

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA NAVAL

ANDRÉ CONCKER DA SILVA

ESTUDO QUANTITATIVO DA BIOINCRUSTAÇÃO MARINHA EM SUPERFÍCIES DE
COMPÓSITOS À BASE DE RESINA POLIÉSTER REFORÇADOS COM FIBRA DE
VIDRO

Joinville
2020

ANDRÉ CON CER DA SILVA

ESTUDO QUANTITATIVO DA BIOINCRUSTAÇÃO MARINHA EM SUPERFÍCIES DE
COMPÓSITOS À BASE DE RESINA POLIÉSTER REFORÇADOS COM FIBRA DE
VIDRO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia
Naval, no curso Engenharia Naval da
Universidade Federal de Santa Catarina,
Centro Tecnológico de Joinville.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Gallina Delatorre

Joinville
2020

RESUMO

A bioincrustação marinha é um problema recorrente na indústria naval e há muito vem sendo estudada. Consiste no acúmulo de microorganismos em superfícies imersas no ambiente aquático marinho. Dentre os principais efeitos desse fenômeno se destacam as perdas de eficiência da navegação e de atuação de mecanismos e sensores, levando a prejuízos financeiros com operações de manutenção e prevenção. Por conta disso, há uma crescente busca por soluções econômica e ecologicamente viáveis para os problemas causados pela bioincrustação. O presente trabalho tem como objetivo estudar um método de análise quantitativo de organismos incrustantes na Baía da Babitonga, em Joinville, em substratos de compósitos de resina poliéster reforçados com fibra de vidro. Para tanto, foram feitas aquisições semanais de documentações fotográficas para análise através do software *photoQuad*, extraíndo dados de porcentagem de área recoberta por indivíduos incrustantes e seus tamanhos individuais. A análise foi realizada em dois intervalos do ano diferentes, que permitiram observar o comportamento da incrustação frente as variações climáticas periódicas da região. Características da superfície dos substratos foram avaliadas através do teste com amostras com e sem *gel coat* em sua superfície, bem como envolvendo modificações mecânicas impostas com a intenção de alterar características de rugosidade. Foi no primeiro intervalo que se encontrou maior quantidade de incrustação de *Balanus amphitrite*, com 81,12% de área recoberta como valor máximo observado. No segundo intervalo de observação, o máximo valor de recobrimento de área foi de 14,98%. Estudos comparativos dos dois intervalos apontaram grande contraste na quantidade de incrustação entre os dois diferentes períodos, que foram associados à interferência das condições climáticas mais favoráveis à espécie e ao processo de limpeza necessária para a documentação fotográfica. Apesar deste contraste, foi possível observar características da bioincrustação de *Balanus amphitrite* dependentes do emprego de *gel coat* e da rugosidade da superfície. Estudos com o crescimento individual de organismos incrustantes mostraram uma aparente independência frente à época do ano, com um crescimento entre 120 e 150 $\mu\text{m}/\text{dia}$. Observou-se um aparente retardamento no início do processo de incrustação em épocas do ano em que as temperaturas são menores.

Palavras-chave: Bioincrustação marinha. Compósito reforçado com fibra de vidro. *photoQuad*. *Balanus amphitrite*

ABSTRACT

Marine biofouling is a recurring problem in the shipbuilding industry and it has been studied for a long time. It consists in the accumulation of microorganisms on surfaces immersed in the marine aquatic environment. Among the main effects of this phenomenon are the losses in navigation efficiency and the action of mechanisms and sensors, leading to financial losses with operations of maintenance and prevention. Because of this, there is a growing search for economically and ecologically viable solutions to the problems caused by biofouling. This thesis aims to study a quantitative analysis method of fouling organisms in Baía da Babitonga, Joinville, on polyester resin composites reinforced with fiberglass substrates. For this purpose, weekly acquisitions of photographic documentation were made for analysis through the software *photoQuad*, extracting percentage data of covered area by fouling individuals and their individual sizes. The analysis was performed at two different intervals of the year, which allowed to observe the behavior of fouling in the face of periodic climatic variations in the region. Surface characteristics of the substrates were evaluated through the test with samples with and without *gel coat* on their surface, as well as involving mechanical modifications imposed with the intention of altering roughness characteristics. It was in the first interval that the highest fouling amount of *Balanus amphitrite* was found, with 81.12% of the area covered as the maximum observed value. In the second observation interval, the maximum area coating value was 14.98%. Comparative studies of the two intervals showed great contrast in the amount of fouling between the two different periods, which were associated with the interference of the climatic conditions that are more favorable to the species and the cleaning process necessary for the photographic documentation. Despite this contrast, it was possible to observe characteristics of the biofouling of *Balanus amphitrite* dependent on the use of *gel coat* and the roughness of the surface. Studies with the growth of individual fouling organisms an apparent independence from the time of year, with a growth between 120 and 150 $\mu\text{m}/\text{day}$. There was an apparent delay at the beginning of the fouling process at times of the year when temperatures are lower.

Keywords: Marine biofouling. Fiber glass reinforced composite. *photoQuad*. *Balanus amphitrite*.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à minha família. Nesse caso, em "família" eu incluo todos aqueles que fizeram parte do meu círculo de pessoas próximas durante esses anos de engenharia. Meus pais, minha irmã, minha namorada, amigos de dentro e fora da faculdade, amigos antigos, amigos novos e todos que, de alguma forma, me influenciaram e influenciaram minhas escolhas ao longo do tempo. Obrigado!

Agradeço meus pais, Marineis e Ildefonso, que são a minha base, a minha fundação, a minha estrutura. Agradeço pela paciência, pelos ensinamentos, pelos conselhos, pela confiança, pelo apoio e pelo amor. Não é possível descrever em palavras tudo que devo à eles, espero um dia conseguir retribuir.

Agradeço meu orientador, Rafael Gallina Delatorre, pelo acolhimento, parceria e confiança. Agradeço por ter tido o privilégio de ter um orientador que, além de me corrigir nos meus (muitos) equívocos, soube conduzir o desenvolvimento deste estudo de maneira eficiente. Suas contribuições foram impecáveis e fundamentais para a realização deste trabalho.

Agradeço a todos da Marina Cubatão. Agradeço ao Luciano Medeiros e seus colaboradores. Todos que me viram ir e voltar do trapiche tantas vezes. Sempre demonstraram carinho e curiosidade quanto ao meu trabalho. Obrigado pela oportunidade de utilizar o espaço para realizar os ensaios deste estudo.

Agradeço à minha irmã, Julia, pelo apoio e por me acompanhar durante toda a minha vida.

Agradeço à minha namorada, Giliani, pelo suporte necessário nos momentos bons e ruins durante toda a caminhada. Agradeço também pela ajuda nos difíceis últimos dias.

Agradeço também a todos os amigos e amigas que estiveram comigo durante esses anos.

*What doesn't kill you, only
makes your book longer.*

Anthony Kiedis

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Formação de um material compósito.	8
Figura 2 – Ilustração de uma embarcação construída com fibra de vidro.	12
Figura 3 – Bioincrustação em casco de navio.	12
Figura 4 – Modelo detalhado da colonização de organismos.	13
Figura 5 – Operação de dique seco de uma embarcação.	14
Figura 6 – Sensor óptico após ser acometido pelo processo de bioincrustação.	15
Figura 7 – Craca <i>Balanus amphitrite</i>	17
Figura 8 – Simulação de superfície com FRC: antes e depois de imersão em água.	21
Figura 9 – Imagem ilustrativa de uma resina poliéster ortoftálica da marca Redelease utilizada para confecção dos compósitos com fibra de vidro.	22
Figura 10 – Plano de laminação utilizado.	23
Figura 11 – Placa de compósito reforçado com fibra de vidro obtida após processo de laminação.	23
Figura 12 – Placa laminada de compósito com fibra de vidro demarcada para corte.	24
Figura 13 – Amostras cortadas.	24
Figura 14 – Manta M450 utilizada na laminação dos amostras do Tipo II.	25
Figura 15 – Fluxograma das 4 condições de estudo.	26
Figura 16 – Aparato montado para realização do primeiro intervalo de observação.	27
Figura 17 – Localização da Marina Cubatão.	28
Figura 18 – Locais de fixação no trapiche.	29
Figura 19 – Artefato fixado e submerso.	29
Figura 20 – Cronologia do acompanhamento da evolução da bioincrustação do presente trabalho. Artefato fixado e submerso.	30
Figura 21 – Aparato montado para realização do segundo intervalo de observação.	32
Figura 22 – Calibração do software <i>photoQuad</i>	33
Figura 23 – Procedimento de seleção das regiões de interesse no software <i>photoQuad</i>	34
Figura 24 – Exemplo de um procedimento utilizando a função <i>Cell count summary</i> no <i>photoQuad</i>	35
Figura 25 – Organização das amostras do segundo intervalo de observação - a) Primeiro conjunto. b) Segundo conjunto. c) Terceiro conjunto.	36

Figura 26 – Amostras que foram analisadas durante primeiro processo de comparação - a) Amostras do primeiro intervalo. b) Amostras do segundo intervalo.	37
Figura 27 – Amostras que foram analisadas durante segundo processo de comparação - a) Amostras do primeiro intervalo. b) Amostras do segundo intervalo.	37
Figura 28 – Exemplo de medição dos diâmetros das cracas no <i>photoQuad</i>	38
Figura 29 – Amostras com indivíduos <i>Balanus amphitrite</i>	40
Figura 30 – Porcentagem de área recoberta por bioincrustação - a) Condição 1. b) Condição 2. c) Condição 3. d) Condição 4.	42
Figura 31 – Médias das porcentagens de área recoberta- Condições agrupadas.	43
Figura 32 – Quantidade de indivíduos - a) Condição 1. b) Condição 2. c) Condição 3. d) Condição 4.	45
Figura 33 – Médias das quantidades de indivíduos - Condições agrupadas. . . .	46
Figura 34 – Aparato antes da limpeza.	47
Figura 35 – Aparato após limpeza.	47
Figura 36 – Amostra 51 após limpeza.	48
Figura 37 – Amostras após limpeza - a) Amostra 12. b) Amostra 53.	48
Figura 38 – Porcentagem de área recoberta por bioincrustação - a) Condição 1. b) Condição 2. c) Condição 3. d) Condição 4.	50
Figura 39 – Porcentagem de área recoberta por bioincrustação - a) Primeiro conjunto. b) Segundo conjunto. c) Terceiro conjunto.	52
Figura 40 – Quantidade de indivíduos incrustantes - a) Condição 1. b) Condição 2. c) Condição 3. d) Condição 4.	53
Figura 41 – Média das quantidades de indivíduos incrustantes - a) Primeiro conjunto. b) Segundo conjunto. c) Terceiro conjunto.	55
Figura 42 – Aparato do primeiro intervalo no último dia de observação.	56
Figura 43 – Aparato do segundo intervalo no último dia de observação.	56
Figura 44 – Médias das porcentagens de área recoberta - a) Condição 1. b) Condição 2. c) Condição 3. d) Condição 4.	58
Figura 45 – Médias das quantidades de indivíduos incrustantes - a) Condição 1. b) Condição 2. c) Condição 3. d) Condição 4.	59
Figura 46 – Médias das porcentagem de área recoberta - a) Condição 1. b) Condição 4.	60
Figura 47 – Médias das quantidades de indivíduos incrustantes - a) Condição 1. b) Condição 4.	61
Figura 48 – Diâmetros dos maiores indivíduos de cada condição.	63
Figura 49 – Desenho esquemático das grades com indicação das amostras com maiores indivíduos.	64

Figura 50 – Evolução dos diâmetros dos maiores indivíduos - a) Condição 1. b) Condição 2. c) Condição 3. d) Condição 4.	65
Figura 51 – Evolução dos diâmetros - linhas de tendência - a) Condição 1. b) Condição 3. c) Condição 4.	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação de requisitos de projeto com fibra de vidro e aço carbono.	10
Tabela 2 – Avaliação de Propriedades: Fibra de Vidro, de Aramida e de Carbono.	11
Tabela 3 – Consequências da bioincrustação marinha.	15
Tabela 4 – Dimensões das amostras.	33
Tabela 5 – Continuação - Dimensões das amostras.	33
Tabela 6 – Detalhamento das documentações fotográficas - primeiro intervalo.	41
Tabela 7 – Detalhamento das documentações fotográficas - segundo intervalo.	49
Tabela 8 – Maiores indivíduos - Primeiro intervalo.	63
Tabela 9 – Maiores indivíduos - Segundo intervalo.	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BC	Banda de Condução
BV	Banda de Valência
EPA	Environmental Protection Agency
FRC	Revestimento Fouling Release
FRP	Fiber Reinforced Plastic
IMO	International Maritime Organization
LaTS	Laboratório de Tratamentos de Superfície
OH	Radical Hidroxila
PRFV	Plástico Reforçado com Fibra de Vidro
TBT	Tributil-Estanho
UV	Ultravioleta

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
1.1	Objetivo Geral	7
1.2	Objetivos Específicos	7
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	8
2.1	Materiais compósitos na indústria naval	8
2.2	Bioincrustação marinha	12
2.2.1	Bioincrustação na indústria naval	13
2.2.2	Incrustação - <i>Balanus amphitrite</i>	16
2.2.3	Evolução dos mecanismos de proteção antincrustante	17
2.2.4	Métodos alternativos	19
2.2.4.1	Superfícies fotocatalíticas	19
2.2.4.2	Limpeza mecânica	19
2.2.4.3	Tratamento ultrassônico	19
2.2.4.4	Dosagem de cloro	20
2.2.4.5	Irradiação UV (ultravioleta)	20
2.2.4.6	Revestimento Fouling Release (FRC)	20
3	METODOLOGIA	22
3.1	Obtenção do material compósito reforçado com fibra de vidro (PRFV)	22
3.2	Ensaio da evolução da bioincrustação	25
3.2.1	Sistema para avaliação em ambiente aquático natural	25
3.2.2	Local de imersão	27
3.2.3	Acompanhamento da evolução da incrustação	30
3.2.3.1	Primeiro intervalo de observação	30
3.2.3.2	Limpeza da grade	30
3.2.3.3	Segundo intervalo de observação	31
3.3	Análise de dados: software <i>photoQuad</i>	32
3.4	Estudo comparativo dos períodos de observação	36
3.5	Evolução do crescimento dos indivíduos incrustantes	38
4	RESULTADOS	39
4.1	Identificação das espécies incrustantes	39
4.2	Primeiro intervalo de observação	40
4.2.1	Porcentagem de área recoberta por bioincrustação	41
4.2.2	Quantidade de indivíduos incrustantes	44
4.3	Limpeza dos substratos	46

4.4	Segundo intervalo de observação	48
4.4.1	Porcentagem de área recoberta por bioincrustação	49
4.4.2	Quantidade de indivíduos incrustantes	53
4.5	Estudos comparativos entre intervalos de observação	56
4.5.1	Primeira comparação	57
4.5.1.1	Porcentagem de área recoberta por bioincrustação	57
4.5.1.2	Quantidade de indivíduos incrustantes	58
4.5.2	Segunda comparação	59
4.5.2.1	Porcentagem de área recoberta por bioincrustação	59
4.5.2.2	Quantidade de indivíduos incrustantes	60
4.5.3	Discussão a respeito dos processos de comparação	61
4.5.4	Evolução do crescimento dos indivíduos incrustantes	62
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	69
	REFERÊNCIAS	70

1 INTRODUÇÃO

Selecionar o tipo de material para construir uma embarcação não é uma tarefa simples devido ao grande número de opções que o construtor pode ter, como aço, alumínio, madeira, fibra ou uma combinação desses. No ponto de vista puramente econômico, existem poucas opções que podem superar embarcações fabricadas em fibra de vidro, e no referente ao investimento e valor de revenda, essas embarcações têm, ao longo do tempo, a menor depreciação (NASSEH, 2011).

Porém, todo projeto, antes de ser executado, deve sofrer uma minuciosa checagem e validação de parâmetros tanto econômicos quanto práticos. É inevitável que hajam *tradeoffs* quando se analisa performance e custo. Na indústria naval e náutica, uma das principais preocupações recai na colonização de indivíduos em cascos de embarcações e outras estruturas submersas: a bioincrustação.

A bioincrustação marinha é o processo de acúmulo de microorganismos, algas, plantas e animais em superfícies artificiais imersas na água do mar. No caso de navios, os efeitos causados por este assentamento biológico são: aumento da resistência ao atrito, rugosidade, aumento do peso, redução da velocidade, perda de manobrabilidade, aumento no consumo de combustível, aumento no número de operações de docagem seca (o que acarreta em tempo e recursos desperdiçados), corrosão, descoloração e deterioração de revestimentos e alteração da condutividade elétrica dos materiais (YEBRA et al., 2004). Isso implica no aumento de emissões de resíduos tóxicos e prejuízos financeiros.

Devido ao alto impacto econômico que a incrustação biológica causa, a mesma apresenta-se como um tema muito importante e muito estudado no setor naval. Porém, controlar a bioincrustação sem causar, simultaneamente, impactos ambientais inaceitáveis é um grande desafio. Alternativas livres de biocidas tóxicos estão sendo pesquisadas pela indústria de revestimentos marinhos (CALLOW; CALLOW, 2011).

Atualmente, há na literatura diversos estudos de mecanismos para evitar ou diminuir essa incrustação sem agredir o meio ambiente, destacando-se a utilização de tintas antincrustantes, ativação fotocatalítica de revestimentos de semicondutores e revestimentos não tóxicos que facilitam o desprendimento de indivíduos incrustantes, como o *fouling release* (GAMA et al., 2009; NOGUEIRA; JARDIM, 1996; CARDOSO, 2016; FUJISHIMA et al., 2000; LEJARS et al., 2012). Para um estudo científico neste campo, é imprescindível empregar um procedimento quantitativo preciso de avaliação quanto à incrustação em superfícies sólidas.

Neste trabalho, é apresentado um estudo sobre a bioincrustação e sua evolução temporal na região da Baía da Babitonga em Joinville. Para tal, foi realizado um processo de identificação da espécie que compõe a bioincrustação na região da Baía da Babitonga em Joinville, bem como o entendimento da sua evolução e proliferação em superfícies com diferentes características de rugosidade e presença ou não de *gel coat*.

Através da elaboração de um aparato com amostras de material compósito à base de resina poliéster reforçado com fibra de vidro que foram expostas ao meio ambiente natural aquático, foi feito um acompanhamento da evolução da bioincrustação por meio de documentações fotográficas. Esse acompanhamento foi realizado em dois períodos diferentes.

Com o auxílio de softwares, as documentações foram compiladas e realizados cálculos da porcentagem de área recoberta da amostra por incrustação, quantidade de indivíduos incrustantes, diâmetros destes e, desta forma, realizou-se uma comparação entre os dois períodos de observação quanto ao processo de bioincrustação marinha.

1.1 Objetivo Geral

Avaliar, de forma quantitativa, a evolução temporal da incrustação biológica em superfícies de compósitos à base de resina poliéster reforçados com fibra de vidro imersas em ambiente marinho na região da Baía da Babitonga.

1.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver um método para avaliar, de forma quantitativa, a incrustação biológica em superfícies de compósitos à base de resina poliéster reforçados com fibra de vidro;
- Identificar as espécies que formam a incrustação biológica em superfícies de compósitos à base de resina poliéster reforçados com fibra de vidro na região da Baía da Babitonga em Joinville;
- Identificar se há um padrão de evolução de bioincrustação nas superfícies destes compósitos;
- Comparar a evolução da área recoberta com incrustação para superfícies com diferentes características de rugosidade e revestimento;
- Comparar o crescimento individual das espécies incrustantes em superfícies com diferentes características de rugosidade e revestimento.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, são apresentados os principais conceitos necessários para o entendimento e desenvolvimento deste trabalho. Inicialmente, é apresentada uma revisão e definição de materiais compósitos; em seguida, é fundamentado o processo de bioincrustação marinha e mecanismos antincrustantes, e também será destacada com mais detalhes a incrustação pela espécie *Balanus amphitrite*.

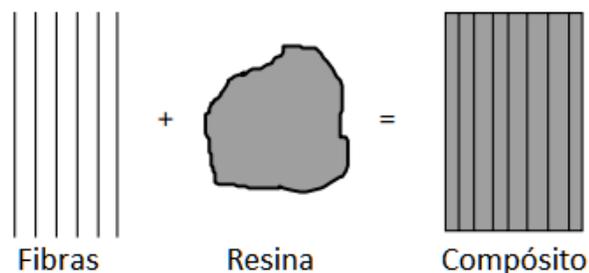
2.1 Materiais compósitos na indústria naval

Um material compósito é obtido combinando dois ou mais materiais para se obter uma combinação única de propriedades. Nos materiais compósitos reforçados com fibra, os materiais constituintes são diferentes no nível molecular e mecanicamente separáveis, ou seja, trabalham em conjunto, mas permanecem em suas formas originais. As propriedades finais dos materiais compósitos são melhores que as propriedades individuais do material constituinte (MAZUMDAR, 2002).

Nos últimos anos, os materiais compósitos têm encontrado um lugar importante como material de engenharia para várias aplicações em diversos tipos de indústrias. Dentre elas, a construção de barcos tem sido uma das mais importantes. O sucesso da utilização de materiais compósitos para a fabricação de embarcações se dá devido a um grande número de vantagens que esses materiais têm quando comparados a outros tipos (NASSEH, 2007).

Na Figura 1, ilustra-se o conceito básico para a formação de um material compósito: unem-se fibras (também conhecido como reforço) e resinas (também conhecido como matriz).

Figura 1 – Formação de um material compósito.



Fonte: adaptado de (MAZUMDAR, 2002, p.24).

As funções da fibra são, basicamente, estruturais: suportar as cargas, fornecer rigidez, resistência, estabilidade térmica e fornecer condutividade elétrica ou isolamento elétrico. O material matriz, no caso dos compósitos a resina, tem função de unir e transferir as cargas para as fibras, isolar as fibras para interromper ou retardar rachaduras, fornecer acabamento superficial e proteção às fibras de reforço contra ataque químico e danos mecânicos. O material da matriz também influencia as características de desempenho do compósito, como ductilidade e tenacidade. O modo de falha é fortemente afetado pelo tipo de material da matriz utilizado, bem como sua compatibilidade com a fibra (MAZUMDAR, 2002).

As propriedades de um material compósito não dependem somente do tipo de reforço ou matriz utilizado, mas também das técnicas de fabricação, que, através do controle do teor de fibras, permitem controle das propriedades finais do laminado (GALANTE, 2003).

Nos dias atuais, a fibra de vidro é um dos reforços mais utilizados, em combinação com a matriz polimérica poliéster. Fatores como baixo custo e alta resistência à tração e corrosão torna esta combinação de reforço e matriz uma excelente opção (NERCOLINI, 2017).

A resina poliéster tem como características a leveza, durabilidade, resistência e pode ser empregada na fabricação de vários tipos de produtos (desde dutos até partes de aeronaves). E devido à grande disponibilidade, facilidade de fabricação e seu baixo custo, a resina poliéster é muito utilizada por construtores de embarcações (NASSEH, 2007; CASTRO, 2003).

É uma prática comum a utilização de gel coat sobre a superfície de materiais compósitos utilizados no setor náutico. O uso do *gel coat* confere ao material baixa densidade, baixos índices de condutividade térmica e elétrica, elevada dureza, e elevados desempenhos quanto ao intemperismo e processos corrosivos. A camada de *gel coat* é a superfície mais externa de uma peça de material compósito. É exposta diretamente à ação do ambiente aquático e intempéries. Propriedades de resistência combinadas com acabamento superficial atestam a importância do uso de *gel coat* no processo de construção e performance de embarcações (NERCOLINI, 2017; ORRO, 2004; YUHAZRI et al., 2015).

Através da utilização de materiais mais sofisticados, como tecidos multiaxiais de fibra de vidro, tende-se a obter uma redução do peso das embarcações, o que não proporciona apenas maiores velocidades, mas também um custo menor de produção, já que a quantidade de materiais e o volume de mão-de-obra são menores (NASSEH, 2011).

Na Tabela 1, encontra-se uma comparação de requisitos de projeto a serem atendidos e avaliados no momento da seleção do material para um projeto naval. A comparação é feita entre compósitos de fibra de vidro e aço carbono e, na tabela,

indica-se qual material leva vantagem em relação a cada requisito.

Tabela 1 – Comparação de requisitos de projeto com fibra de vidro e aço carbono.

Requisito	Material mais vantajoso
Resistência Longitudinal	Fibra de vidro
Resistência Torcional	Aço Carbono
Resistência à Corrosão	Fibra de Vidro
Facilidade de Construção	Fibra de Vidro
Peso	Fibra de vidro
Custo/kg	Aço Carbono
Custo Final	Fibra de Vidro

Fonte: adaptado de (DAUDT; CUNHA, 2020).

Vale comentar que o requisito "facilidade de construção" leva em consideração fatores como quantidade necessária de materiais, volume de mão-de-obra, utilização ou não de moldes e quantidade disponível de fornecedores de materiais.

O aço é o material mais utilizado na construção de grandes embarcações. Sua principal desvantagem está relacionada com seu peso, o que inviabiliza sua utilização para embarcações de pequeno porte, de lazer e alto desempenho. Nestas, os materiais compósitos são os mais utilizados (GALANTE, 2003).

Uma das principais vantagens de compósitos sobre materiais como aço e alumínio é a variedade de estruturas (geometrias) que pode ser obtida combinando materiais básicos. A grande diferença se deve à ortotropia, que significa que o material pode resistir de forma diferente quando submetido a cargas em diferentes direções (NASSEH, 2007).

Na Tabela 2, ilustra-se uma avaliação comparativa de propriedades físicas e químicas entre os materiais compósitos mais utilizados na fabricação de embarcações, sendo eles a fibra de vidro, fibra de aramida e fibra de carbono. Nota-se que as avaliações foram realizadas como baixo, aceitável e excelente, avaliações essas que poderiam ser substituídas por três "níveis": ruim, bom e ótimo, para melhor entendimento. Nota-se o bom desempenho da fibra de vidro em grande parte das propriedades analisadas, sendo importante destacar a propriedade "custo", a qual demonstra uma grande vantagem da utilização de fibra de vidro.

Tabela 2 – Avaliação de Propriedades: Fibra de Vidro, de Aramida e de Carbono.

Propriedade	Fibra de Vidro	Fibra de Aramida	Fibra de Carbono
Resistência a Tração	Aceitável	Aceitável	Excelente
Resistência a Compressão	Aceitável	Baixo	Excelente
Resistência a Flexão	Aceitável	Baixo	Excelente
Resistência ao Impacto	Aceitável	Excelente	Baixo
Resistência ao Cisalhamento	Excelente	Aceitável	Excelente
Resistência a Fadiga	Baixo	Aceitável	Excelente
Resistência ao Fogo	Excelente	Excelente	Baixo
Isolamento Térmico	Aceitável	Excelente	Baixo
Expansão Térmica	Excelente	Excelente	Excelente
Custo	Excelente	Baixo	Baixo

Fonte: adaptado de (NASSEH, 2007, p. 18).

Os materiais compósitos têm sido muito utilizados para a construção do casco, convés e outras peças do interior de embarcações. Devido ao fato de que, na maioria das vezes, peças fabricadas com materiais compósitos são produzidas com auxílio de moldes, geometrias mais complexas (as quais seriam difíceis, ou praticamente impossíveis de serem moldadas com qualquer outro tipo de material) podem ser obtidas. Outro ponto importante a ser mencionado é que construções em materiais metálicos requerem muitos itens a serem estocados, como chapas de diferentes espessuras e perfis, enquanto que na construção em fibra de vidro são necessários apenas dois ou três componentes para se processar qualquer espessura e forma (NASSEH, 2011).

A construção com compósitos de fibra de vidro tem sido a base da indústria de embarcações de recreio desde meados dos anos 60. Configurações complexas e as vantagens dos cascos sem costura foram os fatores determinantes do desenvolvimento de embarcações de plásticos reforçados com fibra de vidro (PRFV) , ou *fiber reinforced plastics* (FRP) . Os materiais FRP ganharam aceitação por causa do seu peso leve, bom amortecimento de vibrações, boa resistência à corrosão, boa resistência ao impacto, baixos custos de construção e facilidade de fabricação, manutenção e reparo (GREENE, 1999).

Na Figura 2, ilustra-se uma embarcação que usualmente é construída com materiais compósitos.

Figura 2 – Ilustração de uma embarcação construída com fibra de vidro.



Fonte: (Perfil Náutico, 2018).

2.2 Bioincrustação marinha

Bioincrustação é um dos principais problemas que a indústria marítima enfrenta. Toda superfície submersa em ambientes marinhos irá sofrer incrustações, que são formações de camadas orgânicas resultantes de eventos físicos, químicos e biológicos (ABARZUA; JAKUBOWSKI, 1995).

A bioincrustação marinha é o processo de colonização e crescimento de bactérias, algas e organismos sésseis sobre superfícies submersas (GAMA et al., 2009). Essas superfícies submersas podem ser plataformas, cais, bóias e qualquer outro tipo de superfície que fique em contato com água do mar. Na Figura 3, está ilustrado um exemplo de bioincrustação em um casco de navio.

Figura 3 – Bioincrustação em casco de navio.



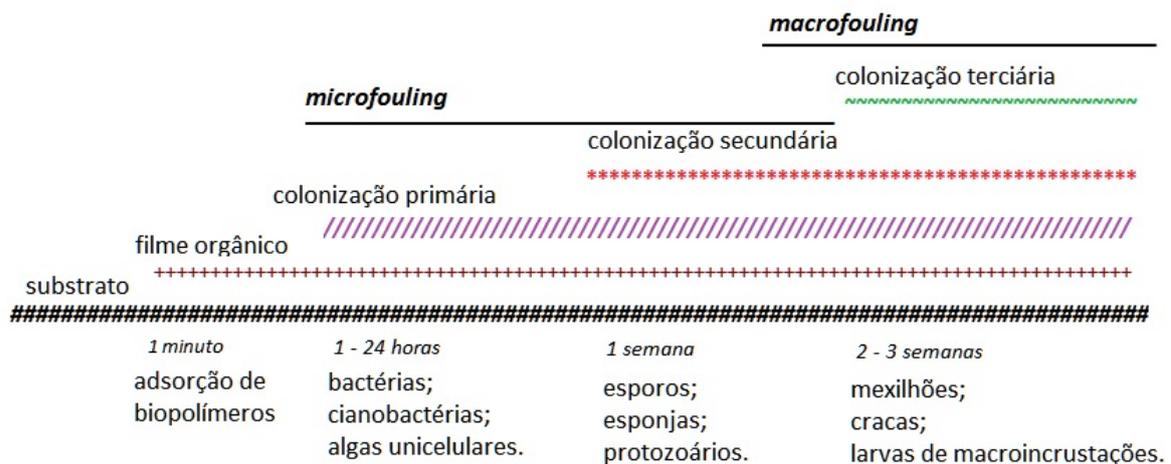
Fonte: (MFAME, 2016).

Os estágios iniciais do desenvolvimento de indivíduos incrustantes envolvem várias etapas: desde adsorção de biopolímeros presentes na água a uma superfície, atração química de bactérias, adsorção reversível (e posteriormente irreversível) de bactérias, aglomeração e formação de colônias, crescimento de uma população

bacteriana secundária, até a adesão de material particulado. Tais etapas caracterizam-se pelo estabelecimento de microorganismos, por isto denominadas de comunidades microincrustantes ou *microfouling* (GAMA et al., 2009). Na Figura 4, ilustra-se um modelo detalhado da colonização de organismos, assim como o tempo necessário para a ocorrência de cada etapa.

Posteriormente, uma comunidade de organismos macroscópicos (macroincrustação) desenvolve-se sobre a microincrustação, incluindo cracas, briozoários, ascídias, esponjas e macroalgas, dentre outros. A esta comunidade dá-se o nome de *macrofouling*, também denominada colonização terciária. Esta última etapa da incrustação é iniciada sobre a colonização primária e secundária (*microfouling*). Desta forma, ocorre a sobreposição dos processos até que a macroincrustação seja dominante, conforme ilustrado na Figura 4 (ABARZUA; JAKUBOWSKI, 1995; GAMA et al., 2009).

Figura 4 – Modelo detalhado da colonização de organismos.



Fonte: adaptado de (ABARZUA; JAKUBOWSKI, 1995, p. 302).

A formação de incrustação e sua taxa de crescimento é mais intensa em regiões e épocas do ano com altas temperaturas, como durante o verão. Por esse motivo, regiões tropicais estão mais suscetíveis ao desenvolvimento de bioincrustação (GARCIA, 2015; GENTIL, 1996; MELO; BOTT, 1997).

2.2.1 Bioincrustação na indústria naval

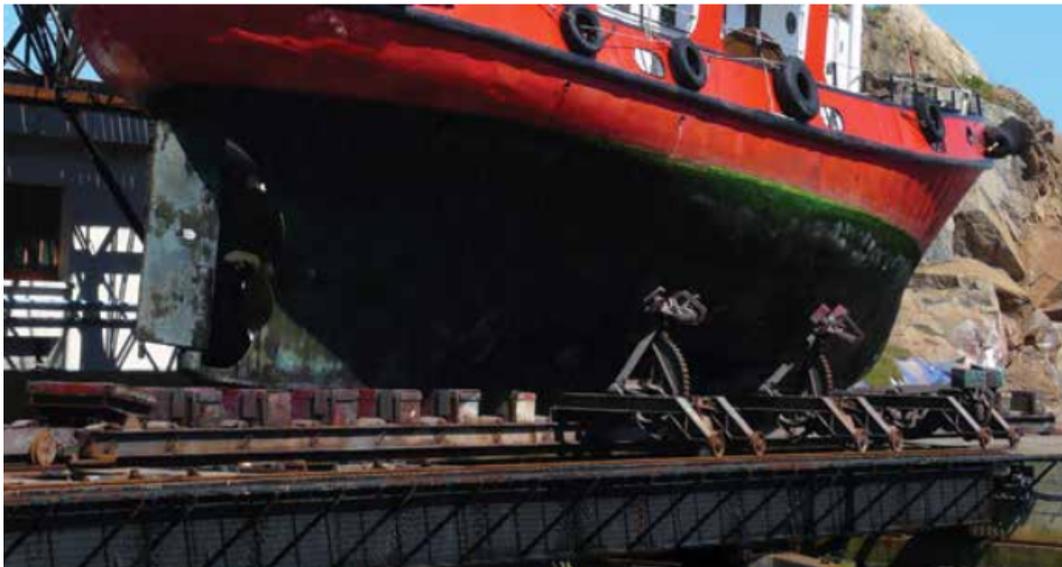
A maioria dos substratos naturais e artificiais concentra-se nas zonas costeiras e plataformas continentais dos oceanos, e a maior parte dos microorganismos e organismos macroscópicos marinhos habitam estes substratos (GAMA et al., 2009).

No caso de navios, os efeitos adversos causados por este assentamento biológico são bem conhecidos, tais como o aumento da resistência ao avanço, devido

à rugosidade gerada e aumento do arrasto, o que leva a um aumento de peso e subsequente redução da velocidade e perda de capacidade de manobra. Para compensar isso, é necessário um maior consumo de combustível, que causa aumento das emissões de compostos nocivos. Também acarreta a necessidade de máquinas mais pesadas e menos eficientes do ponto de vista energético. O aumento no consumo de combustível pode ser de até 40% e nos custos gerais da viagem em 77% (YEBRA et al., 2004).

O assentamento de incrustações gera um aumento do número de operações de dique seco devido à necessidade de limpeza adicional do casco ou mesmo em custosas substituições de revestimentos ou reparos do casco (BRESSY; LEJARS, 2014). Na Figura 5, ilustra-se uma operação de dique seco em uma embarcação devido à incrustação.

Figura 5 – Operação de dique seco de uma embarcação.



Fonte: (BRESSY; LEJARS, 2014, p. 20).

Os cascos de compósito reforçado com fibra de vidro são muito duros e resistentes, mas não são impermeáveis à natureza destrutiva de uma craca (bioincrustação). Deixadas sem correção, cracas podem causar danos consideráveis à superfície do *gel coat*. Quando raspados eles geralmente deixam um anel de cola na superfície e às vezes sua adesão é tão grande que a força necessária para raspar as cracas danifica o *gel coat* (INTERLUX, 2012).

Na Tabela 3, ilustra-se os diversos problemas que a bioincrustação marinha acarreta.

Tabela 3 – Consequências da bioincrustação marinha.

Local de incrustação	Problema	Consequência
Casco da embarcação	Aumento da rugosidade	Aumento no consumo de combustível
Hélice	Redução da propulsão	Sobrecarga dos motores
Sistemas de resfriamento	Entupimento	Desgaste por erosão

Fonte: adaptado de (GAMA et al., 2009, p. 2).

A bioincrustação é reconhecida como um dos principais obstáculos para instrumentos autônomos de sensoriamento ambiental em ambientes aquáticos. Todos os componentes imersos do sensor estão sujeitos à bioincrustação. Os materiais desses componentes são geralmente escolhidos com base na durabilidade, custo inicial e resistência à corrosão em vez de propriedades antincrustantes, o que pode ocasionar erros de medição ou inibição operacional do equipamento (REGAN et al., 2017). Na Figura 6, ilustra-se um sensor óptico acometido de bioincrustação.

Figura 6 – Sensor óptico após ser acometido pelo processo de bioincrustação.



Fonte: (REGAN et al., 2017, p. 3).

Em instalações flutuantes e bóias de navegação, a bioincrustação ocasiona um aumento o peso e redução da flutuabilidade, entupindo orifícios ou tubulações. Em instalações fixas, tais como plataformas de exploração de petróleo, piers, docas, etc., a incrustação estimula a corrosão, aumenta a massa da estrutura e resulta numa distorção da configuração inicial dessa instalação (GAMA et al., 2009).

Apesar de ser um processo natural, a incrustação biológica, quando desenvolvida em estruturas feitas pelo homem, acarreta uma série de transtornos e prejuízos a atividades marítimas, levando à uma visão negativa intrínseca ao próprio nome - *fouling* em inglês significa, além de incrustação, sujeira (GAMA et al., 2009).

Estudos mostram que o gasto anual da Marinha dos Estados Unidos com

sistemas de revestimentos antincrustantes e limpezas dos cascos de toda sua frota de embarcações gira em torno de \$180 a \$260 milhões por ano (CALLOW; CALLOW, 2011).

Além de todos os prejuízos no setor naval, há uma problemática relacionada com questões ecológicas (MICHELS, 2014). A água de lastro, embarcada através das caixas de mar, tem papel fundamental na estabilidade da embarcação, no combate a incêndios, em sistemas sanitários para a higiene e resfriamento de sistemas propulsores e condensadores. Conforme estudos realizados em diversos países, muitos organismos podem sobreviver na água de lastro e nos sedimentos transportados pelos navios, mesmo após viagens de vários meses de duração. Dependendo das condições ambientais do local de descarga dessa água de lastro e desses sedimentos, os organismos aquáticos neles conduzidos podem colonizar esse novo ambiente, causando impactos aos animais e vegetais anteriormente existentes (JURAS, 2003). O transporte de uma região para outra pode causar desequilíbrio ambiental, relacionado a competição, predação e sucessão dos microrganismos (MICHELS, 2014).

2.2.2 Incrustação - *Balanus amphitrite*

A enorme diversidade de organismos incrustantes com origens filogenéticas, estratégias de vida, nutrição e habilidades competitivas distintas torna o estudo da bioincrustação extremamente importante na compreensão de modelos e processos ecológicos, como a manutenção da diversidade de espécies, os efeitos da poluição, as formas de prevenção da incrustação em superfícies feitas pelo homem e a bioinvasão, por exemplo (GAMA et al., 2009).

As cracas representam um excelente modelo biológico para avaliar a eficácia antincrustante de produtos marinhos. Cracas estão entre os animais incrustantes de maior presença e têm um grau único de adaptação à vida sésil. Elas são encontradas presas a todos os tipos de superfícies e são melhor equipadas do que outros animais ao colonizar estruturas imersas (MARECHAL; HELLIO, 2010).

Cracas são problemáticas como organismos incrustantes por conta de sua característica de forte fixação e calcificação, fazendo com que seja difícil e caro o processo de remoção. Sua proliferação e distribuição global faz com que as cracas sejam o invertebrado marinho mais encontrado no mundo. É estimado que existam mais de 4.000 espécies responsáveis pela bioincrustação e que estão constantemente a procura de uma superfície para se fixar e se desenvolver (MARECHAL; HELLIO, 2010).

É importante também ressaltar que não é o microrganismo adulto que está em busca de uma superfície, e sim suas larvas ou esporos, no caso de microalgas. Uma simples craca da espécie *Balanus amphitrite* (a qual pode ser observada na Figura 7), por exemplo, é capaz de produzir cerca de 10.000 larvas em sua temporada de

reprodução. Todos estes organismos buscarão uma superfície para se fixar e crescer (GARCIA, 2015).

Figura 7 – Craca *Balanus amphitrite*.



Fonte: (JACINTO, 2009).

A espécie mais comumente utilizada em ensaios de adesão é a *Balanus amphitrite*. É um organismo incrustante amplamente distribuído e dominante encontrado em águas mornas por todo o mundo. Indivíduos podem sobreviver em águas com temperaturas até 12°C mas não se reproduzirão em águas mais frias que 15 – 18°C (MARECHAL; HELLIO, 2010).

Com o aumento da temperatura, o desenvolvimento embrionário de indivíduos *Balanus amphitrite* é acelerado. E que, em condições ambientais adversas (outono e inverno), muitas larvas desta espécie não conseguem se desenvolver e estabelecer a comunidade de colonização terciária (ANIL et al., 1995).

2.2.3 Evolução dos mecanismos de proteção antincrustante

Algumas das desvantagens da bioincrustação marinha têm sido reconhecidas e combatidas há mais de dois mil anos. Os povos Fenícios e Cartagineses usaram piche (resina) e possivelmente revestimentos de cobre no fundo dos navios, enquanto cera, alcatrão e asfalto eram usados por outras civilizações antigas (YEBRA et al., 2004).

No início do século XVI, revestimentos de madeira, colocados sobre uma camada de pêlo animal e alcatrão, eram tidos como procedimento usual, o revestimento com chumbo era muito mais difundido naquela época, como pode ser visto a partir de sua adoção oficial pela Espanha, França e Inglaterra. Após a introdução dos navios de ferro, o uso de revestimentos à base de cobre decaiu muito, principalmente por conta da ação corrosiva do cobre sobre o ferro (corrosão galvânica) e a incerteza quanto às propriedades antincrustantes desse revestimento. Para contornar esse problema, foram empregados vários outros materiais de revestimento, como zinco, chumbo, níquel,

arsênio, ferro galvanizado e ligas de antimônio, zinco e estanho. (GENTIL, 1996; YEBRA et al., 2004).

A ciência do século XX trouxe ao setor naval a tecnologia das tintas antincrustantes, também conhecidas como tintas envenenadas. A partir da década de 1950, essas tintas tornaram-se item fundamental para a indústria náutica (KUGLER, 2014).

As tintas antincrustantes tinham em sua formulação o que os químicos chamam de compostos organoestânicos – baseados na interação entre átomos de carbono e estanho, entre eles o biocida TBT (tributil-estanho) . A eficácia de tintas usando TBTs pode ser até 5 vezes maior do que a de tintas baseadas em óxido de cobre, com a vantagem adicional de não causar corrosão em alumínio e aço. Desde que as tintas com TBT começaram a ser utilizadas em larga escala, no início dos anos 70, alardeou-se que esta seria a solução para o antigo e oneroso problema da incrustação biológica. (GAMA et al., 2009; KUGLER, 2014).

Em meados da década de 1980, pesquisadores de vários países começaram a perceber que, nos ecossistemas marinhos costeiros, algumas formas de vida passaram a apresentar malformações de origem genética, deformações graves e distúrbios morfológicos. Concluiu-se que as modernas tintas antincrustantes exerciam, de fato, severos impactos na fauna marinha e o que parecia solução do problema da incrustação logo se tornou um desafio ecológico sem precedentes na história (KUGLER, 2014).

Em 1990, o Comitê de Proteção ao Ambiente Marinho da Organização Marítima Internacional (IMO) adotou pela primeira vez a resolução de controlar o uso de TBT, e recomendou ações governamentais no sentido de eliminar o uso deste poluente através de restrições em relação ao tipo de navio (porte, uso, etc). Apesar dos esforços que vêm sendo feitos, estima-se que 60% dos navios em uso em todo o mundo ainda utilizem tintas antincrustantes contendo TBT ou similares (GAMA et al., 2009).

Tintas contendo TBT ainda são encontradas em embarcações, pois a Convenção Internacional sobre Controle de Antincrustantes Nocivos em Navios de 2001, da IMO, proibiu a aplicação e reaplicação de compostos organoestânicos a partir de 1º de janeiro de 2013. Então, embarcações e plataformas flutuantes construídas antes dessa data que ainda estejam em operação contem TBT como biocida antincrustante.

Embora a extinção total do uso de TBT não seja esperada a curto prazo, há uma necessidade crescente e permanente de procura por alternativas, a qual tem induzido indústrias da área de tintas antincrustantes e pesquisadores a testar novas substâncias que associem propriedades antincrustantes à compatibilidade ambiental (GAMA et al., 2009).

Na busca pelo antincrustante de alto desempenho, a indústria naval tem procurado equilibrar a eficiência e a durabilidade dos novos produtos com níveis de toxicidade ambientalmente toleráveis. Os compostos de ação antincrustante ideal

devem apresentar amplo espectro de ação (a fim de prevenir com eficiência o estabelecimento das várias espécies de organismos que iniciam a formação do biofilme incrustante); baixa toxicidade; baixa solubilidade em água; baixo potencial de bioacumulação; baixa ou nenhuma persistência ambiental; serem compatíveis com os equipamentos e técnicas de pintura atualmente em uso e, custos e durabilidade competitivos com os produtos atualmente disponíveis no mercado (CASTRO et al., 2011).

2.2.4 Métodos alternativos

2.2.4.1 Superfícies fotocatalíticas

A fotocatalise heterogênea é o fenômeno de ativação das características fotocatalíticas de um semicondutor (por exemplo o TiO_2) através de uma incidência luminosa. Durante a exposição luminosa, o semicondutor absorve fótons com energia superior ao seu *bandgap*, que equivale à diferença de energia entre a banda de condução (BC) e a banda de valência (BV) (CARDOSO, 2016). Essa absorção de fótons resulta no salto de um elétron da BV para a BC, gerando uma lacuna na BV. Essa lacuna apresenta um potencial capaz de oxidar moléculas de águas adsorvidas na superfície do semicondutor e, assim, originar radicais hidroxila (OH) que reagem com uma grande variedade de compostos orgânicos, podendo agir como agentes oxidantes, bactericidas ou limpantes (NOGUEIRA; JARDIM, 1996).

Estudos a respeito de superfícies fotocatalíticas como agente antincrustante já foram realizados por meio de dissertações e artigos na Universidade Federal de Santa Catarina, dentre os quais pode-se destacar as de (BIZINELLA, 2015), (RAMOS, 2016), (ZANELLA, 2016), (DEDECO, 2020) e o artigo de (SOETHE et al., 2017).

2.2.4.2 Limpeza mecânica

Alguns métodos de limpeza mecânica, como vassoura de aço e sprays de jato de água de alta pressão, são amplamente utilizados para a limpeza de canais, tubos e comportas de instalações de transporte de água doce. A principal preocupação a respeito desses métodos é que o processo pode danificar as superfícies subjacentes e aumentar a rugosidade da superfície do substrato, fornecendo um ambiente para colonização de biofilme (ANDREWARTHA, 2010; BARTON et al., 2008; LEHTOLA et al., 2004; LI, 2013).

2.2.4.3 Tratamento ultrassônico

É possível obter um controle microbiano em sistemas de resfriamento de água, por exemplo, através de um tratamento ultrassônico. Esse tratamento funciona com um sistema de altas frequências (1,5 - 2,0 MHz), que provoca cavitação acústica

no ambiente aquático e, por consequência, a retirada dos organismos aderidos à embarcação. Neste caso, formam-se bolhas que crescem e colidem violentamente com a superfície, desprendendo os microorganismos presentes. Em sistemas de refrigeração, esse tratamento apresentou excelentes resultados no controle de bactérias e algas (BROEKMAN et al., 2010; GIBSON et al., 2008; LI, 2013).

2.2.4.4 *Dosagem de cloro*

Desde os anos 50, a adição de cloro em sistemas de água doce (ou o spray direto de cloro na incrustação) vem sendo amplamente utilizada para o combate à bioincrustação. No entanto, novos regulamentos da EPA (*Environmental Protection Agency* ou Agência de Proteção Ambiental) restringem o uso da dosagem de cloro como mecanismo antincrustante, apesar de ser um dos métodos mais eficientes para remoção de incrustações (mais de 90% da incrustação biológica pode ser extinta com esse método) (LEE et al., 1998; LI, 2013).

2.2.4.5 *Irradiação UV (ultravioleta)*

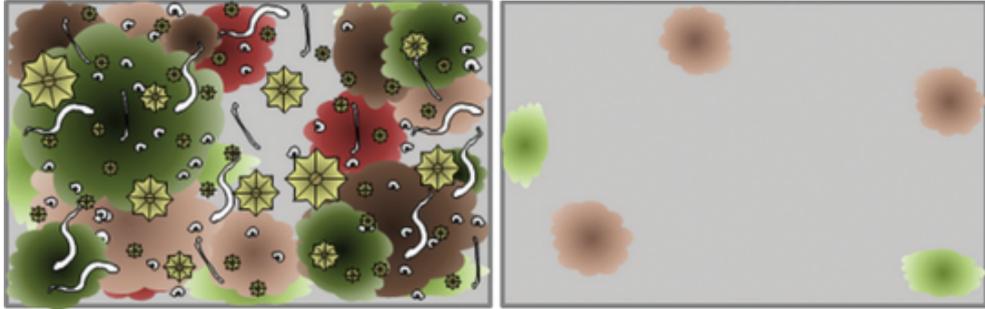
O método de irradiação UV, apesar de não eliminar completamente a incrustação biológica, reduz a necessidade de produtos químicos na limpeza de incrustações. Experimentos, comparando superfícies com e sem tratamento UV, mostraram resultados em que os organismos eram significativamente reduzidos, com apenas 0,85% remanescente após irradiação. Além disso, o processo gera baixa quantidade de resíduos e oferece baixos riscos à saúde humana. É através da irradiação UV que alguns estudos de fotocatalise (discutidos na seção 2.2.4.1) são realizados (LI, 2013; MUNSHI et al., 2005; PANCHAL et al., 1995).

2.2.4.6 *Revestimento Fouling Release (FRC)*

É um método alternativo não tóxico de eliminação de incrustação, ou seja, é livre de biocidas. A ideia geral desse mecanismo é minimizar a adesão entre organismos incrustantes e a superfície, de modo que a incrustação possa ser removida pelo estresse hidrodinâmico durante a navegação ou por uma limpeza mecânica simples. Os revestimentos FRC podem ser fabricados com diversos tipos de materiais, dentre os mais comumente utilizados cita-se os revestimentos baseados em silicone e em flúor. Na Figura 8, ilustra-se a propriedade autolimpante que esse revestimento dá às superfícies após terem sido imergidas por 1 minuto em água com velocidade de 20 nós (aproximadamente 37 km/h). Desse modo, esse revestimento faz com que os organismos incrustantes sejam desprendidos do casco do navio, por exemplo, assim que se atinja uma certa velocidade, o que acarreta em redução do arrasto da embarcação e, portanto, redução no consumo de combustível, assim como na emissão

de poluentes (LEJARS et al., 2012).

Figura 8 – Simulação de superfície com FRC: antes e depois de imersão em água.



Fonte: adaptado de (LEJARS et al., 2012, p. 9).

3 METODOLOGIA

Nesse capítulo, é apresentada a metodologia de estudo utilizada no presente trabalho. É discutida a preparação das amostras de compósito reforçado com fibra de vidro e suas modificações de rugosidade. Também será discutido o procedimento de estudo da evolução da incrustação, que será acompanhada periodicamente nestas amostras. O estudo quantitativo será realizado através de software para análise de imagem, comparando a evolução da incrustação nas diferentes superfícies.

3.1 Obtenção do material compósito reforçado com fibra de vidro (PRFV)

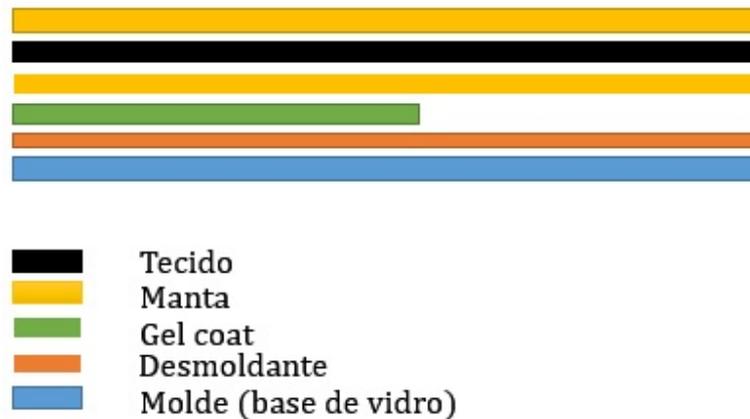
Os corpos de prova foram confeccionados segundo os processos normalmente empregados na indústria náutica e foi realizado através do processo de laminação manual (*hand lay-up*). Os materiais utilizados foram o *gel coat* isoftálico, resina poliéster ortoftálica da marca Redelease (ilustrada na Figura 9), catalisador (iniciador MEKP), desmoldante, mantas e tecidos de fibra de vidro. Na obtenção do laminado, o plano de laminação está ilustrado na Figura 10. Foram utilizadas duas camadas de manta de gramatura de 330 g/m^2 , uma camada de tecido de 330 g/m^2 . Foi utilizada uma fração de 30% de reforço (fibra) e 70% de resina (matriz). A massa do reforço foi de 121,275 g e de resina foi de 282,975 g. Como molde para laminação, foi empregada uma base de vidro comum. Essas amostras foram denominadas Tipo I.

Figura 9 – Imagem ilustrativa de uma resina poliéster ortoftálica da marca Redelease utilizada para confecção dos compósitos com fibra de vidro.



Fonte: (DISTRIBUIDORA OFICIAL DA REDELEASE, 2020).

Figura 10 – Plano de laminação utilizado.



Fonte: Autor (2020).

Na Figura 11, é possível observar uma imagem do material compósito obtido após processo de laminação. A metade clara da placa contém *gel coat* e a metade escura não contém. Assim, é possível efetuar a análise da influência da presença de *gel coat* na evolução da bioincrustação marinha.

Figura 11 – Placa de compósito reforçado com fibra de vidro obtida após processo de laminação.



Fonte: Autor (2020).

Para realizar o dimensionamento das amostras a serem utilizadas no estudo, foram demarcados os tamanhos dos corpos de prova a serem obtidos, como ilustrado na Figura 12, com o objetivo de se obter uma quantidade de corpos de prova suficiente

para obter uma estatística dos resultados oriundos da quantidade de incrustação. O corte foi realizado com uma serra circular portátil no Laboratório de Manufatura da UFSC.

Figura 12 – Placa laminada de compósito com fibra de vidro demarcada para corte.



Fonte: Autor (2020).

Após o corte, foram realizados tratamentos superficiais com o objetivo de fornecer outra variável de análise relacionada com a rugosidade da superfície. Algumas amostras com cobertura de *gel coat* tiveram em suas superfícies um tratamento inicial através de lixa d'água de grão 280, e posterior com lixa a seco de grão 120. Essas amostras que passaram pelo tratamento superficial foram denominadas de "modificadas" pelo Autor. As amostras que não foram lixadas (superfície lisa) foram denominadas como "não modificadas". Na Figura 13, ilustra-se os corpos de prova cortados.

Figura 13 – Amostras cortadas.



Fonte: Autor (2020).

Também foram utilizadas amostras de compósitos com fibra de vidro que já

se encontravam no Laboratório de Tratamentos de Superfície (LaTS) da UFSC. Na obtenção desse laminado, que não foi realizada pelo Autor, foram utilizadas duas mantas de fibra de vidro M450 (ilustrada na Figura 14), resina poliéster e *gel coat* isoftálico. O processo utilizado foi de laminação manual e como molde foi utilizada uma mesa de vidro comum. Essas amostras foram denominadas Tipo II.

Figura 14 – Manta M450 utilizada na laminação dos amostras do Tipo II.



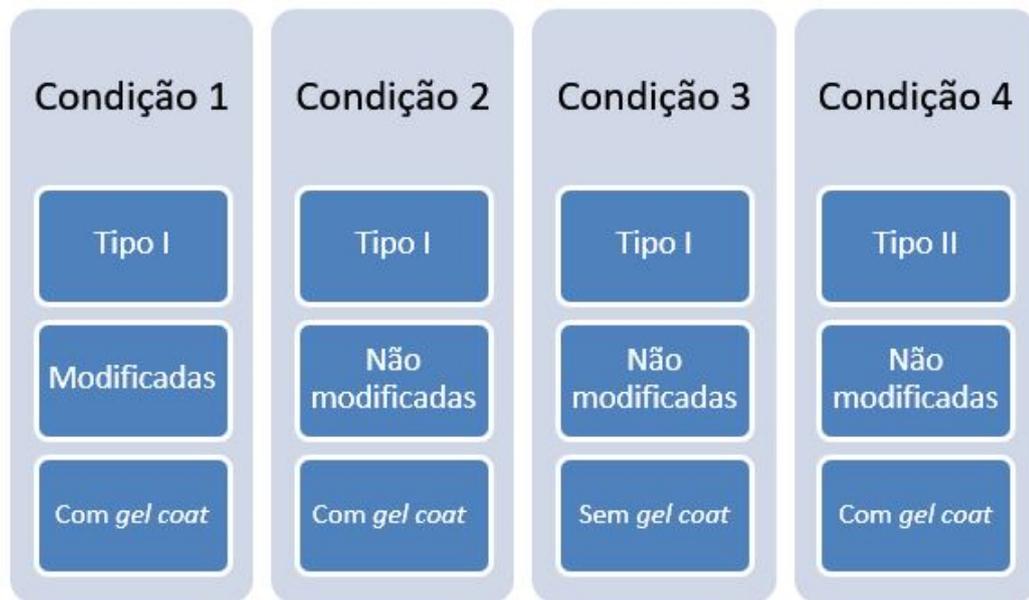
Fonte: (DISTRIBUIDORA OFICIAL DA REDELEASE, 2020).

3.2 Ensaio da evolução da bioincrustação

3.2.1 Sistema para avaliação em ambiente aquático natural

Após os tratamentos nas superfícies das amostras serem realizados, 20 amostras de compósito reforçado com fibra de vidro foram selecionadas, sendo 5 para cada condição de estudo, estabelecidas de acordo com informações mencionadas na seção 3.1. Os parâmetros de cada condição estão explicados na Figura 15.

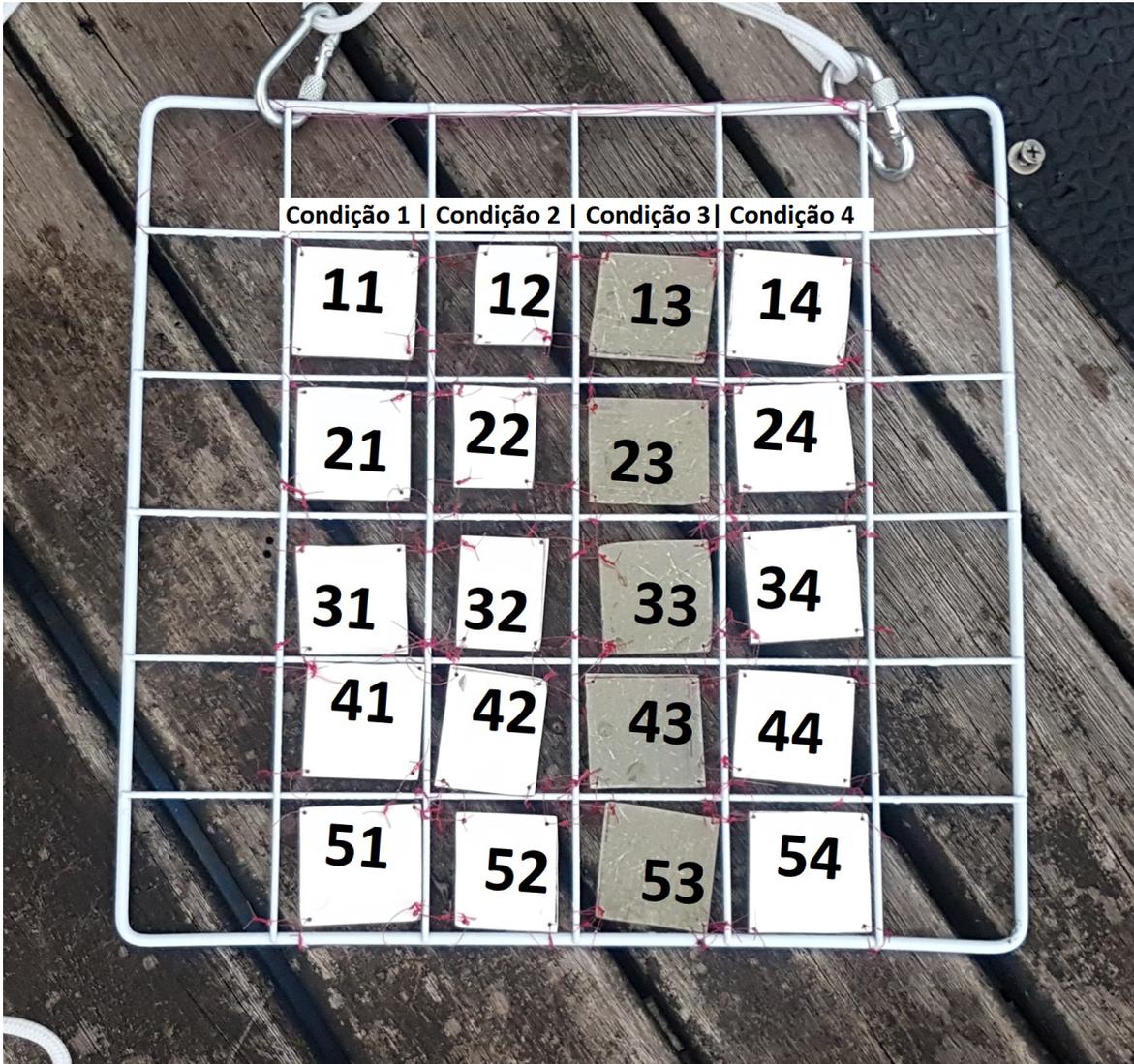
Figura 15 – Fluxograma das 4 condições de estudo.



Fonte: Autor (2020).

As amostras foram fixadas com fio de poliamida a uma grade de aço pintado de dimensões de 25 cm de altura por 25 cm de largura. Na Figura 16, apresenta-se o aparato montado. Nota-se que as amostras foram denominadas de acordo com a posição na grade, sendo o primeiro número referente à linha e o segundo número à coluna. Destaca-se também que as amostras foram organizadas com uma condição de estudo por coluna.

Figura 16 – Aparato montado para realização do primeiro intervalo de observação.



Fonte: Autor (2020).

3.2.2 Local de imersão

Foi escolhida a Marina Cubatão, em Joinville, para realizar a imersão das amostras e acompanhamento quanto ao desenvolvimento de incrustações. A Marina se encontra na Rua Timbé, bairro Jardim Paraíso, e fica anexa ao Rio Cubatão. Na Figura 17, é apresentada uma imagem de satélite da localização do sítio de exposição das amostras.

Figura 17 – Localização da Marina Cubatão.



Fonte: United States Geological Survey (2020).

A água do ambiente aquático circundante que a Marina se encontra pode ser classificada como salobra pela Resolução Conama 357/05, sendo interessante para aplicação do estudo deste trabalho (RAMOS, 2016).

A grade na qual as amostras estão fixadas foi disposta na extremidade de um trapiche flutuante, ilustrado nas Figuras 18 e 19, para que, deste modo, as variações climáticas e de maré pudessem ser acompanhadas pela grade sem maiores dificuldades. A fixação foi realizada com uma corda e mosquetões de alumínio, de modo que a grade permaneceu na posição vertical durante todos os períodos de estudo. Foi alterado o local de fixação durante o segundo período de observação após conclusão que havia menor variabilidade de nível da água naquele ponto.

Figura 18 – Locais de fixação no trapiche.



Fonte: Autor (2020).

Figura 19 – Artefato fixado e submerso.



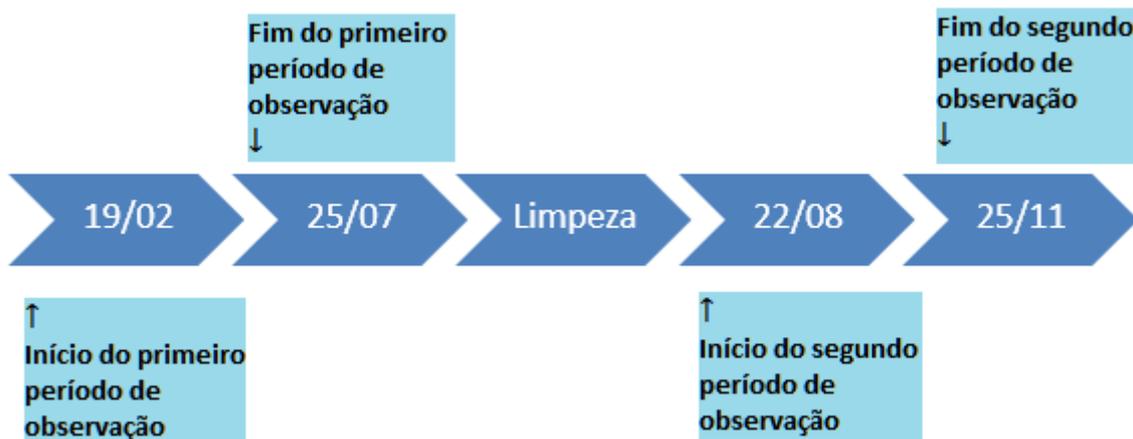
Fonte: Autor (2020).

3.2.3 Acompanhamento da evolução da incrustação

Por meio de um acompanhamento periódico, foi realizada a avaliação da evolução das incrustações nas amostras através de documentação fotográfica e, posteriormente, o tratamento dessas fotos nos softwares *Adobe Photoshop* (aumento de contraste e ajuste de exposição) e *photoQuad* (TRYGONIS; SINI, 2012) para obtenção de resultados quantitativos da progressão da bioincrustação.

Na Figura 20, está apresentada a cronologia do acompanhamento da evolução da bioincrustação realizado neste trabalho.

Figura 20 – Cronologia do acompanhamento da evolução da bioincrustação do presente trabalho. Artefato fixado e submerso.



Fonte: Autor (2020).

3.2.3.1 Primeiro intervalo de observação

O primeiro período de observação teve início no dia 19 de fevereiro de 2020 (dia em que as amostras foram dispostas na água), como ilustra a Figura 20. A grade foi retirada no dia 25 de julho de 2020. Durante esses 158 dias, foram realizadas 9 documentações fotográficas, utilizando o seguinte procedimento:

- Retirada da grade do ambiente aquático;
- Limpeza com água do excesso de sujeiras não incrustantes, como lodo e barro;
- Captura de fotos individuais de cada amostra e de todo o conjunto;
- Reinserção da grade no ambiente aquático.

3.2.3.2 Limpeza da grade

Após retirada da grade do ambiente aquático no dia 25 de julho de 2020, foi feita uma limpeza com um método empírico realizada através de um processo de raspagem com uma espátula de metal para a retirada dos indivíduos das superfícies

das amostras. Em seguida, a grade foi deixada numa bacia com água e água sanitária por 24 horas. Após isso, foi realizado mais um processo de raspagem para que fosse retirado o máximo possível dos resquícios das cracas.

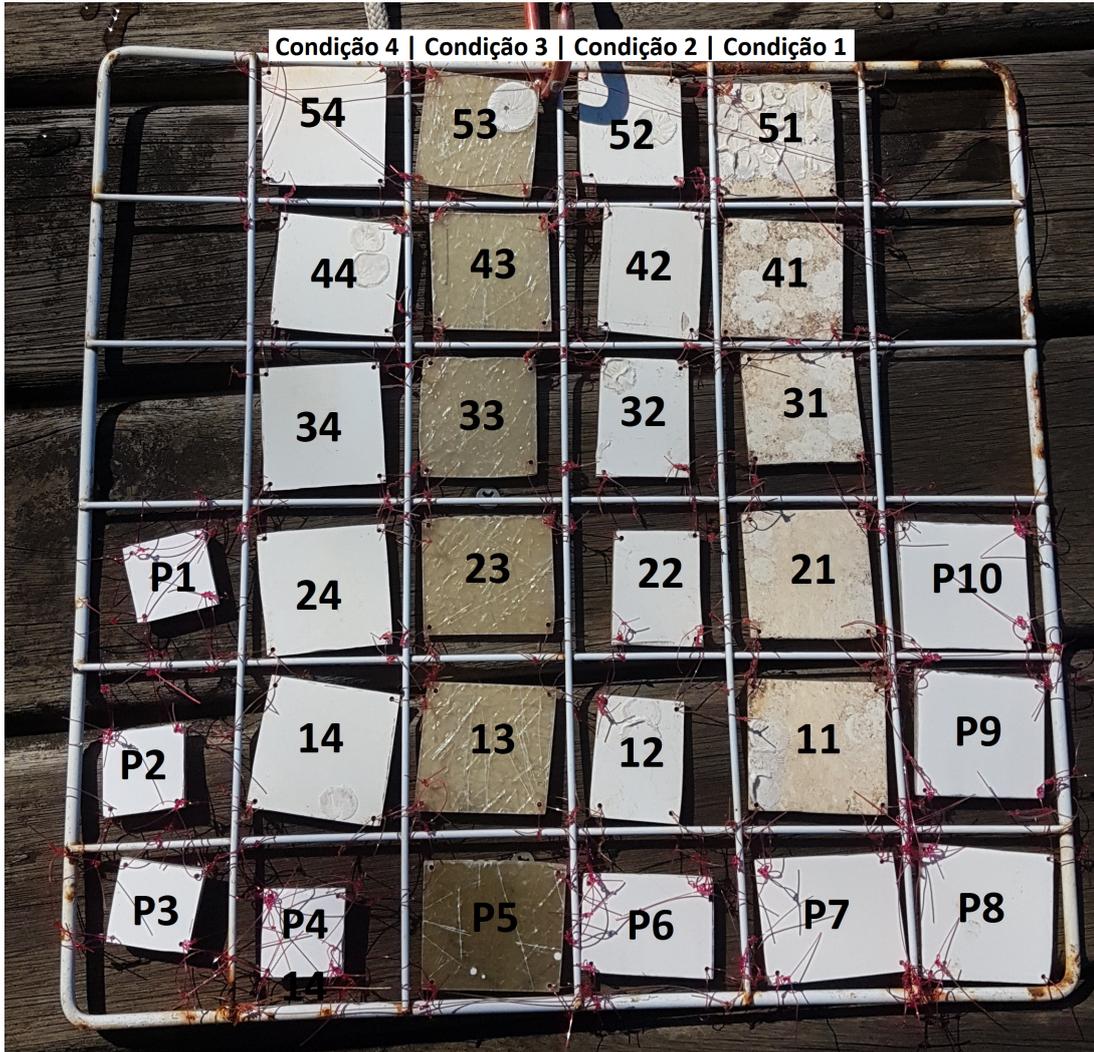
3.2.3.3 *Segundo intervalo de observação*

Devido ao fato do primeiro intervalo de observação ter tido um período inicial de 59 dias sem documentações fotográficas, não foi possível observar a evolução da bioincrustação entre os dias 28 de fevereiro e 26 de abril por conta do início da Pandemia de COVID-19, que ocorreu em 2020. Por isso, foi proposto efetuar um novo período de observação com o mesmo aparato para se obter um controle mais preciso do desenvolvimento inicial dos organismos sobre os corpos de prova e possibilitar uma comparação dos resultados obtidos após os dois períodos de observação.

Este segundo período teve início no dia 22 de agosto de 2020, como ilustra a Figura 20. A grade foi retirada da água no dia 25 de novembro de 2020, totalizando-se 95 dias de acompanhamento, que foi realizado com o mesmo procedimento utilizado no primeiro intervalo de observação.

De modo a otimizar a obtenção de dados durante o segundo intervalo de observação, foram adicionadas mais 10 amostras na grade: 4 da Condição 1 (amostras P7, P8, P9 e P10), uma da Condição 2 (P6), uma da Condição 3 (P5) e 4 da Condição 4 (P1, P2, P3 e P4). Os processos de posicionamento e a determinação da quantidade de amostras novas foram realizados de acordo com a disponibilidade de espaços vagos na grade. Na Figura 21, encontra-se o novo arranjo e denominação das amostras na grade.

Figura 21 – Aparato montado para realização do segundo intervalo de observação.



Fonte: Autor (2020).

3.3 Análise de dados: software *photoQuad*

Para avaliação quantitativa da evolução da incrustação, foi utilizado o software *photoQuad*. O processo de análise através do software será descrito em detalhes a seguir.

Primeiramente, a imagem a ser analisada é importada no software. A seguir, deve-se calibrar a quantidade de *pixels* por centímetro da imagem para que a análise seja feita em escala correta, como pode ser observado na Figura 22. Para isso é necessário ter as dimensões corretas das amostras, que estão apresentadas nas Tabelas 4 e 5.

Figura 22 – Calibração do software *photoQuad*.

Fonte: Autor (2020).

Tabela 4 – Dimensões das amostras.

Amostra	Altura x Largura (cm x cm)
11	3,9 x 4,2
12	3,6 x 2,8
13	3,7 x 4,0
14	3,9 x 4,0
21	4,0 x 3,9
22	3,6 x 2,8
23	3,7 x 4,1
24	3,7 x 3,9
31	3,8 x 3,6
32	3,9 x 2,9
33	3,9 x 3,7
34	3,9 x 3,8
41	3,9 x 4,0
42	4,2 x 3,3
43	3,9 x 3,8

Fonte: Autor (2020).

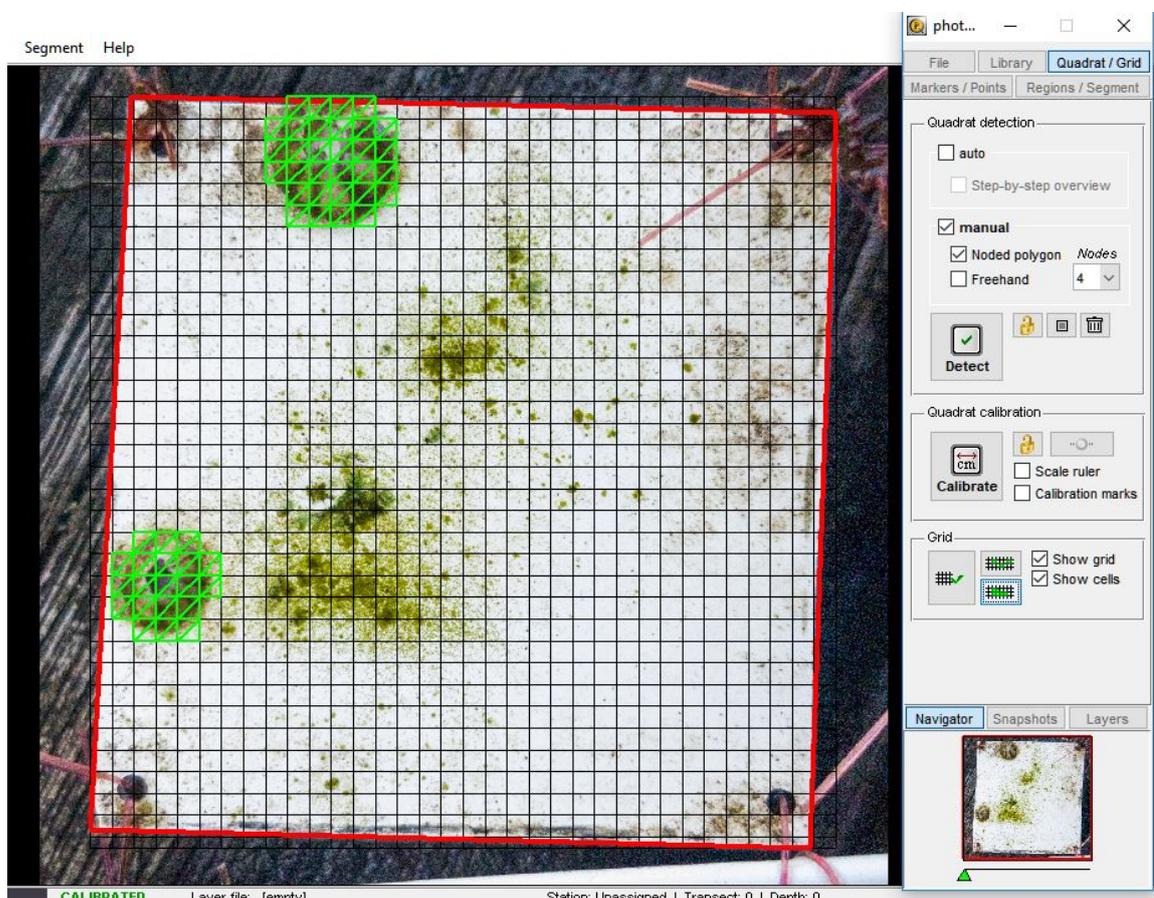
Tabela 5 – Continuação - Dimensões das amostras.

Amostra	Altura x Largura (cm x cm)
44	3,8 x 3,9
51	3,9 x 4,0
52	3,8 x 3,3
53	3,8 x 3,8
54	4,0 x 3,9
P1	2,4 x 2,4
P2	2,3 x 2,3
P3	2,3 x 2,5
P4	2,4 x 2,4
P5	3,5 x 4,2
P6	2,8 x 4,0
P7	3,4 x 4,2
P8	3,8 x 4,0
P9	3,6 x 3,9
P10	3,9 x 3,8

Fonte: Autor (2020).

Após isso, seleciona-se o quadrante de análise (no caso do presente trabalho, o quadrante é o contorno do corpo de prova de compósito com fibra de vidro) e adiciona-se um *grid*. No software, é possível configurar o *grid* de diversas maneiras: tamanho, relação *pixels* por área e quantidade de células. Neste trabalho, foi utilizado o número de células padrão que o software sugere automaticamente ao adicionar o *grid*. Em seguida, é realizada a seleção das células de interesse e, posteriormente, com a função *cell count summary*, a contagem dessas células. Desse modo, é possível obter a porcentagem de área coberta pelos indivíduos incrustantes, conforme exposto nas Figuras 23 e 24.

Figura 23 – Procedimento de seleção das regiões de interesse no software *photoQuad*.



Fonte: Autor (2020).

Figura 24 – Exemplo de um procedimento utilizando a função *Cell count summary* no *photoQuad*.

Cell code	Cell count	Area pix	Area cm2	Coverage %	Ref area pix	Ref area cm2	Unit cell area pix
1	47	1.1750e+05	0.6370	4.2892	2739419	14.8430	2500
2	4	7875	0.0430	0.2875	2739419	14.8430	2500
3	0	0	0	0	2739419	14.8430	2500
4	51	1.2538e+05	0.6790	4.5767	2739419	14.8430	2500

Fonte: Autor (2020).

Como o procedimento é realizado de maneira manual e visual, optou-se por realizar a análise três vezes em cada foto de cada amostra, pois em cada análise, é possível obter um valor ligeiramente diferente do anterior. Desse modo, ao realizar a análise três vezes, obtém-se um resultado mais preciso.

Finalizada a análise da porcentagem de área recoberta pelas incrustações, foi calculada a média aritmética dos três valores obtidos para então possuir um valor médio da porcentagem de incrustação em cada amostra.

Posteriormente, as amostras foram divididas em relação às suas condições de superfície, conforme discutido na seção 3.2.1. Assim, tem-se 5 amostras para cada condição em todos os pontos de intervalo de tempo no primeiro período de observação. A quantidade de amostras para cada condição no segundo período de observação variou, como explicado na seção 3.2.3.3.

Foi, então, calculada outra média aritmética, desta vez obtendo-se uma porcentagem média de área recoberta em cada ponto de intervalo de tempo para cada condição. Calculou-se, também, o desvio padrão dos valores em relação a essa nova média calculada. Em seguida, foi calculado o erro padrão da média, que é obtido ao dividir o desvio padrão pela raiz do número de amostras de cada período de observação. Com isso, foram plotados os gráficos onde pôde se observar a evolução da porcentagem da área recoberta em relação ao tempo.

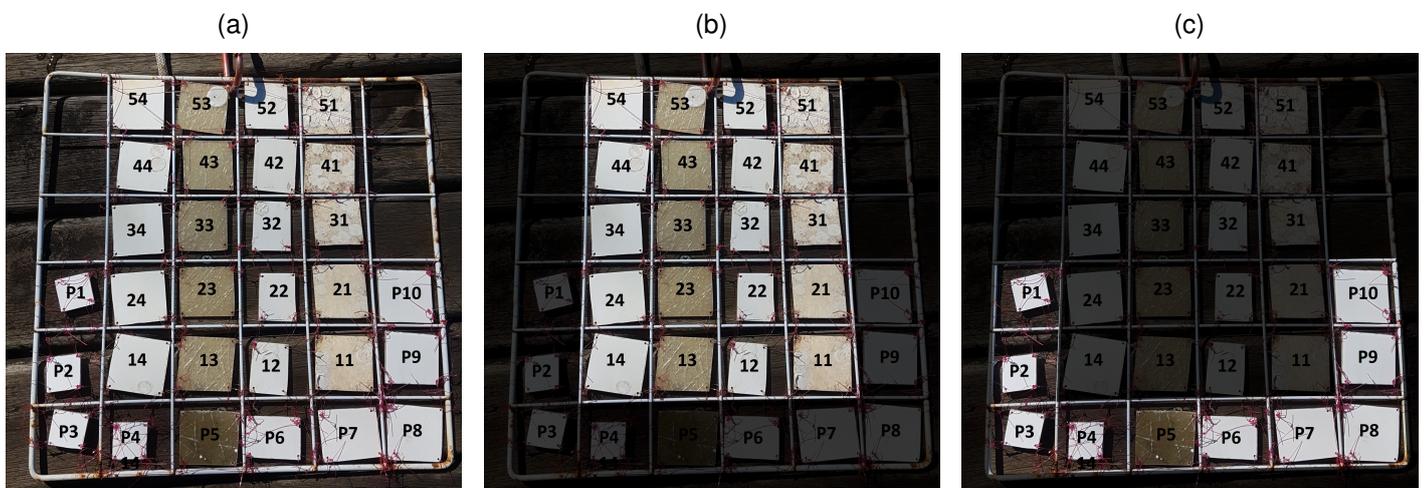
Também foi realizada, de maneira visual, a contagem de indivíduos em cada amostra. De maneira análoga à análise da área recoberta, foi calculada a média da quantidade de indivíduos incrustantes por condição. A análise da quantidade de indivíduos também foi realizada separando as amostras por condição. Assim, também foi calculado o desvio padrão e erro padrão da média.

Nas análises do segundo intervalo de observação, as amostras foram separadas em três diferentes conjuntos:

- Primeiro conjunto: todas as amostras;
- Segundo conjunto: somente as amostras que foram limpas e reutilizadas para estudo;
- Terceiro conjunto: somente as amostras novas.

Na Figura 25, demonstra-se os três conjuntos de amostras do segundo intervalo de observação.

Figura 25 – Organização das amostras do segundo intervalo de observação - a) Primeiro conjunto. b) Segundo conjunto. c) Terceiro conjunto.



Fonte: Autor (2020).

3.4 Estudo comparativo dos períodos de observação

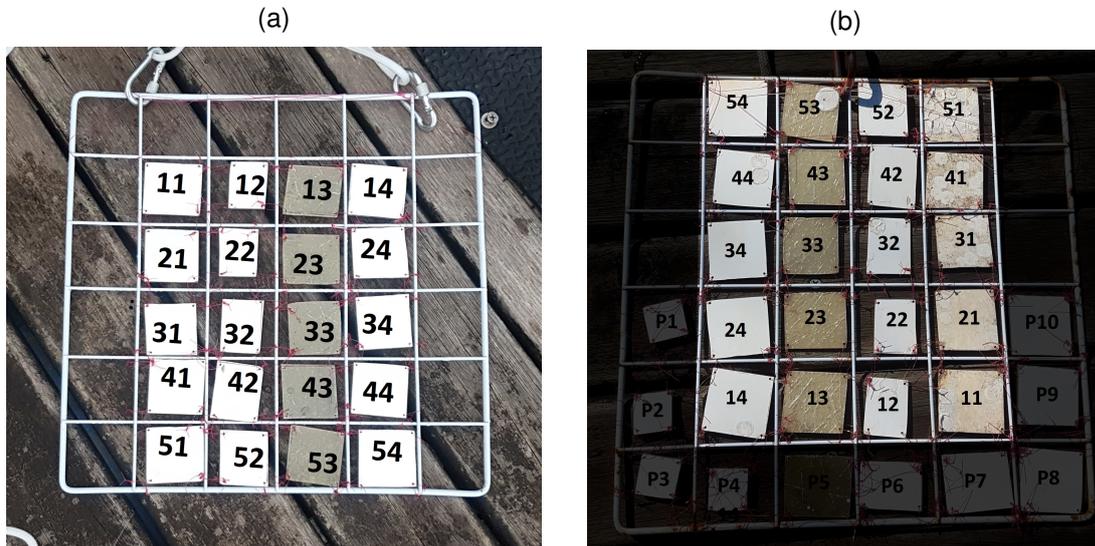
A fim de entender a evolução da bioincrustação nas amostras de material compósito com fibra de vidro ao longo de diferentes épocas do ano, foi realizada a comparação entre os dois períodos de observação realizados neste estudo. Desse modo, é possível constatar se houve ou não um padrão no acúmulo de organismos nas amostras ao longo dos períodos.

As condições das superfícies das amostras foram comparadas entre si. De modo que as amostras Condição 1 do primeiro período de observação foram comparadas com as amostras da Condição 1 do segundo período de observação, as amostras da Condição 2 do primeiro período de observação foram comparadas com as amostras da Condição 2 do segundo período de observação, e assim por diante.

Foram realizados dois processos de comparação. No primeiro, comparou-se as amostras do primeiro intervalo com as amostras do segundo conjunto do segundo intervalo de observação. Assim, compara-se as mesmas amostras antes e depois do

processo de limpeza descrito na seção 3.2.3.2. Na Figura 26, ilustram-se as amostras que foram comparadas nesse processo.

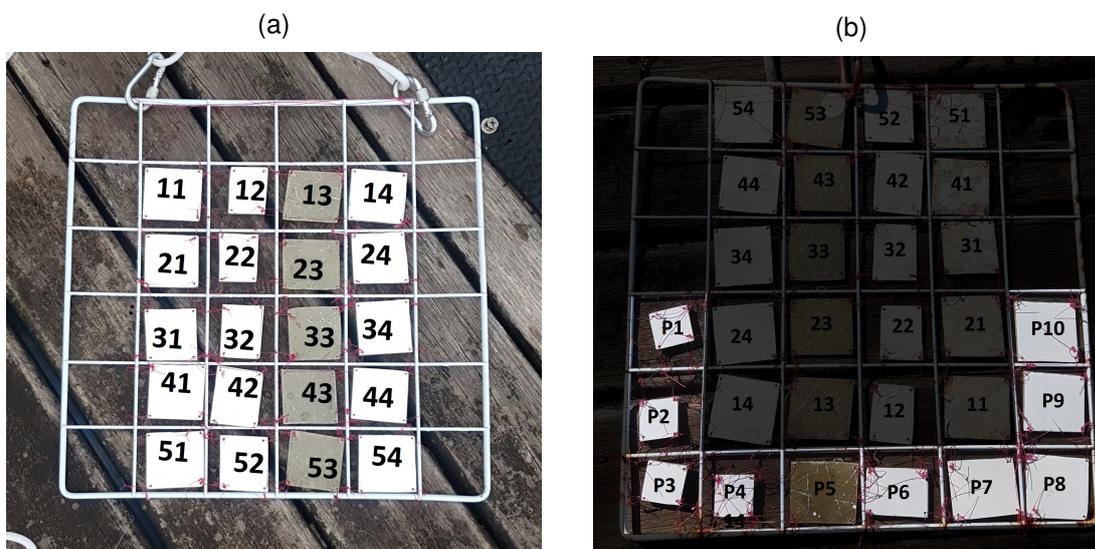
Figura 26 – Amostras que foram analisadas durante primeiro processo de comparação
- a) Amostras do primeiro intervalo. b) Amostras do segundo intervalo.



Fonte: Autor (2020).

No segundo processo de comparação, foram comparadas as amostras do primeiro intervalo com as amostras do terceiro conjunto do segundo intervalo, ou seja, as amostras novas que foram adicionadas para o segundo intervalo de observação, como discutido na seção 3.2.3.3. Na Figura 27, ilustram-se as amostras utilizadas no segundo processo de comparação.

Figura 27 – Amostras que foram analisadas durante segundo processo de comparação
- a) Amostras do primeiro intervalo. b) Amostras do segundo intervalo.



Fonte: Autor (2020).

3.5 Evolução do crescimento dos indivíduos incrustantes

Além disso, no presente trabalho realizou-se a medida dos diâmetros das cracas de forma a avaliar o crescimento das mesmas. Essa análise, no entanto, é mais precisa no segundo período de observação, tendo sido possível acompanhar com mais precisão todas as etapas da evolução da bioincrustação. Estas medidas foram realizadas com o software *photoQuad*. Um exemplo de uma análise dos diâmetros dos indivíduos pode ser observado na Figura 28.

Figura 28 – Exemplo de medição dos diâmetros das cracas no *photoQuad*.



Fonte: Autor (2020).

Desta forma, realizou-se uma análise dos maiores indivíduos (em diâmetro) de cada condição para se observar tanto a data em que esse indivíduo alcançou o maior diâmetro e em qual amostra ele se encontra. Foi feita uma análise da evolução desse crescimento em relação aos dias de observação, comparando os maiores indivíduos nos dois intervalos. Através destes dados, obteve-se a tendência de crescimento das incrustações nas amostras do segundo intervalo e, através do coeficiente angular dessa tendência, obteve-se a taxa de crescimento dos indivíduos nestas amostras.

4 RESULTADOS

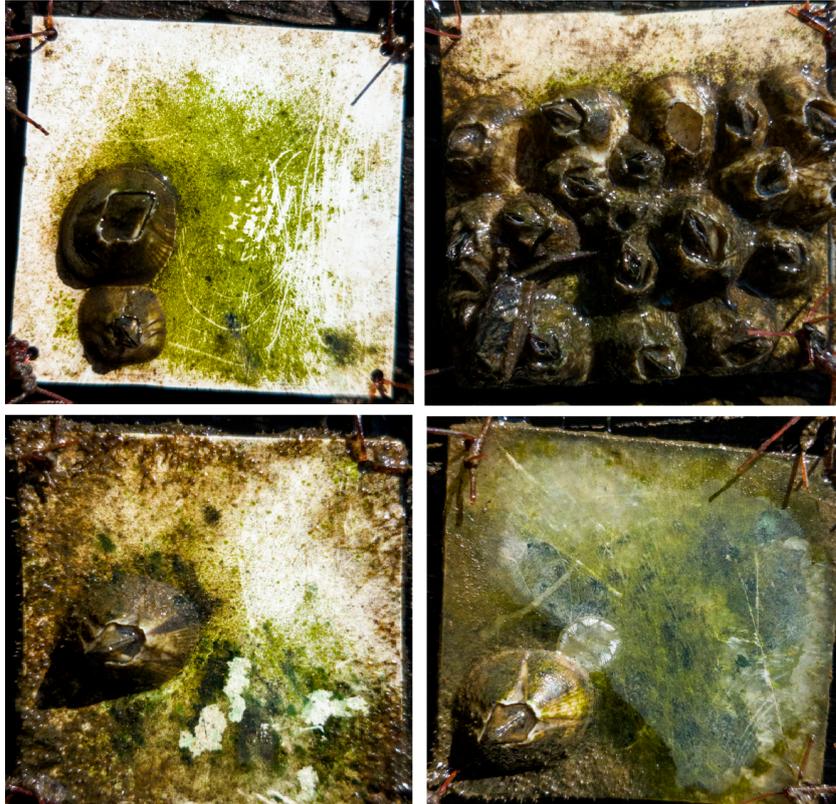
Neste capítulo, são apresentados os principais resultados obtidos no presente estudo. O capítulo está organizado apresentando inicialmente resultados referentes ao primeiro intervalo de observação, em seguida os resultados do segundo intervalo de observação, e, finalmente, uma seção de comparação entre as condições e intervalos de observação.

4.1 Identificação das espécies incrustantes

Como discutido na seção 2.2.2, o indivíduo incrustante da espécie *Balanus amphitrite* é amplamente presente e distribuído por todo o mundo.

No presente trabalho, esta foi a espécie observada como principal indivíduo atuante nas amostras em estudo. Na Figura 29, está apresentada uma série de imagens relativas às amostras com fixação de indivíduos *Balanus amphitrite* obtidas no decorrer do estudo.

Figura 29 – Amostras com indivíduos *Balanus amphitrite*.



Fonte: Autor (2020).

4.2 Primeiro intervalo de observação

No final do primeiro intervalo de observação, foram realizadas 9 documentações fotográficas, tendo-se então 10 pontos de intervalo de tempo.

Na tabela 6, detalha-se o número de documentações realizadas, assim como os pontos de intervalo de tempo (total de dias em que foram realizadas as documentações). Todas as documentações foram realizadas no ano de 2020.

Tabela 6 – Detalhamento das documentações fotográficas - primeiro intervalo.

Ponto de intervalo de tempo	Data da documentação	Dias na água
0	19/02	0
1	28/02	9
2	26/04	68
3	09/05	81
4	16/05	88
5	24/05	96
6	30/05	102
7	20/06	123
8	11/07	144
9	25/07	158

Fonte: Autor (2020).

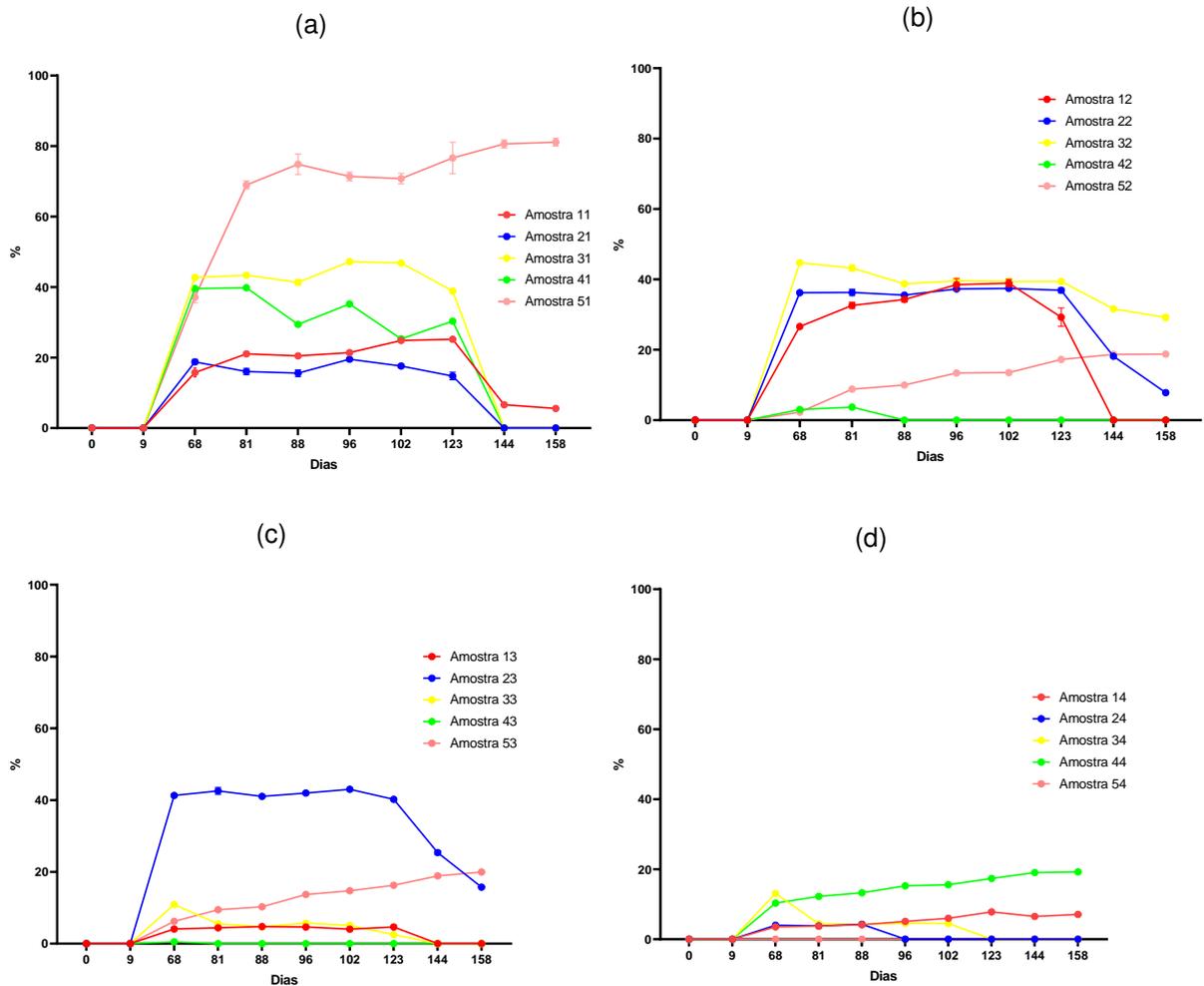
4.2.1 Porcentagem de área recoberta por bioincrustação

Na Figura 30, estão ilustrados os gráficos da porcentagem de área dos substratos recoberta por indivíduos *Balanus amphitrite*.

Como discutido na seção 3.2.1, as amostras da Condição 1 são do Tipo I (confeccionadas pelo Autor), modificadas (lixadas) e com *gel coat*; as da Condição 2 também são do Tipo I, não modificadas (sem lixamento) e com *gel coat*; as amostras da Condição 3 são do Tipo I, sem lixamento e sem *gel coat*; e as da Condição 4 são do Tipo II (obtidas no LaTS), sem lixamento e com *gel coat*. Foram analisadas 5 amostras para cada condição.

A maior taxa de recobrimento de área foi de 81,12%, na amostra 51 (com *gel coat* e superfície modificada). A Condição 1 foi a única que não apresentou nenhuma amostra sem nenhuma incrustação. As amostras da Condição 4 apresentaram a menor taxa de recobrimento, tendo o valor máximo de 19,26%.

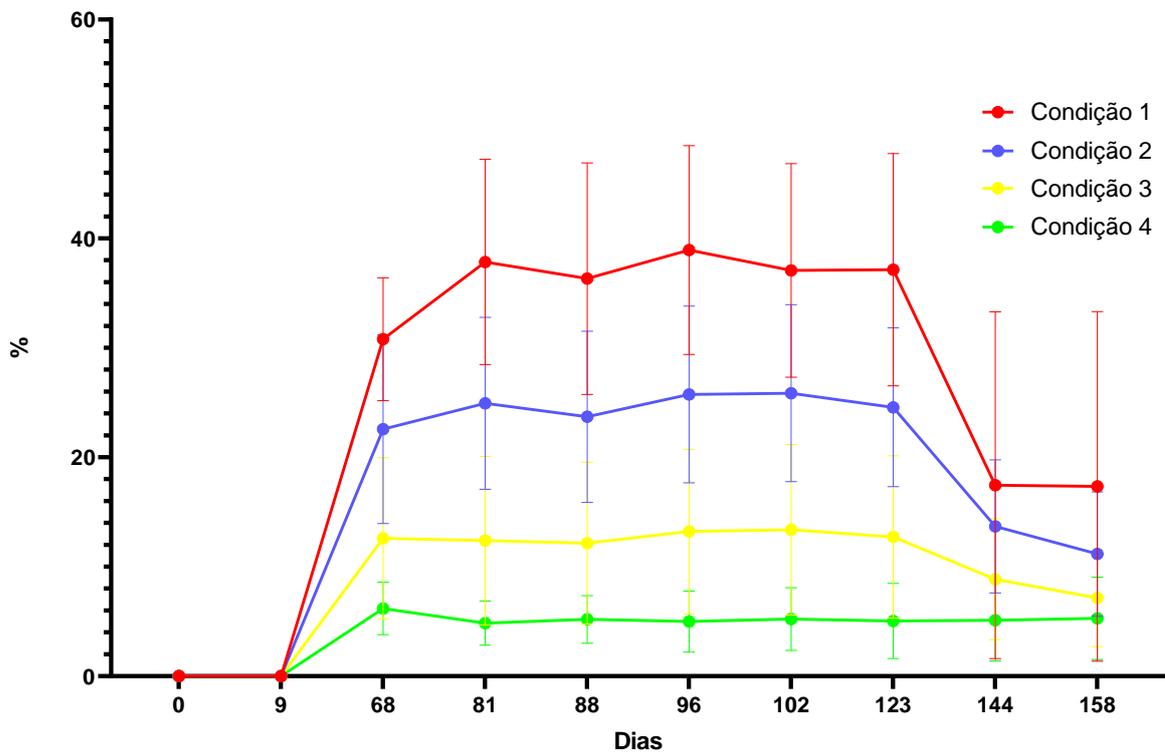
Figura 30 – Porcentagem de área recoberta por bioincrustação - a) Condição 1. b) Condição 2. c) Condição 3. d) Condição 4.



Fonte: Autor (2020).

Na Figura 31, é mostrado um gráfico comparando as amostras nas 4 Condições de estudo, quanto à área recoberta por bioincrustação. Os dados são os mesmos da Figura 30, porém agrupados por Condição. As barras de erro refletem os valores das 5 amostras de cada condição. É possível perceber que as amostras da Condição 1 apresentaram maior recobrimento por indivíduos *Balanus amphitrite*, e que o tratamento para aumentar a rugosidade aparentemente auxiliou no aumento da incrustação. A queda na área recoberta após 123 dias se deve a remoção de indivíduos que ocorreu por algum processo natural que não foi possível determinar.

Figura 31 – Médias das porcentagens de área recoberta- Condições agrupadas.



Fonte: Autor (2020).

Os resultados da Figura 30 mostram uma discrepância entre os valores de recobrimento de área dos corpos de prova para cada condição. Observaram-se amostras com pouca porcentagem de incrustação, bem como com elevada quantidade de incrustação. Não se identificou um padrão que justifique essas diferenças. Os resultados analisados individualmente para cada condição, mostrados na Figura 31, revelam que, comparando as 3 condições associadas aos corpos de prova Tipo I (Condição 1, 2 e 3), que tiveram processo de fabricação executado pelo Autor, há uma maior tendência de incrustação nas superfícies que foram modificadas (através do processo de lixamento).

Em relação às Condições 2 e 3, a fabricação do material foi realizada com o mesmo molde de vidro, portanto é de se supor que os corpos de prova das condições possuem a mesma morfologia superficial, apresentando diferença apenas na presença de *gel coat*. Desse modo, os resultados indicam que houve maior presença de incrustação nos corpos de prova com *gel coat*.

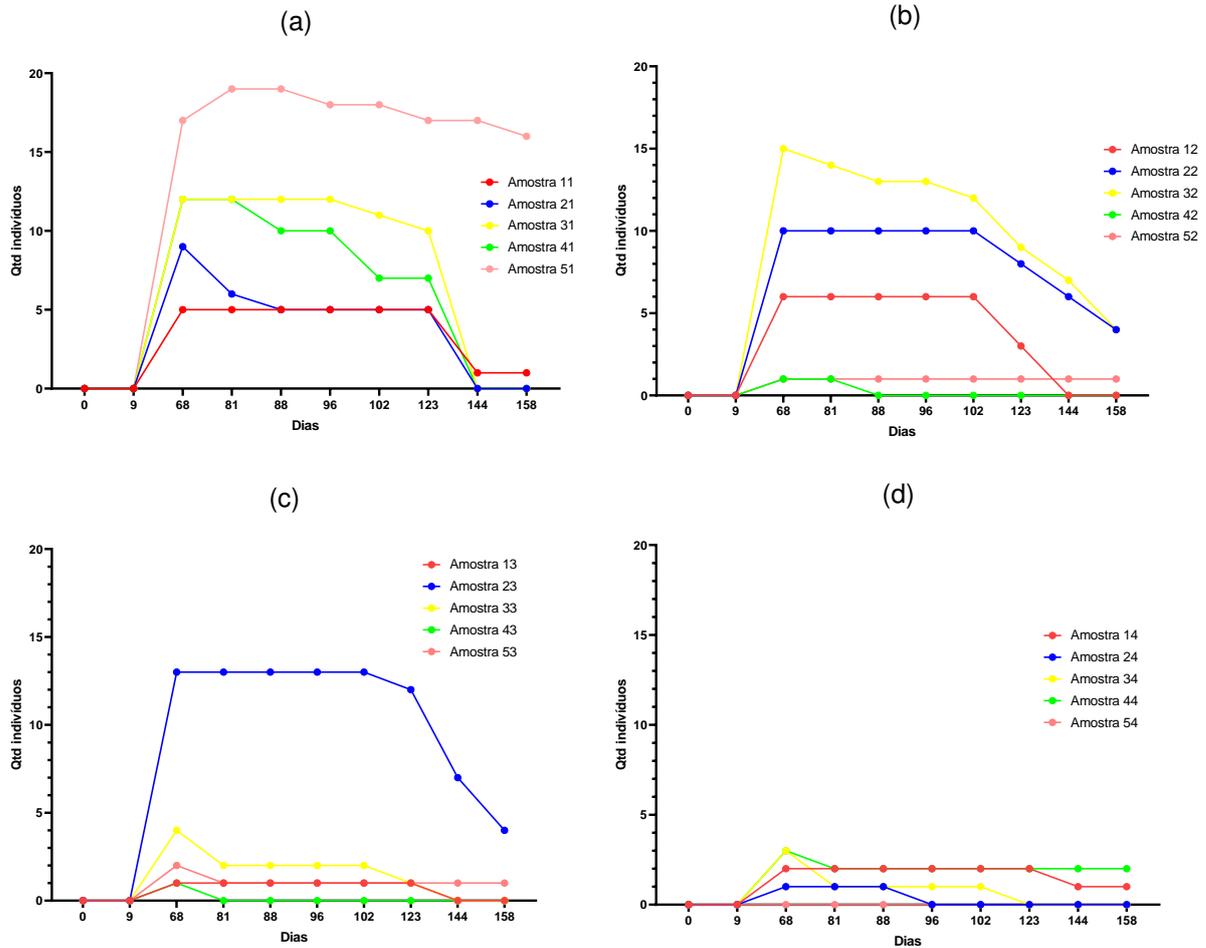
As superfícies denominadas de Tipo II (Condição 4) obtiveram o menor índice de recobrimento de bioincrustação, o que estaria em oposição às conclusões referentes à presença de *gel coat* com relação aos corpos de prova Tipo I. Como a preparação dos materiais dessa Condição foi feita sem o acompanhamento do Autor, mostrou-se

imprescindível conhecer maiores detalhes sobre o processo de obtenção do compósito para realizar conclusões com maior segurança a respeito deste resultado. Entretanto, é possível propor causas relacionadas ao tipo de *gel coat* empregado, bem como ao nível de rugosidade da superfície (devido a utilização de um molde diferente), indicando a necessidade de uma caracterização mais precisa das superfícies das quatro condições para se realizar uma comparação mais minuciosa.

4.2.2 Quantidade de indivíduos incrustantes

Na Figura 32, estão ilustrados os gráficos da quantidade de indivíduos incrustantes em cada amostra das 4 condições estudadas. De forma similar à porcentagem de área recoberta, a amostra com a maior quantidade de indivíduos é a 51, com valor máximo de 19 indivíduos após 88 dias. A Condição 1 também não apresentou, em nenhum dia de observação, amostras sem indivíduos presentes. Da mesma forma analisada na seção 4.2.1, a Condição 4 apresentou, em média, o menor número de indivíduos incrustantes, sendo que o valor máximo dessa Condição foi de 4 indivíduos nas amostras 34 e 44 após 68 dias.

Figura 32 – Quantidade de indivíduos - a) Condição 1. b) Condição 2. c) Condição 3. d) Condição 4.

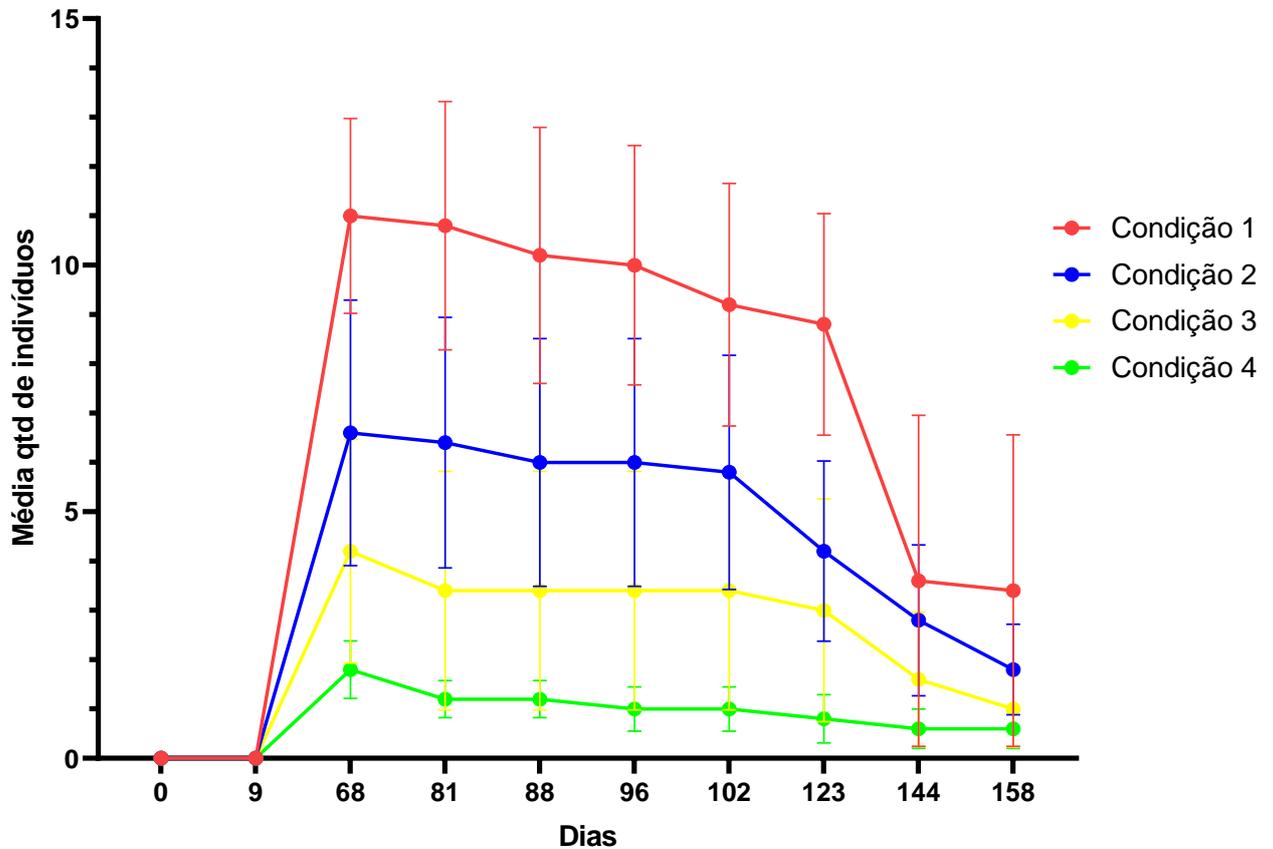


Fonte: Autor (2020).

Um fato importante de relatar é que em apenas 1 corpo de prova, amostra 51 na condição 1, o número de indivíduos aumentou após a retomada das observações (a partir do dia 68). Nos demais, a quantidade de indivíduos manteve-se constante ou diminuiu, mesmo havendo espaço nos corpos de prova para outros indivíduos se fixarem e evoluírem.

Na Figura 33, ilustra-se o gráfico das médias das quantidades de indivíduos em cada condição. Os dados utilizados foram os mesmos da Figura 32, agrupados por Condição. Observa-se que, assim como no estudo do recobrimento das áreas, a Condição 1 apresenta o maior número de indivíduos durante todo o período de observação. E também houve uma diminuição na quantidade de indivíduos após 123 dias em todas as condições.

Figura 33 – Médias das quantidades de indivíduos - Condições agrupadas.



Fonte: Autor (2020).

4.3 Limpeza dos substratos

Após o primeiro intervalo de observação, a grade foi retirada do ambiente marinho e foi realizada uma limpeza para remover todas as cracas e, assim, reinseri-la na Marina e iniciar o segundo intervalo de observação com a mesma grade e mesmas amostras (além das adicionadas especificamente para este intervalo).

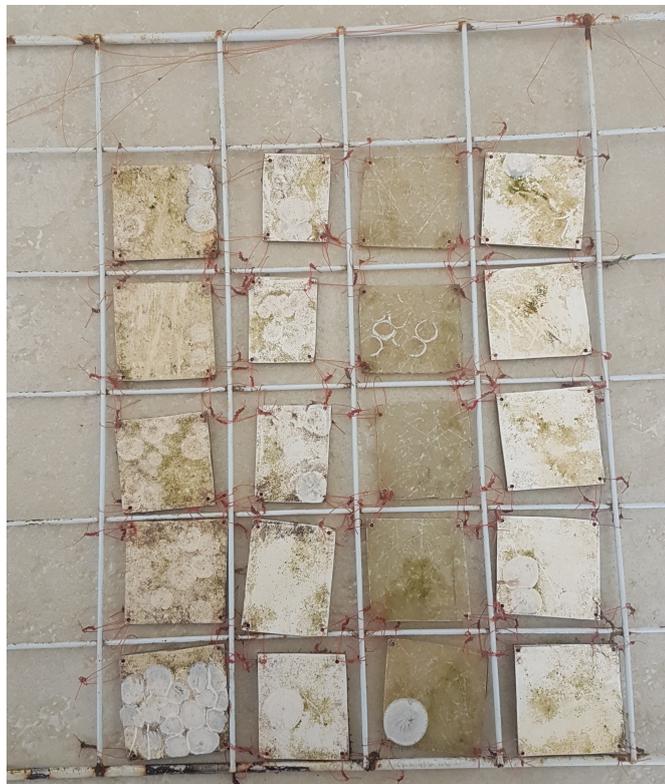
Nas Figuras 34 e 35, ilustra-se o aparato antes e após realizada a limpeza e retirada das cracas, como discutido na seção 3.2.3.2.

Figura 34 – Aparato antes da limpeza.



Fonte: Autor (2020).

Figura 35 – Aparato após limpeza.



Fonte: Autor (2020).

Observou-se que todos os indivíduos foram completamente retirados das

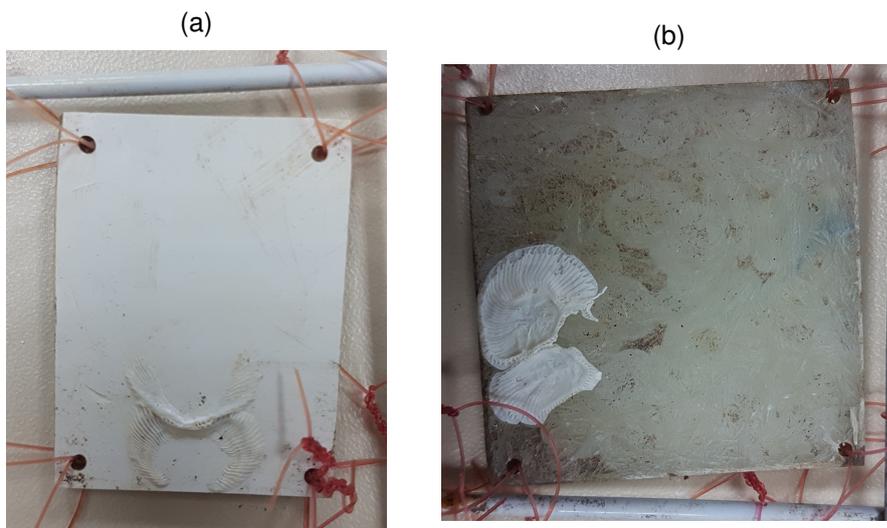
superfícies das amostras. Porém, como ilustrado nas Figuras 36 e 37, notou-se que em 11 das 20 amostras permaneceram resquícios das cracas (ou "anel de cola", como mencionado na seção 2.2.1), o que alterou as superfícies originais dos corpos de prova.

Figura 36 – Amostra 51 após limpeza.



Fonte: Autor (2020).

Figura 37 – Amostras após limpeza - a) Amostra 12. b) Amostra 53.



Fonte: Autor (2020).

4.4 Segundo intervalo de observação

No segundo intervalo de observação, foram realizadas 13 documentações fotográficas, tendo-se 14 pontos de intervalo de tempo.

Na Tabela 7, são apresentadas informações similares às aquelas apresentadas na Tabela 6, referentes ao segundo intervalo de observação.

Tabela 7 – Detalhamento das documentações fotográficas - segundo intervalo.

Ponto de intervalo de tempo	Data da documentação	Dias na água
0	22/08	0
1	28/08	6
2	04/09	13
3	11/09	20
4	17/09	26
5	25/09	34
6	02/10	41
7	15/10	54
8	22/10	61
9	29/10	68
10	05/11	75
11	12/11	82
12	19/11	89
13	25/11	95

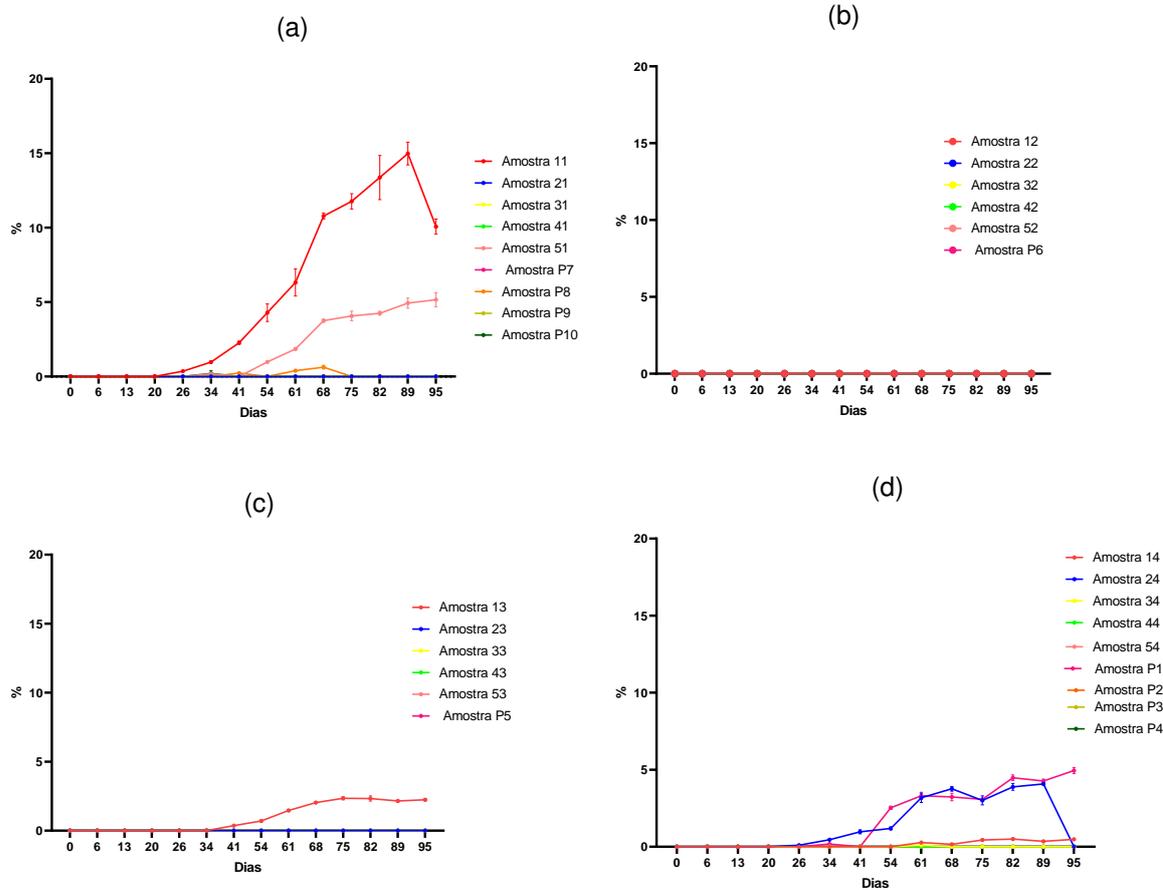
Fonte: Autor (2020).

4.4.1 Porcentagem de área recoberta por bioincrustação

Na Figura 38, apresentam-se os 4 gráficos do recobrimento das áreas das amostras com incrustação.

O maior valor de recobrimento de área foi obtido na amostra 11, da Condição 1, após 89 dias de observação totalizando 14,98%. O segundo maior valor também foi encontrado em uma amostra do Condição 1: 5,17% na amostra 51 após 95 dias de estudo. As amostras da Condição 2 não apresentaram incrustação durante o período estudado, e a Condição 3 apresentou valores baixos de recobrimento de área, sendo o valor máximo de 2,35% na amostra 13, após 75 dias. Três amostras da Condição 4 apresentaram recobrimento de área por incrustação, sendo elas a amostra 14 (com valor máximo de 0,50% após 82 dias), amostra 24 (com valor máximo de 4,08% após 89 dias) e a amostra P1 (com valor máximo de 4,95% no último dia de observação do período). As barras de erro apresentadas foram calculadas conforme descrito na seção 3.3.

Figura 38 – Porcentagem de área recoberta por bioincrustação - a) Condição 1. b) Condição 2. c) Condição 3. d) Condição 4.



Fonte: Autor (2020).

Como discutido na seção 3.3, as amostras do segundo período de observação foram analisadas em três diferentes conjuntos.

No primeiro conjunto de amostras, todas foram agrupadas e estudadas como um todo, totalizando 9 amostras da Condição 1, 6 amostras da Condição 2, 6 amostras da Condição 3 e 9 amostras da Condição 4.

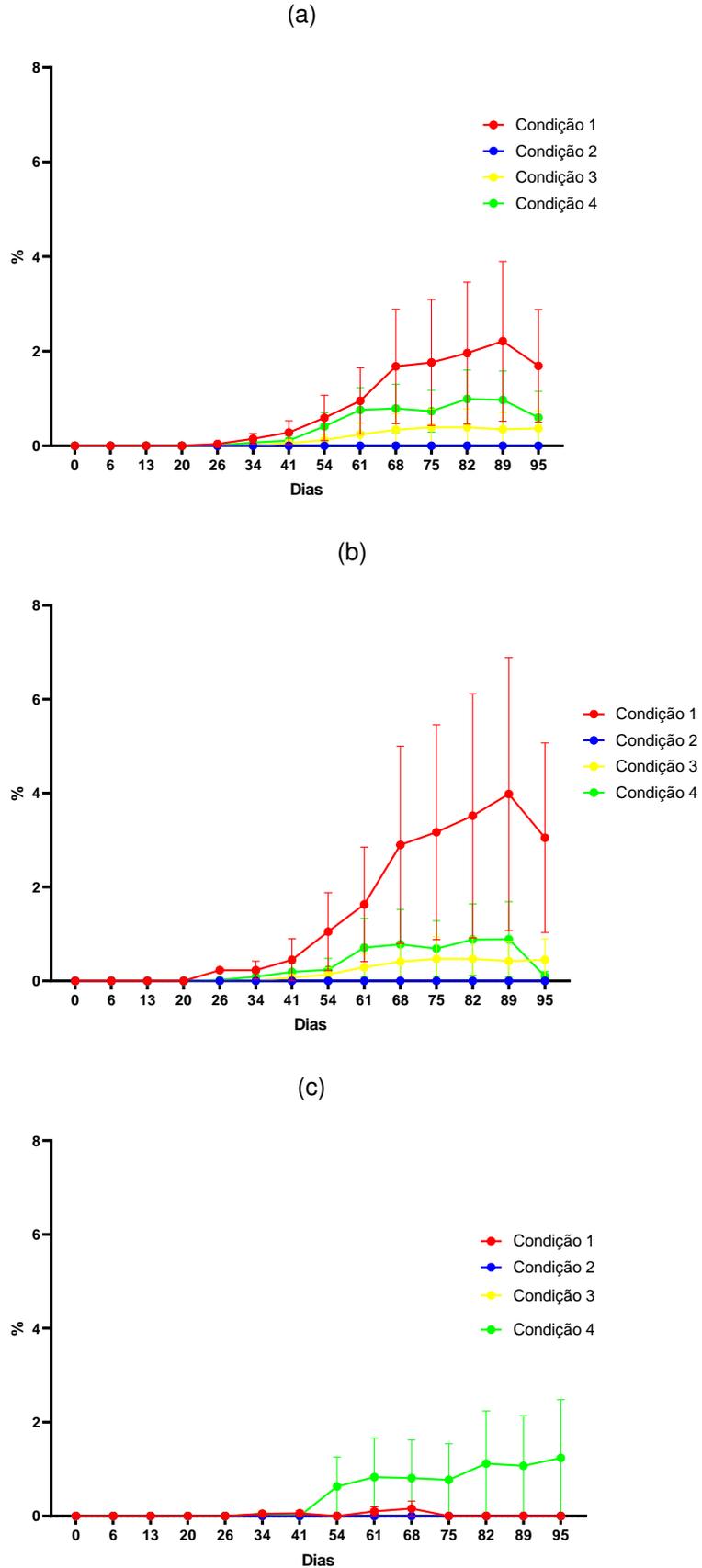
No segundo conjunto de amostras, foram analisadas as amostras utilizadas no primeiro período de observação que passaram pelo processo de remoção das cracas (descrito na seção 3.2.3.2); totalizando-se 5 amostras de cada condição.

E no terceiro conjunto, somente as amostras adicionais foram analisadas, assim totalizou-se 4 amostras da Condição 1 (amostras P7, P8, P9 e P10), 1 amostra da Condição 2 (amostra P6), 1 amostra da Condição 3 (amostra P5) e 4 amostras da Condição 4 (amostras P1, P2, P3 e P4). Essas amostras são as únicas desse intervalo de observação que possuem suas superfícies totalmente "virgens" em relação à bioincrustação.

Na Figura 39, encontram-se 3 gráficos, sendo um para cada conjunto de

amostras. Nota-se que a Condição 1 apresentou, em média, as maiores taxas de recobrimento de área no primeiro conjunto de amostras, com o maior valor médio de 2,21% no dia 89. No segundo conjunto, a Condição 1 também apresentou maiores valores de porcentagem de área recoberta, sendo o valor máximo de 3,98% após 89 dias. Em relação ao terceiro conjunto, nota-se a baixa porcentagem de área recoberta, tendo-se o valor máximo de 1,24% nas amostras da Condição 4 no último (95º) dia de aquisição de dados.

Figura 39 – Porcentagem de área recoberta por bioincrustação - a) Primeiro conjunto. b) Segundo conjunto. c) Terceiro conjunto.



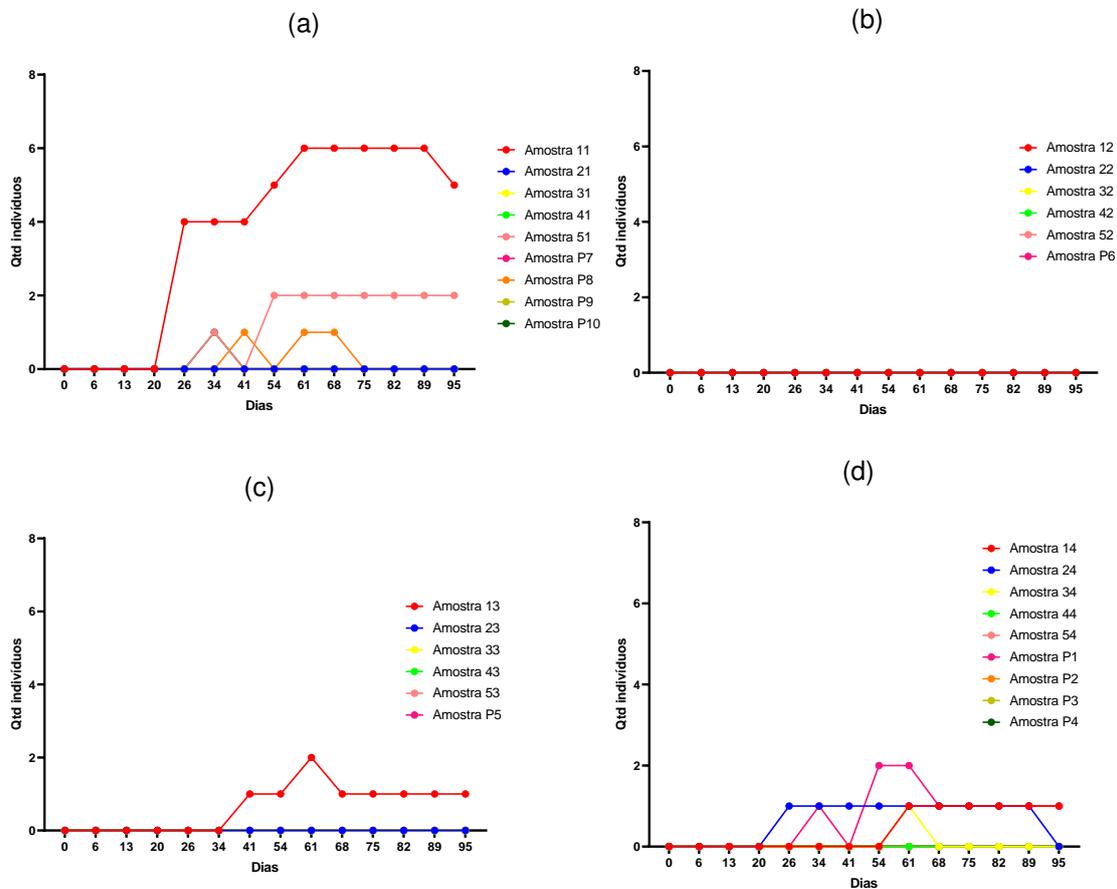
Fonte: Autor (2020).

Analisando os gráficos da Figura 39, observa-se que os resultados tanto das amostras do primeiro conjunto (Figura 39a) quanto do segundo (Figura 39b) seguem a tendência observada no primeiro intervalo de observação: a Condição 1 apresenta maiores valores de recobrimento de área por incrustação. Porém, nas amostras do terceiro conjunto (Figura 39 c), a Condição 4 apresenta maiores valores de área recoberta.

4.4.2 Quantidade de indivíduos incrustantes

A quantidade de indivíduos incrustantes nas 4 condições de estudo está exposta nos gráficos da Figura 40. Observa-se que a Condição 1 apresentou as maiores quantidades de indivíduos, sendo a amostra 11 a que teve o maior número (6 indivíduos entre os dias 61 e 89). Nota-se que, assim como ilustrado pela Figura 38, a Condição 2 não apresentou incrustação e a Condição 3 teve apenas uma amostra com incrustação (amostra 13). A Condição 4 apresentou 4 amostras com incrustação durante o período de estudo, sendo elas a 14, 24, 34 e P1.

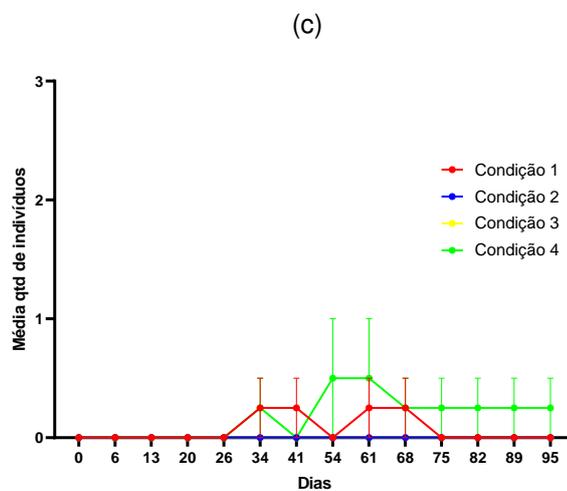
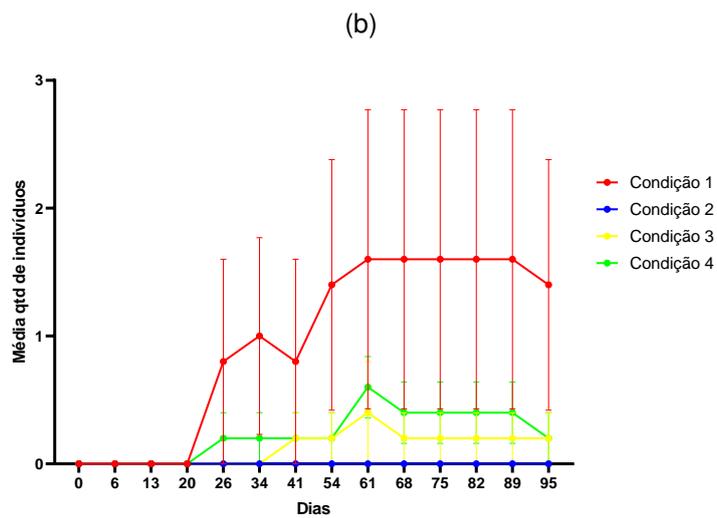
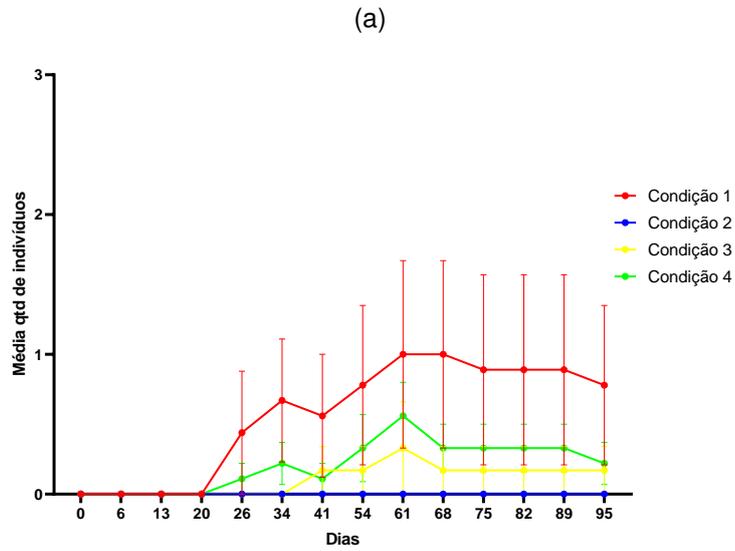
Figura 40 – Quantidade de indivíduos incrustantes - a) Condição 1. b) Condição 2. c) Condição 3. d) Condição 4.



Fonte: Autor (2020).

Na Figura 41, apresenta-se a média da quantidade de indivíduos de cada condição, sendo separados os três conjuntos de amostras. Assim como na análise da porcentagem de área recoberta por incrustação, a Condição 1 teve o maior número de indivíduos incrustantes durante todo o período de observação. Nas amostras do terceiro conjunto (amostras novas), há um baixo valor médio de quantidade de indivíduos, com esse valor oscilando entre 0,25 e 0,5 indivíduos por data de aquisição das documentações fotográficas.

Figura 41 – Média das quantidades de indivíduos incrustantes - a) Primeiro conjunto. b) Segundo conjunto. c) Terceiro conjunto.



Fonte: Autor (2020).

4.5 Estudos comparativos entre intervalos de observação

Para finalizar as análises, foi realizada a comparação entre os períodos de observação para concluir se houve uma tendência ou padrão da evolução da bioincrustação. Nas Figuras 42 e 43, expõe-se os aparatos nos últimos dias de aquisição de dados de cada intervalo de observação.

Figura 42 – Aparato do primeiro intervalo no último dia de observação.



Fonte: Autor (2020).

Figura 43 – Aparato do segundo intervalo no último dia de observação.



Fonte: Autor (2020).

4.5.1 Primeira comparação

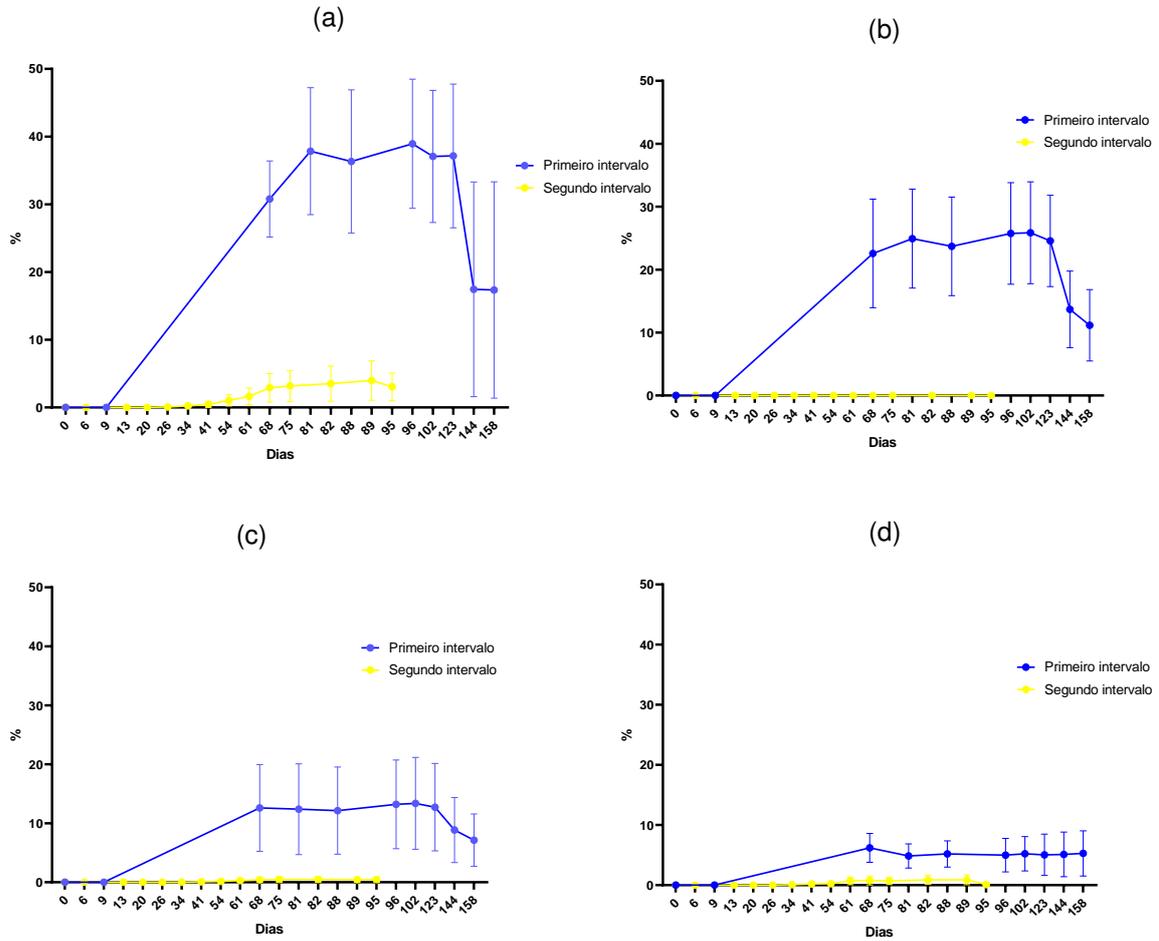
A primeira comparação foi efetuada com as amostras do primeiro intervalo com as que foram reutilizadas no segundo. Assim, foram comparadas as mesmas amostras em períodos de tempo diferentes, sendo as únicas diferenças entre os intervalos a localização da grade no trapiche do local de imersão, a superfície dos substratos (como discutido na seção 3.2.3.2, restaram resquícios de cracas em algumas amostras, alterando sua rugosidade, e por consequência, as características daquela condição) e os intervalos de tempo em que a grade era retirada do ambiente marinho e lavada com água para retirar excessos de sujeira. Desse modo, foram comparadas 5 amostras de cada condição.

4.5.1.1 Porcentagem de área recoberta por bioincrustação

Na Figura 44, ilustra-se as 4 condições comparadas entre si em relação à média das taxas de recobrimento de área por indivíduos incrustantes. Observa-se que os resultados foram bem diferentes entre os intervalos de observação: os valores do primeiro intervalo foram bem maiores que os do segundo.

Apesar de não ser zero, as médias das porcentagens de recobrimento de área das condições 2, 3 e 4 do segundo intervalo são muito pequenas quando comparadas com os mesmos valores do primeiro intervalo de observação. Na Condição 1, encontra-se o maior contraste entre os valores médios das taxas de recobrimento de área.

Figura 44 – Médias das porcentagens de área recoberta - a) Condição 1. b) Condição 2. c) Condição 3. d) Condição 4.



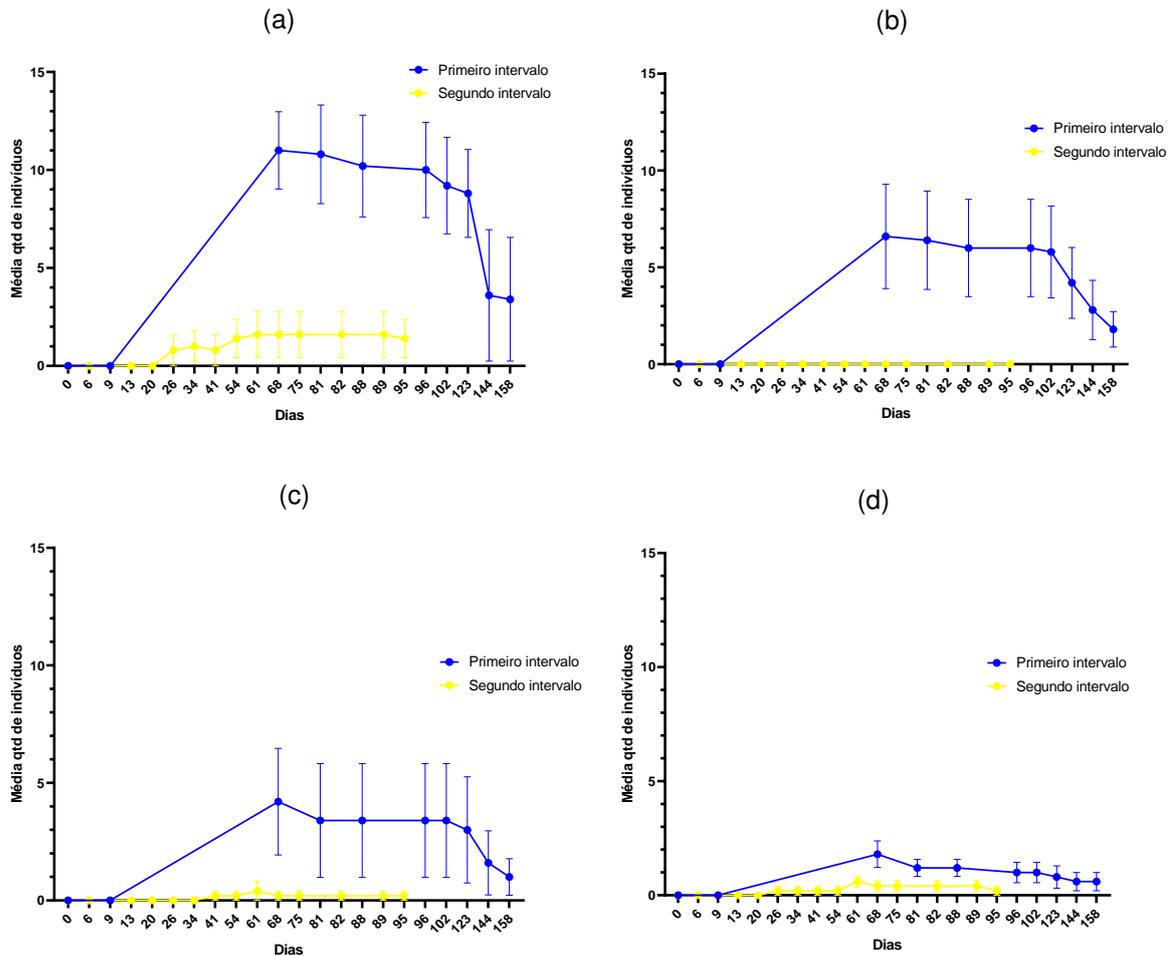
Fonte: Autor (2020).

4.5.1.2 Quantidade de indivíduos incrustantes

A Figura 45 expõe as médias das quantidades de indivíduos incrustantes dos dois intervalos de observação em relação ao tempo total de estudo.

Nota-se que as informações estão de acordo com os dados analisados na Figura 44: valores do primeiro intervalo são maiores que os valores do segundo intervalo de observação, com maior contraste na Condição 1.

Figura 45 – Médias das quantidades de indivíduos incrustantes - a) Condição 1. b) Condição 2. c) Condição 3. d) Condição 4.



Fonte: Autor (2020).

4.5.2 Segunda comparação

Na segunda comparação, foram envolvidas todas as amostras do primeiro intervalo e as amostras novas do segundo intervalo.

Com relação às amostras novas, foram excluídas as amostras das Condições 2 e 3 por terem apenas uma amostra cada e não apresentarem incrustação (ilustrado na seções 4.4.1 e 4.4.2). Assim, foram comparadas 5 amostras da Condição 1 do primeiro intervalo, 4 amostras da Condição 1 no segundo intervalo, 5 amostras das Condição 4 no primeiro intervalo e 4 amostras da Condição 4 no segundo intervalo.

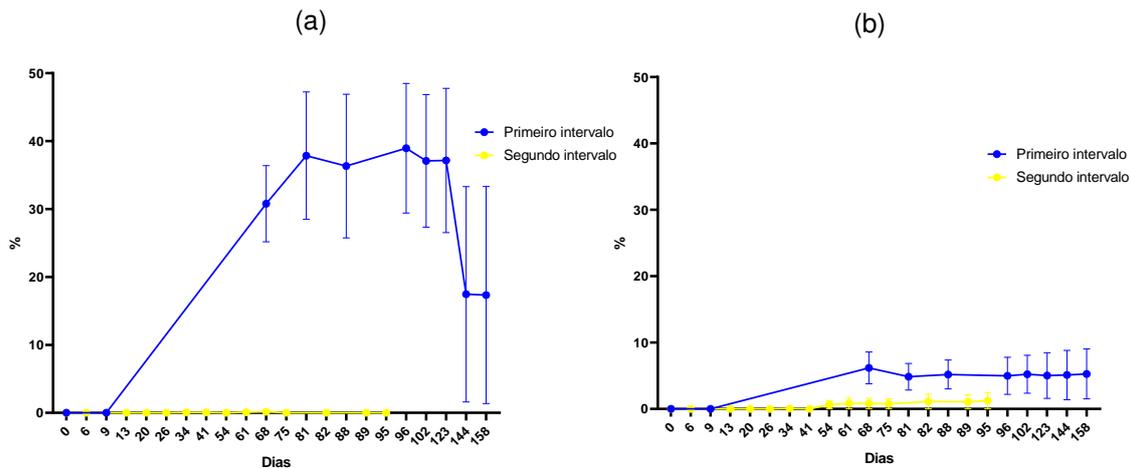
4.5.2.1 Porcentagem de área recoberta por bioincrustação

Estão ilustrados os gráficos das médias das porcentagem de área recoberta por incrustação da Condição 1 e Condição 4 na Figura 46.

Observa-se que as amostras do segundo intervalo apresentaram um valor

muito baixo de incrustação em sua superfície durante o período de estudo, sendo que para as amostras da Condição 1 (P7, P8, P9 e P10) o valor máximo da porcentagem é de 0,16% no dia 68 e as amostras da Condição 4 (P1, P2, P3 e P4) apresentaram 1,24% como valor máximo da taxa de recobrimento da área. Comparando com os valores máximos encontrados na Condição 1 e Condição 4 do primeiro intervalo (38,94% e 5,28%, respectivamente), nota-se a grande diferença.

Figura 46 – Médias das porcentagem de área recoberta - a) Condição 1. b) Condição 4.



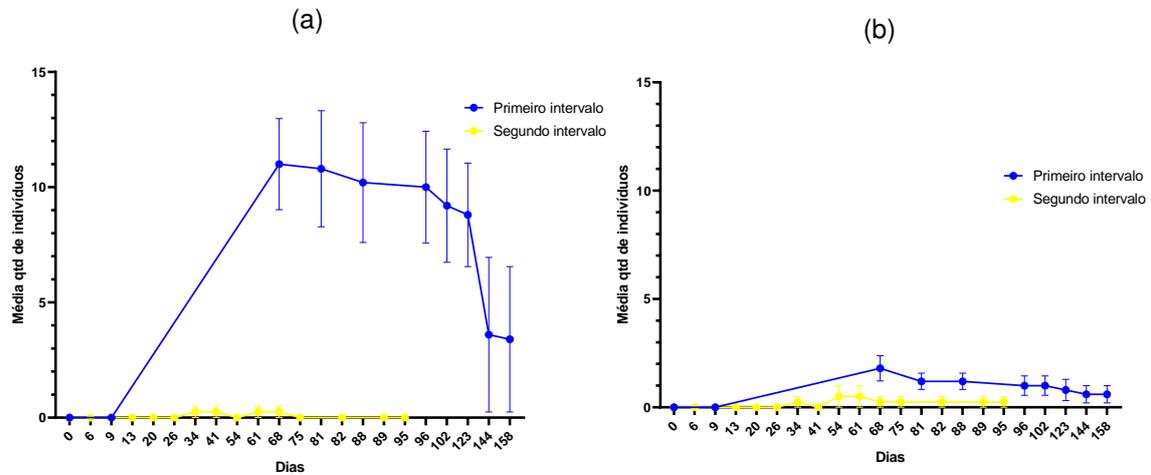
Fonte: Autor (2020).

4.5.2.2 Quantidade de indivíduos incrustantes

Na Figura 47, expõe-se os dois gráficos de média das quantidades de indivíduos incrustantes nas amostras de estudo.

Assim como na Figura 46, observa-se que as amostras do segundo intervalo apresentaram um número baixo de indivíduos incrustantes durante o período de observação. O maior valor da média das amostras do primeiro intervalo da Condição 1 foi de 11 indivíduos no dia 68 e 1,8 da Condição 4 após 68 dias.

Figura 47 – Médias das quantidades de indivíduos incrustantes - a) Condição 1. b) Condição 4.



Fonte: Autor (2020).

4.5.3 Discussão a respeito dos processos de comparação

Observou-se uma grande diferença entre os resultados obtidos no primeiro e segundo intervalo de observação, nos quais se observou que no segundo intervalo houve uma elevada redução na quantidade de incrustação de indivíduos *Balanus amphitrite*. Três fatores podem ter contribuído mais decisivamente para esses resultados.

O primeiro deles é o clima. É conhecido que a formação da bioincrustação é sensível a variações de temperatura e sua evolução é mais suscetível em ambientes quentes (MELO; BOTT, 1997). Neste sentido, o primeiro intervalo iniciou no verão, favorecendo, assim, a bioincrustação em seus estágios iniciais. O intervalo de observação terminou no inverno, dificultando, então, o surgimento de novos indivíduos. Por outro lado, o segundo intervalo teve início no inverno, o que pode ter atenuado o início do processo de incrustação. Finalizou-se no início do verão, quando as condições climáticas seriam mais propícias ao desenvolvimento da espécie incrustante. Esse fato vem ao encontro das observações feitas no decorrer do trabalho.

O segundo fator envolve a Pandemia, que obrigou o sistema a ficar 2 meses sem ser retirado do ambiente aquático no primeiro intervalo. Por outro lado, o sistema foi retirado semanalmente durante o segundo intervalo. Devido a sujeira advinda do leito lodoso do local, é inviável realizar aquisições fotográficas da superfície sem uma limpeza periódica para retirar os excessos dessa sujeira, o que pode prejudicar a espécie incrustante de se fixar nas superfícies. Devido aos acontecimentos da Pandemia, esta limpeza não ocorreu nos 2 primeiros meses do primeiro intervalo, podendo assim ter acontecido um favorecimento para o desenvolvimento da incrustação. Este fato também

explicaria a razão pela qual no primeiro intervalo, após o reinício das aquisições, a área incrustada nas amostras praticamente não aumentou. Por ser complicado obter imagens adequadas com a quantidade de sujeira observada na superfície, sugere-se uma solução que envolveria um processo de limpeza mais controlado e menos agressivo da superfície (apesar de ter sido realizado com água apenas), ou realizar os ensaios em um ambiente aquático natural mais limpo.

O terceiro fator é o posicionamento do sistema (grade) no decorrer do estudo. No primeiro intervalo, as amostras se encontravam mais próximas da terra, enquanto no segundo mais para o leito do meio aquático. Durante o primeiro intervalo, pode ter sido mais frequente o contato com o lodo e o sistema pode não ter permanecido na posição vertical em alguns momentos de exposição. Fato esse que seria mais difícil de ocorrer durante o segundo intervalo, visto seu local de fixação. Mesmo com essa diferença, é difícil validar os resultados com este fator, o que nos leva aos dois primeiramente relatados.

4.5.4 Evolução do crescimento dos indivíduos incrustantes

Para avaliar a evolução do crescimento dos indivíduos incrustantes, foram selecionados os maiores indivíduos de cada condição em cada intervalo de observação.

No primeiro intervalo de observação, consta-se que o maior diâmetro da Condição 1 é de 1,3 *cm*, o qual encontra-se na amostra 11, após 123 dias de observação. Da Condição 2, o maior indivíduo tem 1,6 *cm* de diâmetro, encontrado na amostra 52, após 123 dias de observação. O maior indivíduo incrustante da Condição 3 possui 1,7 *cm* de diâmetro e encontra-se na amostra 53 após 123 dias de observação. Por fim, na Condição 4, o maior indivíduo observado tem 1,5 *cm* de diâmetro, e está localizado na amostra 44, após 144 dias de observação. Observa-se que os indivíduos alcançaram o maior valor de diâmetro nos últimos dias de observação.

Analisando-se o segundo intervalo de observação, consta-se que os maiores diâmetros dos indivíduos também foram encontrados nos últimos dias de aquisição dos dados. Para a Condição 1, o indivíduo tem 1,1 *cm* de diâmetro e encontra-se na amostra 11, 89 dias depois do início do ensaio. Na Condição 2, como já discutido, não foi constatado nenhum indivíduo incrustante durante o período de estudo. Para a Condição 3, o indivíduo encontra-se na amostra 13, e possui 0,7 *cm* de diâmetro, após 95 dias. Finalmente, na Condição 4, o maior indivíduo tem 0,8 *cm* de diâmetro e foi observado na amostra P1, após 95 dias.

Nas Tabelas 8 e 9, encontram-se o resumos dos maiores diâmetros observados durante os períodos de estudo, assim como suas respectivas amostras e data de constatação da medida. Na Figura 48, o gráfico ilustra os tamanhos dos diâmetros de cada condição, por intervalo de observação.

Tabela 8 – Maiores indivíduos - Primeiro intervalo.

Condição	Amostra	Diâmetro (cm)	Dias
1	11	1,3	123
2	52	1,6	123
3	53	1,7	123
4	44	1,5	144

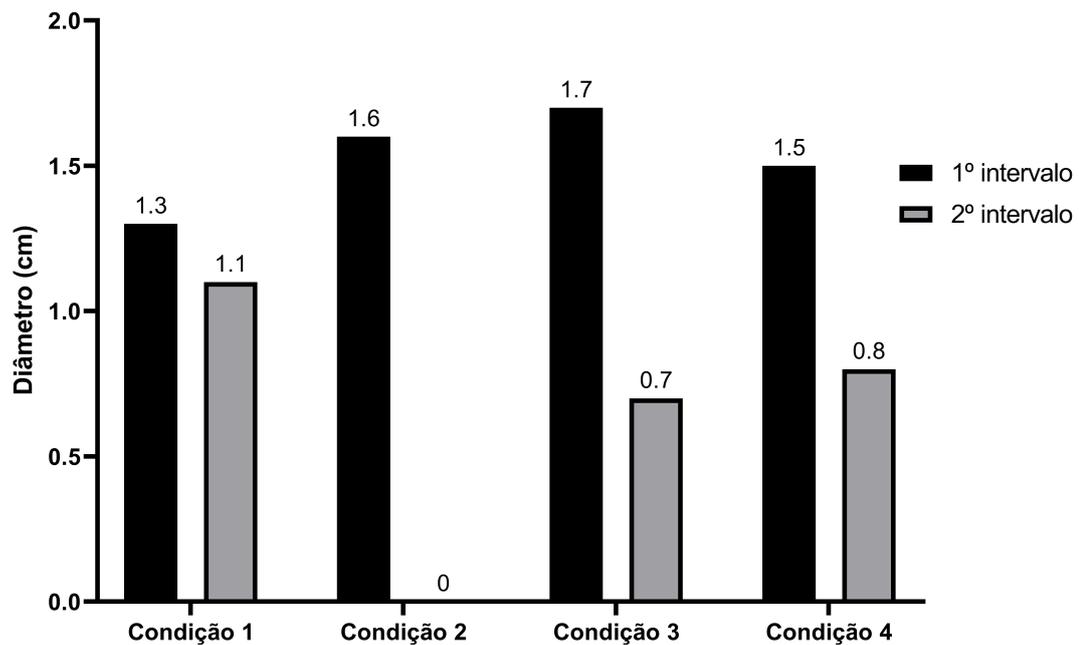
Fonte: Autor (2020).

Tabela 9 – Maiores indivíduos - Segundo intervalo.

Condição	Amostra	Diâmetro (cm)	Dias
1	11	1,1	89
2	-	-	-
3	13	0,7	95
4	P1	0,8	95

Fonte: Autor (2020).

Figura 48 – Diâmetros dos maiores indivíduos de cada condição.



Fonte: Autor (2020).

Na Figura 49, é apresentada uma imagem esquemática das grades destacando a localização da amostra que contém o maior indivíduo. Vale ressaltar que os indivíduos das amostras 52, 53 (ambos do primeiro intervalo), 13 e P1 (do segundo intervalo) cresceram individualmente na superfície dos substratos. Ou seja, nessas amostras, houve apenas a evolução de um único indivíduo incrustante durante o decorrer do ensaio. Desse modo, esses indivíduos tiveram a possibilidade de crescer sem a interferência de indivíduos vizinhos, o que pode explicar o motivo para que sejam

os maiores indivíduos observados durante o estudo.

Figura 49 – Desenho esquemático das grades com indicação das amostras com maiores indivíduos.

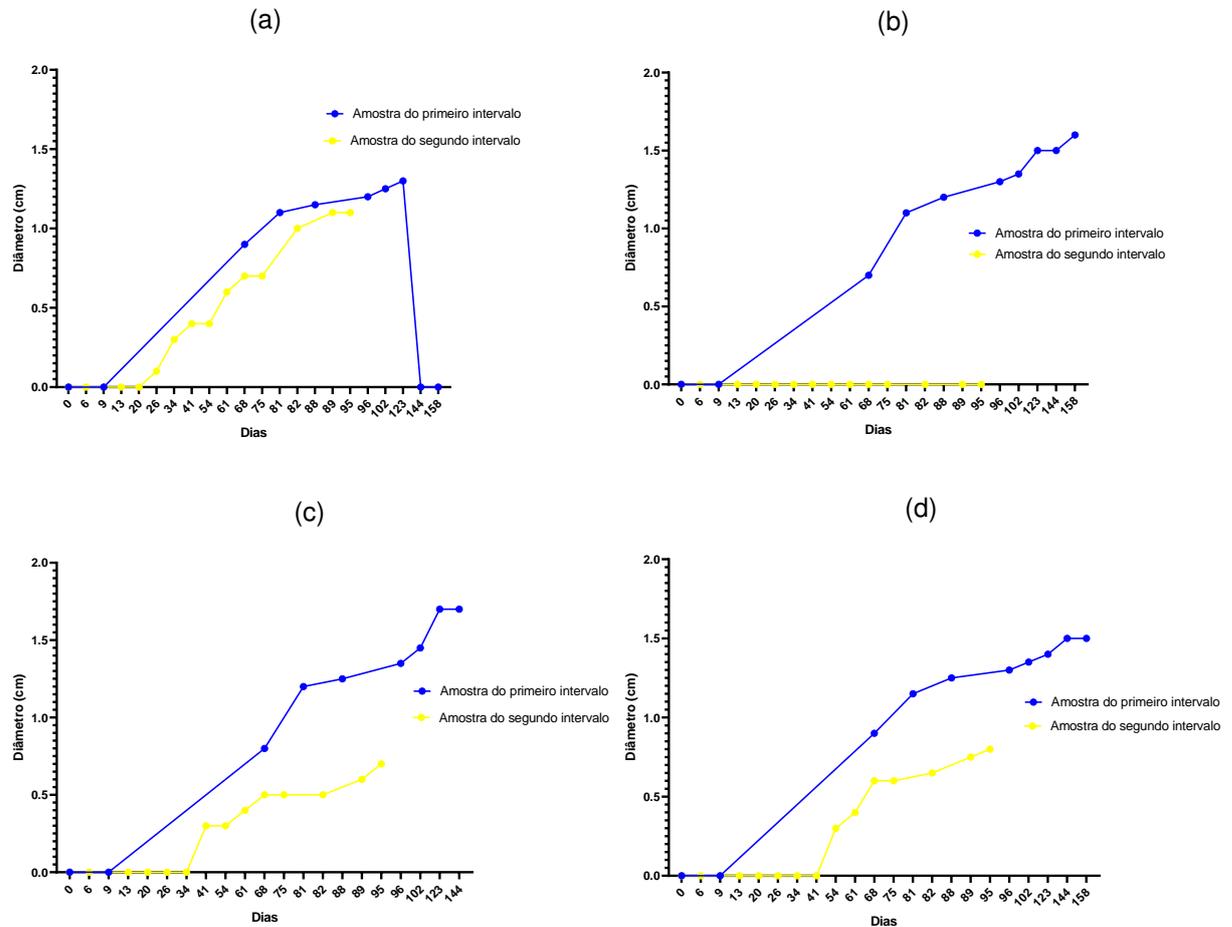
Grade - primeiro intervalo				Grade - segundo intervalo					
11	12	13	14		54	53	52	51	
21	22	23	24		44	43	42	41	
31	32	33	34		34	33	32	31	
41	42	43	44	P1	24	23	22	21	P10
51	52	53	54	P2	14	13	12	11	P9
				P3	P4	P5	P6	P7	P8

Fonte: Autor (2020).

Na Figura 50, estão apresentados os crescimentos dos maiores indivíduos incrustantes de cada condição de estudo em relação ao tempo. Percebe-se que tanto na Condição 1, quanto na 3 e 4, o crescimento foi praticamente contínuo em relação ao tempo. Os valores de diâmetro do primeiro intervalo sempre foram superiores aos do segundo intervalo após períodos equivalentes de ensaio. Nota-se que na amostra do primeiro intervalo da Condição 1 houve o desprendimento natural (após 123 dias) da incrustação, e como foi discutido na seção 4.2.1, a razão para esse fato é desconhecida. Percebe-se, também, que apesar de haver uma tendência de estabilização no tamanho, os indivíduos não pararam de crescer até o último dia de ensaio.

Interessante observar a comparação da Condição 4, pois, nesta, o maior indivíduo do segundo intervalo se encontrou na amostra P1, ou seja, amostra que foi adicionada para o estudo do segundo período de observação. Nesse caso, no gráfico, compara-se duas amostras (44 e P1) que tiveram suas características superficiais iniciais idênticas (são amostras do Tipo II, não modificadas e com *gel coat*), porém no segundo intervalo houve um valor menor de incrustação na amostra, como visto na Figura 46b, que apresenta a comparação entre os dois intervalos quanto à porcentagem de área recoberta.

Figura 50 – Evolução dos diâmetros dos maiores indivíduos - a) Condição 1. b) Condição 2. c) Condição 3. d) Condição 4.



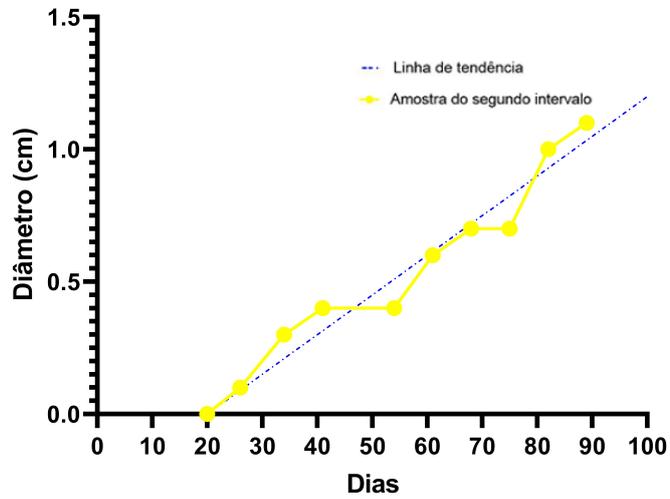
Fonte: Autor (2020).

Foi realizada uma análise mais detalhada do crescimento dos maiores indivíduos das Condições 1, 3 e 4 do segundo intervalo. Desse modo, foram extrapoladas as linhas de tendência nos trechos de ascensão dos gráficos, como exposto na Figura 51. Em seguida, através das equações das retas dessas linhas de tendência, obteve-se os coeficientes angulares, que podem ser considerados equivalentes às taxas de crescimento (micrometros por dia) do diâmetro dos indivíduos. Não foi feita essa análise para a Condição 2, por não ter tido presença de indivíduos incrustantes nas amostras dessa condição durante o segundo intervalo.

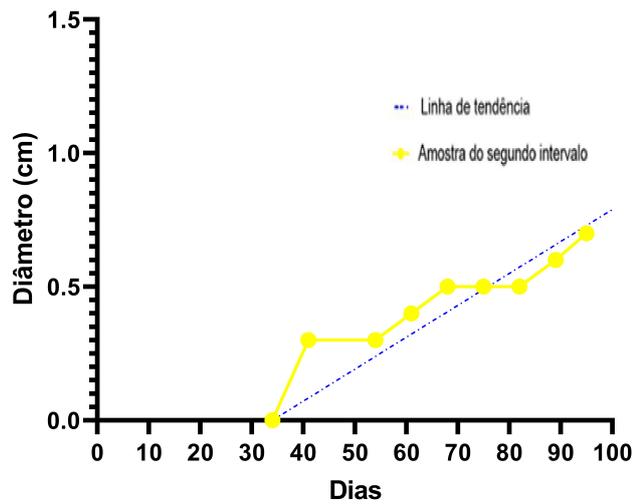
Os valores de taxa obtidos foram de 150 $\mu\text{m}/\text{dia}$ na Condição 1, 120 $\mu\text{m}/\text{dia}$ na Condição 3 e 150 $\mu\text{m}/\text{dia}$ na Condição 4. Nota-se que, apesar das condições terem características diferentes, nos trechos analisados a taxa de crescimento obtida é similar para as três condições.

Figura 51 – Evolução dos diâmetros - linhas de tendência - a) Condição 1. b) Condição 3. c) Condição 4.

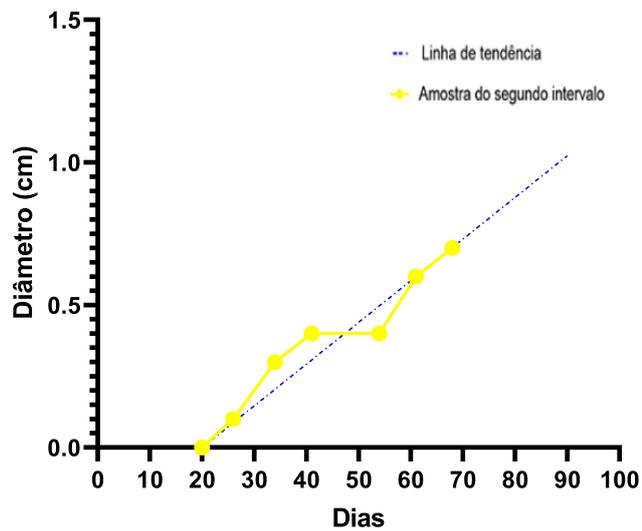
(a)



(b)



(c)



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foi realizado um estudo de campo com o intuito de avaliar de forma quantitativa a bioincrustação marinha em superfícies de material compósito à base de resina poliéster reforçado com fibra de vidro, contendo ou não *gel coat*. Os dados foram obtidos em dois intervalos de observação diferentes.

Com relação ao método empregado para a avaliação quantitativa da bioincrustação, este foi baseado na exposição de amostras por longo período ao ambiente aquático natural (Baía da Babitonga em Joinville) e na aquisição de documentações fotográficas ao longo do tempo, para tratamento através do software *photoQuad*. A quantidade de amostras empregada visou a obtenção de dados estatísticos adequados para o estudo do processo de incrustação. A este respeito, o uso do software se mostrou imprescindível na aquisição de valores precisos de área e diâmetro de regiões, baseado em imagens fotográficas. Medidas ainda mais precisas podem ser obtidas através do refinamento do *grid* utilizado, por exemplo. Como a utilização do software necessita a aquisição de simples imagens, o *photoQuad* pode ser empregado também em imagens ampliadas de microscópio, indicando futuras possibilidades para este método.

Com relação ao local de exposição ao ambiente natural e aquisição das imagens é necessário pontuar alguns fatos.

Os resultados de incrustação biológica foram muito diferentes dependendo do intervalo de tempo analisado. No primeiro intervalo, entre fevereiro e julho de 2020, houve um período de 2 meses durante o qual foi impossível realizar o acompanhamento periódico (devido ao início da Pandemia de COVID-19). Este intervalo de observação ocorreu durante o fim do verão, outono e inverno na região. As amostras ficaram, inicialmente, 2 meses sem serem retiradas do ambiente aquático, e quando foram retiradas já havia uma considerável quantidade de incrustação de indivíduos *Balanus amphitrite*, que se manteve constante até o fim da avaliação (com exceção dos indivíduos que acabaram sendo removidos acidentalmente ou que se desprenderam naturalmente).

Já no segundo intervalo (entre agosto e novembro de 2020), o acompanhamento foi semanal e o período atravessou o fim do inverno, primavera e início do verão. Durante este período, não se notou quantidade grande de incrustação, sendo que a maioria das amostras não apresentou incrustação nenhuma, mesmo as amostras reaproveitadas do primeiro intervalo. Além desta diferença entre intervalos, o

segundo foi realizado com as amostras em outro local da plataforma (trapiche), mais para o interior do leito aquático, afastando o sistema das regiões de contato com a terra e permitindo maior contato com o meio aquático.

Um dos objetivos do trabalho visava a obtenção de uma estatística quanto ao processo de incrustação. Neste sentido, o posicionamento vertical do sistema não se mostrou o mais adequado, pois pode ter induzido efeitos devido à profundidade em que cada amostra estava localizada. Neste sentido, uma solução mais adequada seria empregar o sistema na posição horizontal.

Apesar das diferenças nos resultados obtidos, é possível realizar conclusões importantes a respeito da incrustação de *Balanus amphitrite* em amostras de compósito com fibra de vidro, analisando os dois intervalos de estudo. Apesar de terem sido observadas as maiores quantidades de incrustação no primeiro intervalo, a proporção de área recoberta teve valor alto em poucas amostras, o que pode ser um indício de dificuldade natural à incrustação de *Balanus amphitrite* relacionada ao material compósito, sua rugosidade e o tipo de *gel coat* empregado. A respeito do primeiro intervalo, foi possível identificar uma maior tendência de incrustação nas superfícies modificadas e com *gel coat*. Exceção a isso foram as amostras da Condição 4 (que possuem *gel coat* e não foram modificadas), nas quais foram observadas as menores quantidades de incrustação. O que indica que o processo de obtenção do material compósito reforçado com fibra de vidro pode interferir na facilidade de aderência de incrustações sobre a superfície.

Do segundo intervalo de observação, se destacam as avaliações do crescimento individual da espécie. Foi possível obter a taxa de crescimento dos indivíduos incrustantes, entre 120 e 150 $\mu\text{m}/\text{dia}$, independente da superfície da amostra (em 3 das 4 condições). Estudos comparativos com as amostras do primeiro intervalo sugerem que esta taxa não foi diferente naquele período, mas apenas que o processo iniciou após um tempo maior de exposição no segundo intervalo, fazendo com que os indivíduos não tenham atingido tamanhos equivalentes em tempos de exposição iguais.

É importante aprimorar o método para tornar a análise quantitativa da bioincrustação mais eficiente, e, posteriormente, extrapolar padrões e tendências da evolução dessa bioincrustação.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar análise quantitativa da bioincrustação utilizando intervalos de tempo pré-estabelecidos em todas as observações;
- Fixar e estudar parâmetros (condições das superfícies das amostras, intervalos de tempo entre aquisição de dados, processo de limpeza para documentação fotográfica, local de imersão do aparato e quantidade de amostras) para o estudo quantitativo da bioincrustação;
- Realizar estudos quantitativos com maior quantidade de corpos de prova e menos variações de parâmetros entre as amostras;
- Relacionar e obter valores de rugosidade e avaliar sua influência quanto à bioincrustação;
- Realizar duas análises simultâneas: uma realizando o acompanhamento periódico do aparato e outra retirando o sistema do ambiente aquático apenas no final do processo. Dessa maneira, seria avaliado se a retirada do aparato do ambiente aquático prejudica a evolução da bioincrustação;
- Realizar estudos quantitativos em períodos do ano favoráveis às espécies;
- Buscar localização alternativa para imersão do aparato de estudo, dando preferência a um ambiente menos sujo, de modo a não demandar seções de limpeza muito intensas.

REFERÊNCIAS

- ABARZUA, S.; JAKUBOWSKI, S. Biotechnological investigation for the prevention of biofouling. I. Biological and biochemical principles for the prevention of biofouling. **Marine Ecology Progress Series**, v. 123, n. 1, p. 301–312, jul. 1995.
- ANDREWARTHA, J. M. **The Effect of Freshwater Biofilms on Turbulent Boundary Layers and the Implications for Hydropower Canals**. Dissertação (Doutorado) — University of Tasmania, Hobart, 2010.
- ANIL, A. C. et al. Influence of temperature and salinity on larval development of balanus amphitrite: implications in fouling ecology. **Marine Ecology Progress Series**, v. 118, p. 159–166, mar. 1995.
- BARTON, A. F. et al. Hydraulic roughness of biofouled pipes, biofilm character, and measured improvements from cleaning. **Journal of Hydraulic Engineering-asce - J HYDRAUL ENG-ASCE**, v. 134, jun. 2008.
- BIZINELLA, P. L. F. **Bioincrustação em compósitos à base de fibra de vidro e suas consequências na indústria náutica**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Naval) — Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015.
- BRESSY, C.; LEJARS, M. Marine fouling : An overview. **Journal of Ocean Technology**, v. 9, p. 19–28, dez. 2014.
- BROEKMAN, S. et al. Ultrasonic treatment for microbiological control of water systems. **Ultrasonics sonochemistry**, v. 17, n. 6, p. 1041—1048, ago. 2010.
- CALLOW, J.; CALLOW, M. Trends in the development of environmentally friendly fouling-resistant marine coatings. **Nature Communications**, v. 2, n. 244, p. 1–10, mar. 2011.
- CARDOSO, R. S. **Preparação, caracterização e atividade fotocatalítica de vidros autolimpantes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- CASTRO, A. J. **Resina Poliéster: caracterização e estudo das condições de cura e propriedades mecânicas**. Relatório de Estágio (Graduação em Química) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- CASTRO, I. B.; WESTPHAL, E.; FILLMANN, G. Tintas anti-incrustantes de terceira geração: novos biocidas no ambiente aquático. **Química Nova**, Scielo, v. 34, p. 1021 – 1031, 2011.
- DAUDT, I. M.; CUNHA, T. D. **Treliças: aço carbono ou fibra de vidro?** Acesso em: 06 dez.: [s.n.], 2020. Disponível em: <<https://daudt.eng.br/pt/mercado/trelicas-aco-carbono-ou-fibra-de-vidro/>>.

DEDECO, I. K. **Influência da espessura nas propriedades antincrustantes de filmes finos de TiO₂ depositados em aço inoxidável AISI 316L**. Dissertação de Mestrado em (Engenharia e Ciências mecânicas) — Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2020.

DISTRIBUIDORA OFICIAL DA REDELEASE. **Redecenter**. Acesso em: 20 out., 2020. Disponível em: <<http://https://www.redelease.com.br/resina-ortoftalica-laminacao-com-catalisador-1-030-kg.html>>.

FUJISHIMA, A.; RAO, T. N.; TRYK, D. A. Titanium dioxide photocatalysis. **Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews**, v. 1, n. 1, p. 1–21, jun. 2000.

GALANTE, H. A. **Seleção de materiais no *design* e indústria náuticos**. Dissertação de Mestrado em (Engenharia de Materiais) — Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2003.

GAMA, B. A. P.; PEREIRA, R. C.; COUTINHO, R. Bioincrustação Marinha. In: **Biologia Marinha**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2009. cap. 12, p. 299–318.

GARCIA, J. A. **Estudo da influência das condições do ambiente marinho para validação de reservatório de testes laboratoriais relacionados aos efeitos de bioincrustação**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Naval) — Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015.

GENTIL, V. **Corrosão**. 3. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1996.

GIBSON, J. H. et al. A literature review of ultrasound technology and its application in wastewater disinfection. v. 43, n. 1, p. 23 – 35, 2008.

GREENE, E. **Marine Composites**. 2. ed. Annapolis, MD: Eric Greene Associates, Inc., 1999.

INTERLUX. **Antifouling 101 - A Comprehensive Guide From Interlux**. Union, NJ: AkzoNobel, 2012.

JACINTO, V. **Amphibalanus Amphitrite**. Acesso em: 27 out.: [s.n.], 2009. Disponível em: <http://skaphandrus.com/en/underwater-photography/photo/2045-amphibalanus-amphitrite#.VZNyC_IVikp>.

JURAS, I. d. A. G. M. **Problemas Causados pela Água de Lastro**. Consultoria Legislativa — Câmara dos Deputados, Brasília - DF, 2003.

KUGLER, E. No silêncio dos mares. **Ciência Hoje**, v. 52, n. 311, p. 32–37, jan/fev. 2014.

LEE, H. J. et al. On-line monitoring and quantitative analysis of biofouling in low-velocity cooling water system. **Korean Journal of Chemical Engineering**, v. 15, p. 71–77, jan. 1998.

LEHTOLA, M. J. et al. Removal of soft deposits from the distribution system improves the drinking water quality. **Water research**, v. 38, p. 601–10, mar. 2004.

LEJARS, M.; MARGAILLAN, A.; BRESSY, C. Fouling release coatings: A nontoxic alternative to biocidal antifouling coatings. **Chemical Reviews**, v. 112, p. 4347–90, mai. 2012.

LI, X. L. **Conditions Favouring Growth of Fresh Water Biofouling in Hydraulic Canals and the Impact of Biofouling on Pipe Flows**. Dissertação (Mestrado) — University of Tasmania, Hobart, 2013.

MARECHAL, J.-P.; HELLIO, C. Antifouling activity against barnacle cypris larvae: Do target species matter (amphibalanus amphitrite versus semibalanus balanoides)? **International Biodeterioration Biodegradation - INT BIODETERIOR BIODERAD**, v. 65, p. 92–101, 2010.

MAZUMDAR, S. K. **Composites manufacturing: materials, product, and process engineering**. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC, 2002.

MELO, L. F.; BOTT, T. R. Biofouling in water systems. **Experimental Thermal and Fluid Science**, v. 14, n. 4, p. 375–381, mai. 1997.

MFAME. **All You need to Know About Hull Fouling - Intertanko's Guide**. Acesso em: 01 mar.: [s.n.], 2016. Disponível em: <<https://mfame.guru/need-know-hull-fouling-intertankos-guide/>>.

MICHELS, R. **Projeto Conceitual de um Reservatório para Avaliação dos Fenômenos da Bioincrustação em Estruturas Navais**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Naval) — Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2014.

MUNSHI, H. A. et al. Impact of uv irradiation on controlling biofouling problems in nf-swro desalination process. set. 2005.

NASSEH, J. **Barcos - Métodos Avançados de Construção em Composites**. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ: [s.n.], 2007.

NASSEH, J. **Manual de Construção de Barcos**. 4. ed. Rio de Janeiro, RJ: [s.n.], 2011.

NERCOLINI, E. **Investigação das Propriedades Físicas e Mecânicas de Peças em Compósitos utilizando Gel Coat e Tinta Poliéster**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Naval) — Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2017.

NOGUEIRA, R. F. P.; JARDIM, W. F. A fotocatalise heterogênea e sua aplicação ambiental. **Química Nova**, v. 21, n. 1, p. 69–72, 1996.

ORRO, L. Estudo de materiais compósitos 1. **Gelcoat**, Rio de Janeiro, RJ, p. 89–108, 2004.

PANCHAL, C.; Takahashi, P. K.; Avery, W. Biofouling control using ultrasonic and ultraviolet treatments. In: . [S.l.: s.n.], 1995.

RAMOS, E. M. **Estudo de filmes finos de TixOy depositados em aço-carbono para aplicação antincrustante**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências Mecânicas) — Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2016.

- REGAN, F. et al. Oceans 2017. In: **Antifouling studies and coating strategies for marine deployed structures**. Aberdeen: [s.n.], 2017. p. 1–6.
- SOETHE, V. L. et al. TiO₂ thin films for biofouling applications. **Materials Research**, Scielo, v. 20, p. 426–431, 2017.
- TRYGONIS, V.; SINI, M. photoquad: A dedicated seabed image processing software, and a comparative error analysis of four photoquadrat methods. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 424-425, p. 99 – 108, 2012.
- YEBRA, D. M.; KIIL, S.; DAM-JOHANSEN, K. Antifouling technology—past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings. **Progress in Organic Coatings**, v. 50, n. 2, p. 75–104, jul. 2004.
- YUHAZRI, M. Y. et al. A review on gelcoat used in laminated composite structure. **International Journal of Research in Engineering and Technology**, v. 4, mar. 2015.
- ZANELLA, M. R. B. **Avaliação das propriedades antincrustantes de partículas de TiO₂ dispersas em tinta**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Naval) — Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2016.