agrupados em solitários e coloniais. Os solitários empregariam uma estratégia mais oportunista e seriam mais abundantes nos estádios iniciais da sucessão, com comportamento gregário e maior variedade morfológica. Os coloniais seriam superiores competitivamente, pois o crescimento lateral permite ocupação do substrato sem eventos reprodutivos ou recrutamento, e no final da sucessão estes seriam dominantes por exclusão competitiva. Embora o padrão sucessional encontrado neste estudo e em outros, como Absalão (1993) e Chasilew (1998), tenha se aplicado parcialmente ao padrão sugerido por Jackson (1977), a utilização dos critérios de classificação solitário/colonial proposta para os organismos é bastante útil para explicar o padrão sucessional observado.

O domínio inicial de algas filamentosas como *H. mitchelliae*, *U. fasciata* e *Enteromorpha* spp., de *Obelia dichotoma* e outros hidrozoários, e de cirripédios é largamente reportado para o estudo do processo sucessional. São organismos solitários e oportunistas, de crescimento rápido e curto ciclo de vida e característicos de início de sucessão (Zalmon, 1988; Absalão, 1993; Skinner, 1997; Nassar & Silva, 1999; Omena & Souza, 1999). No entanto, estes não foram substituídos, permanecendo até o fim do experimento com valores de cobertura mais baixos que o inicial.

Nas últimas semanas, foi registrada a presença de organismos coloniais como *C. ascandroides* e *B. nigrum* e a dominância do briozoário colonial *S. errata*. Esta espécie é descrita como tardia em processos sucessionais (Sutherland, 1978; Zalmon & Forneris, 1997; Skinner, 1997; Chasilew, 1998), e um excelente competidor por

interferência, ocupando grande parte do substrato disponível (Sutherland, 1978), em função de sua alta taxa de crescimento, o que é uma vantagem sobre os demais (Sutherland & Karlson, 1977; Dean & Hurd, 1980). O mexilhão *P. perna*, apesar de ser um organismo solitário, só foi registrado nas últimas semanas. Este organismo utiliza as algas filamentosas e hidrozoários como sítio de fixação primário, seu crescimento é rápido e não há necessidade de espaço para fixação em função de seus filamentos bissais. Este animal apresenta preferência por substratos já colonizados e é reconhecido como residente final na comunidade (Absalão, 1993).

Quanto às macroalgas, cabe destacar o alto percentual de cobertura do tipo morfo-funcional filamentoso durante todo o período de observação, inclusive no final do estudo, em comparação ao de macrófitas corticadas. É reconhecido na literatura que geralmente, as macrófitas dominam em estádios finais de sucessão (Nandakumar *et. al.*, 1993), em função de suas diferentes estratégias ecológicas. As algas filamentosas, com talo de organização bastante simples e alta relação entre superfície e volume, mostram crescimento rápido (Norton, 1991), contrastando com o das macrófitas corticadas, cujo crescimento é mais lento (Steneck & Dethier, 1994).

Sendo assim, os altos valores de cobertura de *Spyridia hypnoides* e *Asparagopsis taxiformis*, que são classificadas como filamentosas, nas últimas seis semanas de estudo, parecem não estar de acordo com o esperado. Ao longo do processo de colonização, algas filamentosas unisseriadas, bastante abundantes no início, como as Ectocarpales, apresentam uma queda acentuada de cobertura ou mesmo desaparecem (Absalão, 1993; Nassar & Silva, 1999). Provavelmente *Spyridia hypnoides* e *Asparagopsis taxiformis*, que são filamentosas levemente corticadas ou

polissifônicas, apresentam estratégias ecológicas diferentes das espécies filamentosas dos estadios iniciais da colonização, conforme sugerem Steneck & Dethier (1994). Algas filamentosas levemente corticadas ou com filamentos polissifônicos apresentam maior grau de complexidade anatômica e crescimento mais lento, além de maior longevidade, quando comparadas com as filamentosas unisseriadas. O fato de termos incluído *Spyridia hypnoides* e *Asparagopsis taxiformis* junto com as outras espécies de filamentosas explica a manutenção da cobertura elevada de filamentosas ao longo do estudo.

Quanto aos cirripédios, que receberam destaque no estudo, é interessante salientar a queda significativa em sua cobertura entre a sexta e a décima segunda semana, após um período de alto percentual. Há bastante tempo, estudos já apontam que a competição intra-específica é a maior causa de eliminação rápida entre os cirripédios (Barnes & Powell, 1950; Crisp, 1961; Lewis, 1964) e é o que parece ter ocorrido, principalmente porque após a décima segunda semana, a cobertura voltou a aumentar, porém se mantendo menor que a inicial e constante durante o resto do estudo. O mesmo foi observado no percentual de cobertura destes organismos no tratamento cirripédios. Embora tenha sido feita uma interferência, em função da manipulação, favorecendo a quantidade de espaço disponível para a fixação, principal fator limitante ao desenvolvimento das comunidades incrustantes (Buss, 1979; Russ, 1982; Nandakumar *et.al.*, 1993), a cobertura se manteve constante em torno dos 50%, concordando com os resultados de Chasilew (1998).

Apesar da substituição temporal dos grupos e dos tipos morfo-funcionais ao longo do estudo, não foram detectadas alterações no potencial de corrosão. O

esperado era que o potencial de corrosão que indica, de modo geral, os estados passivo ou ativo dos metais, decrescesse ou elevasse de acordo com a substituição temporal, dominância ou ausência dos grupos. Isso não aconteceu de forma significativa quando comparamos as variações entre os tratamentos, como pode ser observado no Anexo 1.

Assim, seria razoável supor que as alterações observadas, que foram de baixa amplitude, na faixa de 100 a 120 mV(Ag/AgCl), ocorreram regidas por algum fator atuante de forma independente em todos os tratamentos. Dentre os fatores ambientais medidos, como temperatura, salinidade e o teor de oxigênio, não foi observada nenhuma variação que pudesse ter influenciado o padrão observado para o potencial de corrosão. Este fato indica que outros fatores não abordados neste estudo podem ter causado as variações, como a velocidade das correntes locais, por exemplo. Cabe ressaltar também, que as interações metal/bioncrustação são de natureza interfacial, ou seja, acontecem na superfície metálica. Desta forma, sugerimos que em estudos futuros, os parâmetros abióticos sejam medidos também na interface superfície/meio corrosivo, na tentativa de explicar a variação observada. Mesmo assim, os valores de potencial deste estudo são corroborados por Costa (1998), que em seu experimento com biofilme em aço carbono, na Ilha de Cabo Frio, estimou uma variação no potencial entre  $-704$  mV(Ag/AgCl) e  $-584$  mV(Ag/AgCl) em painéis aço carbono não revestido, expostos em campo.

Apesar de não ter havido variação no potencial de corrosão, o grau dos ataques localizados observados foi diferente entre os tratamentos. O aparecimento de ataques localizados em função da presença da bioincrustação ficou claro pelo aspecto visual dos painéis de controle, que apesar da presença do biofilme,



praticamente não apresentaram áreas afetadas (com menos de 1%). Contudo, o tratamento com dominância de cirripédios apresentou um percentual de ataque localizado menor que o tratamento comunidade, ao contrário do esperado e do reportado na literatura. Eashwar *et. al.* (1992) apontam os cirripédios como principais causadores de ataques corrosivos localizados, principalmente por sua forma de fixação, que se dá através de glândulas de cimento, eliminado por numerosos canais secundários para os canais radiais e circulares (Lacombe, 1997): o ataque localizado muitas vezes se dá na forma dos canais radiais. Sendo assim, com base nos resultados deste estudo, em função do maior percentual de área afetada pela comunidade, é provável que outros organismos, como *S. errata* ou as filamentosas dominantes no período de estudo, em função de seu crescimento, morfologia e tipo de fixação, tenham induzido a corrosão localizada.

Quanto à taxa de corrosão uniforme, os valores encontrados (171,1  $\mu\text{m}/\text{ano}$  no tratamento controle; 157  $\mu\text{m}/\text{ano}$  no comunidade; e 117,9  $\mu\text{m}/\text{ano}$  no cirripédio) concordam com os da literatura. Kirk & Pikull (1990) reportam valores entre 75 e 200  $\mu\text{m}/\text{ano}$  para o aço carbono exposto em água do mar por um tempo mínimo de 6 meses. Estes autores encontraram valores médios de 168  $\mu\text{m}/\text{ano}$  para 6 meses de observação e 172  $\mu\text{m}/\text{ano}$  para 1 ano, descendo para 117  $\mu\text{m}/\text{ano}$  ao final de 3 anos. Os autores destacam que não houve uma tendência de aumento ou diminuição da taxa com o tempo.

O fato da maior taxa de corrosão uniforme ter sido encontrada no tratamento controle, ou seja na ausência de macroorganismos, e a menor no tratamento cirripédios, pode sugerir que a bioincrustação protegeu as superfícies metálicas. Este fato já foi descrito na literatura por Eashwar *et. al.* (1990) e Luo & Lee (2001), que

afirmam que a bioincrustação realmente protege as superfícies, pois retarda o descolamento do produto de corrosão em comparação com superfícies expostas.

No tratamento comunidade, foi observada alta cobertura de macroalgas. Como o descrito por Eashwar *et. al.* (1990), houve uma diminuição da taxa de corrosão uniforme quando a dominância nos painéis foi de cirripédios, e foi associado um aumento na taxa de corrosão quando a dominância foi de macroalgas. Este aumento teria ocorrido em função da fotossíntese e da consequente liberação de oxigênio, acelerando o processo corrosivo. No presente estudo, no entanto, o efeito das macroalgas não pode ser isolado por causa da alta cobertura de outros organismos.

Porém, é preciso destacar que o aumento da taxa de corrosão uniforme nos painéis do tratamento controle, que foram isolados apenas da macroincrustação, pode ter sido acentuado pela corrosão microbiana. Videla (1993) descreve a intensa interação das bactérias com a superfície do aço carbono, onde a atividade bacteriana induz a formação de grande quantidade de produtos de corrosão, expondo freqüentemente a superfície metálica, que começa a funcionar como o catodo de uma pilha eletroquímica com as superfícies ainda recobertas com produto. O autor cita ainda que a corrosão por microorganismos em água do mar, em função do meio favorável, ocorre na presença de bactérias aeróbicas e anaeróbicas, sendo possível encontrar todo o tipo de corrosão microbiana.

Contudo, podemos também interpretar as taxas de corrosão uniforme encontradas, considerando o aspecto da concentração de oxigênio na superfície dos painéis. De acordo com Gentil (1996), a taxa de corrosão do aço carbono em água do mar está diretamente relacionada com o teor de oxigênio. No caso do aço

carbono, a taxa de corrosão aumenta na presença de oxigênio e diminui em menores concentrações. No tratamento controle, que apresentou a maior taxa, a superfície ficou exposta ao meio oxidante e sob ação do biofilme durante todo período de estudo. Quanto ao tratamento cirripédios, é descrito na literatura que embaixo das carapaças dos cirripédios a concentração de oxigênio é menor, principalmente se comparado com a forma de fixação membranosa de outros organismos (Rowlands, 1976; Eashwar *et. al.*, 1992). A manipulação realizada neste tratamento levou a um percentual de cirripédios bem maior do que o percentual que ocorreu naturalmente no tratamento comunidade. Sendo assim, podemos inferir que na dominância dos cirripédios, a superfície fica mais isolada do meio oxidante e com isso a taxa de corrosão uniforme diminuiu. Quanto ao tratamento comunidade, como já descrito anteriormente, uma alta cobertura de macroalgas nos painéis pode ter acelerado o processo corrosivo em função da fotossíntese. Além disso, a dominância do briozoário *S. errata* pode não ter isolado a superfície do meio oxidante, já que apesar de ser um organismo incrustante calcário não adere e nem se fixa ao substrato como os cirripédios.

Os parâmetros indicadores da morfologia do processo corrosivo mostraram diferenças quanto à influência da comunidade incrustante na corrosão durante o período de observação. Por um lado, a presença da bioincrustação protegeu a superfície metálica e a taxa de corrosão uniforme diminuiu na presença dos incrustantes. Por outro lado, a maior incidência de ataques localizados causados pela comunidade incrustante foi comprovada. Cabe destacar que se a incrustação biológica pode ser de certo modo benéfica, a indução e perpetuação de ataques localizados causados pelo desenvolvimento dos macroorganismos, é extremamente

prejudicial. Em situações reais, este tipo de ataque pode fragilizar e perfurar estruturas como píers e pilares de sustentação, além de canos e dutos, e consequentemente, aumentar o custo para manutenção e substituição das peças inutilizadas (Gentil, 1996).

Em resumo, o experimento realizado permitiu observar diferentes efeitos da comunidade incrustante na corrosão dos painéis de aço carbono em termos de intensidade do ataque uniforme e percentual de ataques localizados. No entanto, a hipótese nula não pode ser rejeitada em parte, já que de fato nenhuma alteração no potencial de corrosão pode ser relacionada à comunidade incrustante. Recomendamos, inclusive, que em estudos futuros sejam incluídos, além das medições nas proximidades da interface, outros estudos eletroquímicos, de natureza cinética, (como os estudos de polarização anódica), afim de complementar e verificar a influência da bioincrustação no comportamento eletroquímico do material.

## 7- CONCLUSÕES

---

- ✓ O desenho experimental elaborado se mostrou adequado para o estudo proposto e o tempo de estudo de estabilidade da comunidade incrustante, 6 meses, foi satisfatório para o estudo do processo corrosivo;
- ✓ A comunidade incrustante foi composta principalmente de algas filamentosas, hidrozoários e cirripédios, com alto percentual de cobertura nas fases iniciais do experimento, e de briozoários incrustantes (principalmente *Schizoporella errata*, dominante na fase final) e outros coloniais, como *Clathrina ascandroides* e *Botrylloides nigrum*, além de *Perna perna* presentes nas semanas finais do estudo;
- ✓ A manipulação dos painéis para a dominância de cirripédios foi bem sucedida, atingindo 50% de cobertura destes organismos, em média na superfície dos painéis;
- ✓ Não foram observadas alterações no potencial de corrosão que pudessem ser associadas à substituição temporal dos organismos incrustantes;
- ✓ A taxa de corrosão uniforme foi maior na presença da comunidade incrustante do que na dominância de cirripédios, e ambas foram menores que no controle, o que sugere que a bioincrustação protege a superfície metálica da perda em espessura;
- ✓ O grau de ataques localizados foi maior na presença da comunidade do que na dominância de cirripédios, e ambos maiores que no controle, o que permite concluir que não só os cirripédios, mas também outros organismos da comunidade podem reforçar a corrosão localizada;
- ✓ Recomenda-se a inclusão, em estudos futuros, de medições de parâmetros abióticos na interface superfície metálica/meio e de estudos eletroquímicos de natureza cinética, como os de polarização anódica para verificar a influência da bioincrustação no comportamento eletroquímico do metal.

---

## 8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- ABDUL ALEEM, F. A.; AL-SUGAIR, K. A. & ALAHAMD, M. I., 1998. Biofouling problems in membrane processes for water desalination and reuse in Saudi Arabia. *International Biodeterioration and Biodegradation*, **41**(1):19-23.
- ABSALÃO, R. S., 1993. **Colonização primária e sequência de substituições em substrato artificial na comunidade epibêntica da Baía de Guanabara, RJ, Brasil.** Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado. 220p.
- AL-AHMAD, M.; ABDUL ALEEM, F. A.; MUTIRI, A. & UBAISY, A., 2000. Biofouling in RO membrane systems. Part1: Fundamentals and control. *Desalination*, **132**(1-3): 173-179.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 2001. Standard test method for evaluation of painted or coated specimens subjected to corrosive environments. Norma D-1654 – 92. 3p.
- ANIL, A. C.; CHIBA, K.; OKAMOTO, K. & KURIKURA, H., 1995. Influence of temperature and salinity on larval development of *Balanus amphitrite*: Implications in fouling ecology. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, **118**: 159-166.
- BARNES, H. & POWELL, H.T., 1950. The development, general morphology and subsequent elimination of barnacle populations, *Balanus creanutus* and *Balanus balanoides*, after a heavy initial settlement. *J. Anim. Ecol.*, **19**:175-179.
- BENTO, F. M. & GAYLARDE, C. C., 2001. Biodeterioration of stored diesel oil studies in Brazil. *International Biodegradation and Biodeterioration*, **47**(2): 107-112.
- BUSS, L.W., 1979. Bryozoan overgrowing a marine epifaunal community interactions - the interdependence of competition for space and food. *Nature*, 211:475-477.
- CASTRO, C. B.; ECHEVERRIA, C. A.; PIRES, D. O. ; DE MASCARENHAS, B. J. A. & FREITAS, S. G., 1995. Distribuição de Cnidaria e Echinodermata no infralitoral de costões rochosos de Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, Brasil. *Rev. Brasil. Biol.*, **55** (3): 471 – 480.
- CHANDLER, H. E., 1979. Corrosion-biofouling relationship of metals in seawater. *Metal Progress*, **115**(6):47-49; 53.
- CHASILEW, S., 1998. **Colonização, recrutamento e sucessão ecológica de organismos bentônicos sob diferentes densidades de cirrípedes.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Biologia Marinha. Instituto de Biologia, Universidade Federal Fluminense. 94p.

- CLAPP, W. F., 1948. Macro-organisms in seawater and their effect on the corrosion. *In: Corrosion Handbook*. UHLIG, H. H. (ed). Ed. John Wiley and Sons Inc., New York. pp. 433-441.
- COSTA, A. K. S. da, 1998. **Avaliação "in situ" e em laboratório de um "primer" de ferrugem protetora sob a película de tinta "antifouling"**. Dissertação de Mestrado. Coordenação de Programas de Pós-Graduação em Engenharia (COPPE). Universidade Federal do Rio de Janeiro. 93p.
- COUTINHO, R. & COSTA, L.V.G., 1997. Avaliação experimental da influência do recrutamento e competição na sucessão de comunidades incrustantes na Ilha de Cabo Frio, Rio de Janeiro, Brasil. *Anais do VII COLACMAR*. Santos, São Paulo. pp. 212-213.
- COUTINHO, R. & VALENTIN, J. L., 1988. Conseqüências biológicas dos processos oceanográficos nas comunidades bentônicas costeiras. Relatório Interno nº 207 do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM). 113p.
- CRISP, D. J., 1961. Territorial behaviour in barnacle settlement. *J. Exp. Biol.*, **38**:429-466.
- DEAN, T. A. & HURD, L. E., 1980. Development in a estuarine fouling community: the influence of early colonist on later arrivals. *Oecologia*, **43**:298-301.
- DEXTER, S. C. & GAO, G. Y., 1988. Effect of seawater biofilms on corrosion potential and oxygen reduction of stainless steel. *Corrosion*, 44(10):717-723.
- EASHWAR, M.; SUBRAMANIAN, G. & CHANDRASEKARAN, P., 1990. Marine fouling and corrosion studies in the coastal waters of Mandapam, India. *Bulletin of Electrochemistry*, 6(8):699-702.
- EASHWAR, M.; SUBRAMANIAN, G.; CHANDRASEKARAN, P. & BALAKRISHNAN, K., 1992. Mechanism for barnacle-induced crevice corrosion in stainless steel. *Corrosion*, 48(7):608-612.
- EFIRD, K. D., 1976. The inter-relation of corrosion and fouling for metals in sea water. *Materials Performance*, 15(4):16-25.
- FALCÃO, A. P., 1999. Interferência da epifauna incrustante sobre a comunidade de perfurantes de madeira da família Teredinidae (Mollusca: Bivalvia). Dissertação de Mestrado. Programa de Pós- Graduação em Ecologia. Instituto de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 81p.
- FERREIRA, C. E. L. & COUTINHO, R. 2002. Casco de navio e plataformas como vetores na introdução de espécies exóticas. *Anais do XXIV Congresso Brasileiro de Zoologia*. 17 a 22 de fevereiro. Itajaí, Santa Catarina. p. 641.

- FIELD, B., 1982. Structural analysis of fouling community development in the Damariscotta River estuary, Maine. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 57:25-33.
- FLETCHER, R. L., 1980. Marine algal fouling communities on floating structures in the Solent (South Coast of England). V Congreso Internacional de Corrosion Marina e Incrustaciones. *Biologia Marina*, 329-370.
- FOSTER, M. S.; HARROLD, C. & HARDIN, D. D. 1991. Point vs. photo quadrat estimates of the cover of sessile marine organisms. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, **146**:193-203.
- GEESEY, G. G., 1982. Microbial exopolymers: ecological and economic considerations. *American Society of Microbiology News*, **48**: 9-14.
- GENTIL, V., 1996. **Corrosão**. 3ª ed. Ed. Livros Técnicos e Científicos S. A., Rio de Janeiro. 345p.
- GRASSHOFF, K.; EHRHARDT, M. & KREMELING, K., 1983. **Methods of Seawater Analysis**. 2ª ed. Ed. Verlag Chemie. 150 p.
- GUIMARAENS, M. A. & COUTINHO, R., 1996. Spatial and temporal variation of benthic marine algae at the Cabo Frio upwelling region, Rio de Janeiro, Brazil. *Aquatic Botany*, **52**: 283 - 299.
- JACKSON, J. B. C., 1977. Competition on marine hard substrata: the adaptive significance of solitary and colonial strategies. *Am. Nat.*, **111**(980):743-767.
- JOLY, A. B., 1965. Flora marinha do litoral norte do Estado de São Paulo e regiões circunvizinhas. *Bolm Fac. Filos. Ciên. Letras, Univ. S. Paulo*, n. 294. Botânica. **21**:1-393.
- KIRK, W. W. & PIKULL, S. J., 1990. Seawater Corrosivity Around the World: Results from three years of testing. *In: Corrosion in Natural Waters*. Baloun, C. H. (ed). Ed American Society for Testing and Materials, Philadelphia. pp. 2-36.
- LACOMBE, D., 1965. Observações sobre corrosão biológica em placas de aço na Baía de Guanabara. Nota Técnica nº22/65. Instituto de Pesquisa da Marinha. 20p.
- LACOMBE, D., 1997. Incrustação e Corrosão Biológica. 2º Encontro de Bioincrustação, Ecologia Bêntica e Corrosão. 28 de julho a 1º de agosto. Arraial do Cabo, RJ. v1: p.37
- LA QUE, F. L., 1982. Topics for research in marine corrosion. *Materials Performance*, 21(4):13-18.



- LEITE, N. F., 1999. **Efeitos da incrustação de macrororganismos sobre materiais de centrais nucleares que utilizam água do mar nos sistemas de refrigeração.** Dissertação de Mestrado. Coordenação de Programas de Pós-Graduação em Engenharia (COPPE). Universidade Federal do Rio de Janeiro. 68p.
- LEWIS, J. R., 1964. **The ecology of rocky shores.** English Univ. Press. London, 323p.
- LITTLE, B.; STAEHLE, R. & DAVIS, R., 2001. Fungal influenced corrosion of post-tensioned cables. *International Biodegradation and Biodeterioration*, **47**(2): 910-920.
- LITTLER, M. M. & LITTLER, D. S., 1985. Nondestructive sampling. *In: Phycological methods: ecological field methods: macroalgae.* LITTLER, M. M. and LITTLER D. S. (eds). Cambridge University Press, Cambridge. pp. 161-175.
- LUO, J. S. & LEE, H. H., 2001. Influence of marine organisms upon corrosion of carbon steel. *Corrosion/2001*. NACE. Houston, Texas. Paper nº 1460.
- MAGALHÃES, F. C. M.; SOBRINHO D'ELLA, G; ANDRADE, C. A.; SEBASTIAN, C. V.; OLIVEIRA, H. B.; FERREIRA, V. S. & RODINO, E. L. G., 1996a. Microorganism Influenced Corrosion (MIC) process in PETROBRAS Refinery water cooling system. *International Biodeterioration and Biodegradation*, **37**(1-2): p. 126.
- MAGALHÃES, F. C. M. ; SOUZA JÚNIOR, H. A.; PENNA, M. O.; SILVA, E. D.; OLIVEIRA, H. B.; ANDRADE, C. A. & SEBASTIAN, G. V., 1996b. Biofouling and sulfate scale in oil production systems – Effects on biocorrosion. *International Biodeterioration and Biodegradation*, **37**(1-2): p. 126.
- MOLLICA, A.; TREVIS, A.; TRAVERSO, E.; VENTURA, G.; DE CAROLIS., G. & DELLEPIANE, R., 1989. Cathodic performance of stainless steels in natural sea water as a function of microorganisms settlement and temperature. *Corrosion*, **45**(1):48-56.
- NANDAKUMAR, K.; TANAKA, M. & KIKUCHI, T., 1993. Interespecific competition among fouling organisms in Tomioka Bay, Japan. *Marine Ecology Progress Series*, **94**:43-50.
- NASSAR, C. A. G., 1994. **Comunidades incrustantes sobre painéis artificiais em quatro profundidades na Ilha Guaíba – RJ (Brasil).** Dissertação de Mestrado. Instituto de Biologia. Universidade Federal do Rio de Janeiro.76 p.
- NASSAR, C. A . G. & SILVA, S. H. G., 1999. Comunidade incrustante em quatro profundidades na Ilha Guaíba – Rio de Janeiro (Brasil). *In: Silva, S. H. G. & Lavrado, H. P. (eds.). Ecologia dos ambientes costeiros do Estado do Rio de Janeiro. Série Oecologia Brasiliensis, volume VII. PPGE – UFRJ. Rio de Janeiro. Brasil. pp. 195 – 211.*

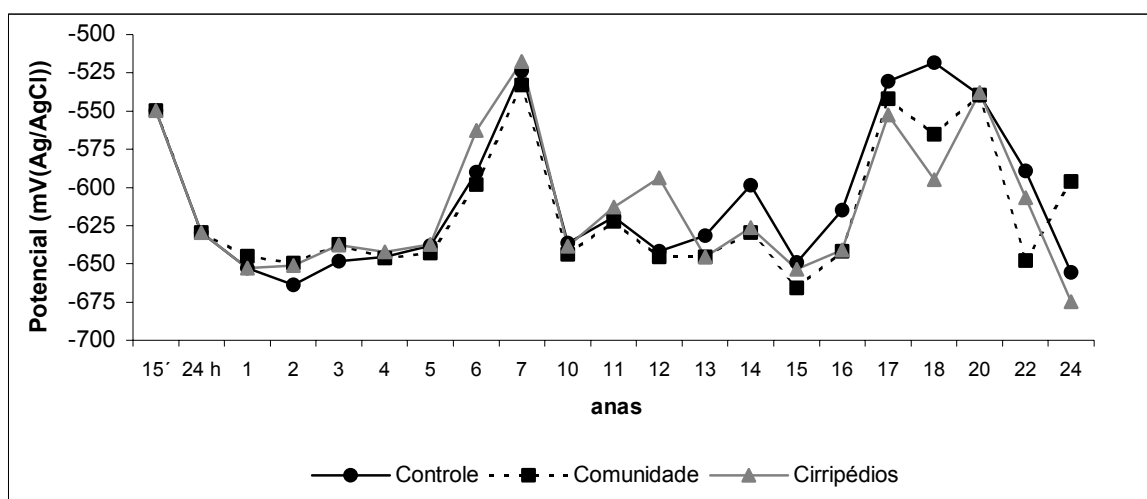
- NEVILLE, A. & HODGKIESS, T., 1998. Comparative study of stainless steel and related alloy corrosion in natural sea water. *British Corrosion Journal*, **33**(2):111-119.
- NORTON, T. A., 1991. Conflicting constraints on the form of intertidal algae. *Br. Phycol. J.*, **26**:203-218.
- OMENA, E. P. & SOUZA, M. M., 1999. Efeito da predação no desenvolvimento inicial da comunidade incrustante da região da Urca, Baía de Guanabara, RJ. In: Silva, S. H. G. & Lavrado, H. P. (eds.). *Ecologia dos ambientes costeiros do Estado do Rio de Janeiro. Série Oecologia Brasiliensis*, volume VII. PPGE – UFRJ. Rio de Janeiro. Brasil. pp.213- 227.
- OSMAN, R. W., 1978. The influence of sazonality and stability on the species equilibrium. *Ecology*, **59** (2): 383- 399.
- ROCHA, R. M., 1991. Replacement of the compound ascidian species in a southeastern Brazilian fouling community. *Bolm. Inst. Oceanogr.*, **39**(2):141-153.
- ROWLANDS, J. C., 1976. Crevice corrosion of stainless steels and nickel alloys under marine conditions. *Br. Corros. J.*, 11(4):195-198.
- ROGERS, T. H., 1968. **Marine Corrosion**. Ed. William Clowes and Sons, Ltda., London. 307p.
- RUSS, G. R., 1982. Overgrowth in a marine epifaunal community: competitive hierarchies and competitive networks. *Oecologia* (Berl.): 53:12-19.
- SANDA, W., 1997. Microbial mechanisms of deterioration of inorganic substrates – a general mechanistic overview. *International Biodegradation and Biodeterioration*, **40** (1-2):183-190.
- SCOTTO, V.; DICINTIO, R. & MARCENARO, G., 1985. The influence of marine aerobic microbial film on stainless steel corrosion behaviour. *Corrosion Science*, **25**(3):185-194.
- SILVA, S. H. G.; NUNES, A. I. B.; ALVES, M. C. S. & LAGE, V. A., 1985. Contribuição ao estudo das comunidades incrustantes que ocorrem na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brasil. Resultados preliminares. *Rev. Bras. Biol.*, **40**: 367 – 382.
- SKINNER, L. F., 1997. **Efeito da salinidade na estruturação das comunidades de organismos perfurantes de madeira e de organismos incrustantes na região do estuário do Rio Brachuy, Angra dos Reis, RJ**. Dissertação

de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ecologia. Instituto de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 111p.

- STENECK, R. S. & DETHIER, M. N., 1994. A functional group approach to the structure of algal dominated community. *Oikos*, **69**: 476-498.
- STEVENSON, M. R.; STECH, J. L. & TANAKA, K., 1989. Water characteristics and circulation in the Cabo Frio upwelling area during Cabo Frio VI Cruise, november 3-14, 1981. *Proc. Siuec.*, v. 2. 437-453.
- SUTHERLAND, J. P., 1978. Functional roles of *Schizoporella* and *Styela* in the fouling community at Beaufort, North Caroline. *Ecology*, **59**(2): 257-264.
- SUTHERLAND, J. P. & KARLSON, R. H.Y., 1977. Sucession and seasonal progression in the fouling community at Beaufort, North Carolina. *Ecol. Monogr.*, **47**: 425-446.
- SZÉCHY, M. T. M. & PAULA, E. J., 1997. Macroalgas epífitas em *Sargassum* (Phaeophyta - Fucales) do litoral dos estados do Rio de Janeiro e São Paulo, Brasil. *Leandra*, (12):1-10.
- TERRY, L. A. & EDYVEAN, R. G. J., 1981. Microalgae and Corrosion. *Botanica Marina*, **24**:117-183.
- UNDERWOOD, A. J., 2000. Experimental ecology of rocky intertidal habitats: what are we learning?. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, **250**: 51-76.
- VIERA, M. R. ; GUIAMET, P. S.; DE MELE, M. F. L. & VIDELA, H. A., 1999. Use of dissolved ozone for controlling planktonic and sessile bacteria in industrial cooling systems. *International Biodeterioration and Biodegradation*, **44**(4):201-207.
- VIDELA, H. A., 1993. **Corrosão Microbiológica**. 3ª ed. Série Biotecnologia, v. 4. Ed. Edgard Blüncher Ltda., São Paulo. 65 p.
- VIDELA, H. A., 2002. Prevention and control of biocorrosion. *International Biodeterioration & Biodegradation*, **49**:259-270.
- VIDELA, H. A. & CHARACKLIS, W. G., 1992. Biofouling and Microbially Influenced Corrosion. *International Biodeterioration & Biodegradation*, **29**:195-212.
- VIDELA, H. A.; DEMELE, M. F. L. & BRANKEVICH, G., 1988. Assessment of corrosion and microfouling of several metals in polluted seawater. *Corrosion*, **44**(7):423-426.
- WAHL, M., 1989. Marine Epibiosis. I. Fouling and antifouling some basics aspects. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **58**: 175- 189.

- WOODS HOLE OCEANOGRAPHIC INSTITUTION – WHOI, 1952. **Marine fouling and its preventions**. U. S. Bureau of Ships, Annapolis, Maryland. 388p.
- WYNNE, M. J., 1998. A checklist of benthic marine algae of tropical and subtropical western Atlantic: first revision. *New Hedwigia*, **116**: 1-153.
- YONESHIGUE, Y., 1985. **Taxonomie et écologie des algues marines dans la region de Cabo Frio - Rio de Janeiro, Brésil**. Ph D. Thesis, Université d'Aix Marseille II. Faculté de Sciences de Luminy, Marseille, p. 466.
- ZALMON, I. R., 1988. **Estudo das comunidades incrustantes sobre painéis experimentais em três áreas da Baía de Guanabara, RJ, Brasil**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 212p.
- ZALMON I. R. & FORNERIS, L., 1997. Organização da comunidade incrustante na Baía de Guanabara (Rio de Janeiro, Brasil): o papel relativo de forças estocásticas e determinísticas. 2º Encontro de Bioincrustação, Ecologia Bêntica e Corrosão. 28 de julho a 1º de agosto. Arraial do Cabo, RJ. v1: p.38
- ZHANG, H. J. & DEXTER, S. C., 1995. Effect of biofilms on crevice corrosion of stainless steels in coastal seawater. *Corrosion*, **51**(1):56-66.

## ANEXOS



Anexo 1: Gráfico comparativo entre a variação do potencial de corrosão entre os tratamentos.

Anexo 2: Valores semanais obtidos dos parâmetros temperatura, salinidade e teor de oxigênio:

Semanas	Temperatura (°C)	Salinidade (ups)	Teor de O2 (ml/l)
15'	23,50	35,13	5,32
1	22,40	35,36	5,03
2	22,94	35,45	6,04
3	22,20	35,28	5,77
4	-	35,43	5,66
5	21,80	35,76	5,95
6	22,10	34,90	5,47
7	22,50	35,15	4,50
8	23,02	35,90	4,58
9	20,50	36,14	4,68
10	21,50	35,44	4,70
11	20,10	35,92	4,68
12	20,45	36,08	4,80
13	20,40	35,10	4,93
14	19,20	35,24	5,25
15	21,86	36,10	5,35
16	21,40	35,93	5,52
17	21,50	35,13	5,74
18	21,20	35,82	5,26
19	20,20	35,46	5,35
20	20,50	35,44	5,92
21	22,20	35,55	5,41
22	24,30	36,43	5,54
23	23,00	35,71	5,41
24	24,00	35,24	5,15

Anexo 4 - Porcentagem de cobertura média de cirripédios nos painéis e seu erro padrão, por semana:

Semanas	Cirripédios		Ferrugem		Espaço Vazio	
	média	erro	média	erro	média	erro
3	52,62%	0,0571	32,38%	0,0646	15,00%	0,0329
4	55,63%	0,0833	13,75%	0,0436	30,63%	0,0683
5	50,83%	0,0371	6,67%	0,0264	42,50%	0,0419
6	39,38%	0,0403	18,54%	0,0673	42,08%	0,0540
7	50,42%	0,0445	10,42%	0,0483	39,17%	0,0479
9	42,92%	0,0387	6,04%	0,0329	51,04%	0,0380
10	42,92%	0,1517	4,38%	0,0155	52,71%	0,1864
11	45,00%	0,1591	12,50%	0,0442	42,50%	0,1503
12	50,83%	0,0576	13,96%	0,0595	35,21%	0,0651
13	48,96%	0,0454	12,50%	0,0499	38,54%	0,0601
14	49,38%	0,0400	15,83%	0,0377	34,79%	0,0711
15	55,42%	0,1959	14,58%	0,0516	30,00%	0,1061
16	56,88%	0,0685	12,71%	0,0358	30,21%	0,0466
17	60,83%	0,0604	12,50%	0,0432	26,67%	0,0567
18	43,75%	0,0610	22,08%	0,0495	34,17%	0,0341
20	55,42%	0,0628	17,92%	0,0451	26,67%	0,0365
21	56,04%	0,0738	18,96%	0,0401	25,00%	0,0470
22	56,25%	0,0547	12,08%	0,0389	31,67%	0,0471
23	59,58%	0,0575	15,21%	0,0346	25,21%	0,0448
24	62,50%	0,0427	10,42%	0,0227	27,08%	0,0543

Anexo 5 - Porcentagem de cobertura média da comunidade incrustante nos painéis e seu erro padrão, por semana:

Grupos/ Táxons	Semanas													
	3		4		5		6		7		9		10	
	média	erro	média	erro	média	erro	média	erro	média	erro	média	erro	média	erro
Cirripédios	27,71%	0,0975	33,75%	0,0560	20,21%	0,0357	9,58%	0,013	8,57%	0,0258	6,25%	0,0225	6,25%	0,0297
Hidrozoários	0,00%	0,0000	17,71%	0,0476	20,94%	0,0558	21,04%	0,048	25,00%	0,0580	18,54%	0,0294	31,04%	0,0318
Briozoários incrustantes	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000	1,04%	0,005	1,43%	0,0067	1,88%	0,0062	2,50%	0,0580
Macroalgas Filamentosas	30,21%	0,0845	21,67%	0,0249	20,31%	0,0452	26,04%	0,042	24,29%	0,0284	31,46%	0,0300	23,33%	0,0384
Macroalgas Corticadas	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,000	0,00%	0,0000	2,50%	0,0106	2,08%	0,0153
Macroalgas Foliáceas	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000	0,83%	0,0083	0,83%	0,006	0,24%	0,0024	1,04%	0,0058	1,67%	0,0089
Serpulídeos	0,00%	0,0000	0,83%	0,0045	3,13%	0,0080	3,96%	0,007	4,52%	0,0107	8,96%	0,0150	7,50%	0,0187
<i>B. niger</i>	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,000	0,00%	0,0000	0,21%	0,0022	0,63%	0,0067
<i>C. ascandroides</i>	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,000	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000
<i>P. perna</i>	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,000	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000
<i>B. neritina</i>	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,000	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000
Ferrugem	35,63%	0,0896	22,92%	0,0421	30,00%	0,0287	29,79%	0,038	29,05%	0,0497	25,42%	0,0328	20,21%	0,0337
Espaço Vazio	6,46%	0,0335	3,96%	0,0250	7,29%	0,0242	7,71%	0,018	6,90%	0,0433	3,75%	0,0215	4,79%	0,0186
	11		12		13		14		15		16		17	
Grupos/ Táxons	média	erro	média	erro	média	erro	média	erro	média	erro	média	erro	média	erro
Cirripédios	11,88%	0,0329	12,08%	0,0295	14,38%	0,0310	28,13%	0,0377	24,38%	0,0550	22,29%	0,0343	21,67%	0,0267
Hidrozoários	27,50%	0,0463	18,96%	0,0199	27,08%	0,0343	16,88%	0,0748	17,50%	0,0908	17,92%	0,0727	14,58%	0,0516
Briozoários incrustantes	5,42%	0,0157	4,79%	0,0219	7,50%	0,0130	10,21%	0,0152	8,75%	0,0142	14,79%	0,0229	13,54%	0,0386
Macroalgas Filamentosas	17,08%	0,0495	32,50%	0,0477	21,88%	0,0501	14,17%	0,0464	23,54%	0,0570	18,75%	0,0545	24,17%	0,0501
Macroalgas Corticadas	3,75%	0,0184	5,63%	0,0238	6,04%	0,0267	4,17%	0,0196	3,75%	0,0201	3,54%	0,0085	2,50%	0,0089
Macroalgas Foliáceas	1,04%	0,0058	1,46%	0,0053	1,88%	0,0098	0,42%	0,0029	1,04%	0,0047	1,67%	0,0067	0,83%	0,0089
Serpulídeos	10,21%	0,0132	6,88%	0,0145	6,25%	0,0100	6,67%	0,0075	5,42%	0,0073	6,04%	0,0143	5,42%	0,0168
<i>B. niger</i>	0,63%	0,0067	0,83%	0,0089	2,08%	0,0198	2,50%	0,0218	2,29%	0,0221	3,13%	0,0266	3,33%	0,0309
<i>C. ascandroides</i>	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000	0,21%	0,0022	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000	0,21%	0,0022	0,63%	0,0047
<i>P. perna</i>	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000
<i>B. neritina</i>	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000
Ferrugem	20,21%	0,0287	16,46%	0,0366	12,29%	0,0245	16,46%	0,0274	12,08%	0,0218	8,96%	0,0369	10,63%	0,0269
Espaço Vazio	2,29%	0,0106	0,42%	0,0029	0,42%	0,0045	0,42%	0,0045	1,25%	0,0087	2,71%	0,0082	2,71%	0,0143
	18		20		21		22		23		24			
Grupos/ táxons	média	erro	média	erro	média	erro	média	erro	média	erro	média	erro		
Cirripédios	21,67%	0,0256	17,08%	0,0256	13,96%	0,0226	13,75%	0,0125	16,25%	0,0215	20,00%	0,0367		
Hidrozoários	7,71%	0,0390	14,17%	0,0434	15,00%	0,0603	9,58%	0,0364	8,75%	0,0299	6,46%	0,0222		
Briozoários incrustantes	15,83%	0,0238	21,46%	0,0452	22,08%	0,0291	23,33%	0,0347	26,88%	0,0392	27,08%	0,0356		
Macroalgas Filamentosas	33,33%	0,0709	23,54%	0,0552	25,83%	0,0552	26,88%	0,0357	20,63%	0,0370	14,79%	0,0450		
Macroalgas Corticadas	1,46%	0,0085	1,46%	0,0085	1,25%	0,0073	1,67%	0,0095	2,92%	0,0142	1,67%	0,0121		
Macroalgas Foliáceas	1,67%	0,0101	0,83%	0,0034	0,83%	0,0089	1,04%	0,0089	0,21%	0,0022	0,21%	0,0022		
Serpulídeos	2,29%	0,0075	4,58%	0,0073	4,17%	0,0117	3,75%	0,0056	2,92%	0,0065	4,79%	0,0079		
<i>B. niger</i>	2,71%	0,0265	2,71%	0,0175	2,29%	0,0196	1,04%	0,0067	5,00%	0,0276	4,38%	0,0223		
<i>C. ascandroides</i>	1,88%	0,0103	1,88%	0,0062	1,88%	0,0071	3,33%	0,0126	1,67%	0,0075	1,88%	0,0062		
<i>P. perna</i>	0,00%	0,0000	0,00%	0,0000	0,21%	0,0022	0,42%	0,0029	1,46%	0,0040	5,21%	0,0362		
<i>B. neritina</i>	0,00%	0,0000	0,21%	0,0022	0,21%	0,0022	0,21%	0,0022	0,21%	0,0022	0,21%	0,0022		
Ferrugem	7,50%	0,0301	8,33%	0,0210	8,13%	0,0232	8,13%	0,0128	7,50%	0,0196	6,88%	0,0103		
Espaço Vazio	3,96%	0,0161	3,75%	0,0125	4,17%	0,0143	6,88%	0,0170	5,63%	0,0134	6,46%	0,0195		